

*Norma Italiana***CEI EN 60068-2-6**

La seguente Norma è identica a: EN 60068-2-6:2008-02.

*Data Pubblicazione***2009-11***Edizione***Seconda***Classificazione***104-40***Fascicolo***10104***Titolo***Prove ambientali****Parte 2-6: Prove - Prova Fc: Vibrazioni (sinusoidali)***Title***Environmental testing****Part 2-6: Tests - Test Fc: Vibration (sinusoidal)***Sommario*

La presente Norma fa parte della serie IEC/EN 60068 relativa alle prove ambientali (Climatiche e Meccaniche) e si occupa in particolare delle vibrazioni sinusoidali.

In essa viene descritto un metodo di prova che stabilisce una procedura normalizzata per determinare la capacità di componenti, apparecchiature ed altri prodotti di resistere a specificate severità di vibrazioni sinusoidali. Lo scopo della prova è quello di individuare qualsiasi debolezza meccanica e/o degradazione rispetto alle prestazioni specificate per decidere l'accettabilità del campione.

La prova inoltre serve per dimostrare la robustezza dinamica ed il comportamento dinamico dei campioni e per classificarli in categorie basate sulla severità.

La Norma definisce:

- Requisiti di prova (moto fondamentale, moto rotazionale, moto trasversale, tolleranze, scansione, ecc.).
- Severità (Banda di frequenza, ampiezza della vibrazione, durata della prova).
- All. A: fornisce una guida generale per la prova.
- All. B e C: contengono le regole per scegliere le severità per i componenti e le apparecchiature.

La presente Norma riporta il testo in inglese e italiano della EN 60068-2-6; rispetto al precedente fascicolo n. 9408E di luglio 2008, essa contiene la traduzione completa della EN sopra indicata.



CEI COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO
 AEIT FEDERAZIONE ITALIANA DI ELETTROTECNICA, ELETTRONICA, AUTOMAZIONE, INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI
 CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COLLEGAMENTI/RELAZIONI TRA DOCUMENTI

Nazionali

Europei (IDT) EN 60068-2-6:2008-02;

Internazionali (IDT) IEC 60068-2-6:2007-11;

Legislativi

Legenda (IDT) - La Norma in oggetto è identica alle Norme indicate dopo il riferimento (IDT)

INFORMAZIONI EDITORIALI

<i>Norma Italiana</i>	CEI EN 60068-2-6	<i>Pubblicazioni</i>	Norma Tecnica	<i>Carattere Doc.</i>	
<i>Stato Edizione</i>	In vigore	<i>Data Validità</i>	01-09-2008	<i>Ambito Validità</i>	Internazionale
<i>Varianti</i>	Nessuna				
<i>Ed. Prec. Fasc.</i>	2770:1996-05; CEI EN 60068-2-6:1996-05 (CEI 50-22), che rimane applicabile fino al 01-02-2011				
<i>Comitato Tecnico</i>	CT 104-Condizioni ambientali. Classificazioni e metodi di prova (ex CT 50, CT 75)				
<i>Approvata da</i>	Presidente del CEI			<i>In data</i>	02-07-2008
	CENELEC				01-02-2008
<i>Sottoposta a</i>	Inchiesta pubblica come Documento originale			<i>Chiusura in data</i>	23-11-2007
<i>ICS</i>	19.040;				
<i>CDU</i>					

Sostituisce la Norma EN 60068-2-6:1995**Prove ambientali****Parte 2-6: Prove - Prova Fc: Vibrazioni (sinusoidali)**

Environmental testing

Part 2-6: Tests - Test Fc: Vibration (sinusoidal)

Essais d'environnement

Partie 2-6: Essais - Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)

Umgebungseinflüsse

Teil 2-6: Prüfverfahren - Prüfung Fc: Schwingen (sinusförmig)

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, 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, 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.

CENELEC



PREFAZIONE

Il testo del documento 104/439/FDIS, futura settima edizione della IEC 60068-2-6, preparato dal TC 104 IEC, Environmental conditions, classification and methods of test, è stato sottoposto a voto parallelo IEC-CENELEC ed è stato approvato dal CENELEC come EN 60068-2-6 in data 01-02-2008.

La presente Norma Europea sostituisce la EN 60068-2-6:1995.

I maggiori cambiamenti relativi alla EN 60068-2-6:1995 riguardano:

- la dicitura concordata dal Comitato Tecnico IEC TC 104 alla riunione tenutasi a Stoccolma nel 2000 riguardo alla prova sugli imballaggi morbidi;
- il riferimento alla EN 60068-2-47: Montaggio;
- la semplificazione dello schema della Norma, sostituendo alcune tabelle con il testo;
- l'aggiunta delle prescrizioni relative al rapporto di prova (vedi art. 13).

Sono state fissate le seguenti date:

- data ultima entro la quale la EN deve essere recepita a livello nazionale mediante pubblicazione di una Norma nazionale identica o mediante adozione (dop) 01-11-2008
- data ultima entro la quale le Norme nazionali contrastanti con la EN devono essere ritirate (dow) 01-02-2011

L'Allegato ZA è stato aggiunto dal CENELEC.

AVVISO DI ADOZIONE

Il testo della Norma internazionale IEC 60068-2-6:2007 è stato approvato dal CENELEC come Norma Europea senza alcuna modifica.

Nella versione ufficiale, per la Bibliografia, si devono aggiungere le seguenti note per le Norme indicate:

IEC 60068-2-64 NOTA Armonizzata come EN 60068-2-64:1994 (non mod.).



INDICE

INTRODUZIONE	6
1 Campo di applicazione.....	7
2 Riferimenti normativi.....	7
3 Termini e definizioni	7
4 Prescrizioni per le prove	10
4.1 Caratteristiche richieste	10
4.2 Strategia di controllo.....	12
4.3 Montaggio	13
5 Severità	13
5.1 Banda di frequenza.....	13
5.2 Ampiezza della vibrazione	14
5.3 Durata della prova di durata.....	17
6 Precondizionamento	18
7 Misure iniziali	18
8 Prova	18
8.1 Generalità	18
8.2 Ricerca della risposta vibratoria	19
8.3 Procedure per le prove di durata	19
9 Misure intermedie	20
10 Ripristino.....	20
11 Misure finali.....	20
12 Informazioni da darsi nella specifica particolare	21
13 Informazioni da fornire nel rapporto di prova	22
Allegato A (informativo) Guida alla prova Fc.....	23
Allegato B (informativo) Esempi di severità destinate principalmente ai componenti	37
Allegato C (informativo) Esempi di severità destinate principalmente alle apparecchiature.....	39
Bibliografia	39
Allegato ZA (normativo) Riferimenti normativi alle Pubblicazioni Internazionali con le corrispondenti Pubblicazioni Europee.....	40



INTRODUZIONE

La presente Parte della IEC 60068 fornisce un metodo di prova applicabile a componenti, apparecchiature e altri prodotti che, durante il trasporto o in esercizio, possono subire condizioni comprendenti vibrazioni di natura armonica, generate principalmente da forze rotanti, pulsanti o oscillanti, quali si verificano sulle navi, sugli aerei, sui veicoli terrestri, su velivoli ad ala rotante e nelle applicazioni spaziali, oppure che sono causate da macchinari e da fenomeni sismici.

Questo metodo normalizzato consiste essenzialmente nel sottoporre un campione a vibrazioni sinusoidali su una data banda di frequenze o in corrispondenza di frequenze discrete per un dato periodo di tempo. Allo scopo di determinare le frequenze critiche del campione, può anche essere prescritta una ricerca della risposta alla vibrazione.

La specifica particolare dovrà indicare se il campione deve funzionare durante la vibrazione o se è sufficiente che esso funzioni ancora dopo essere stato sottoposto alla vibrazione.

Si sottolinea che una prova di vibrazione presuppone sempre un certo grado di esperienza ingegneristica e sia il fornitore del servizio che il cliente dovrebbero esserne pienamente consapevoli. Tuttavia, la prova sinusoidale è deterministica e quindi relativamente semplice da effettuare. Si applica facilmente sia all'indagine di tipo diagnostico che alla simulazione della vita di servizio.

La Parte principale della presente Norma tratta essenzialmente dei metodi per controllare la prova in certi punti di controllo, utilizzando tecniche analogiche o digitali, e fornisce i dettagli della procedura di prova. Vengono anche prescritti i requisiti relativi al moto vibratorio, alla scelta delle severità, compresa la banda di frequenza, le ampiezze e le durate, poiché queste severità rappresentano una serie razionalizzata di parametri. L'estensore della specifica particolare ha quindi il compito di scegliere la procedura di prova e i valori appropriati al campione e al suo utilizzo.

Di alcuni termini è stata data la definizione allo scopo di facilitare una corretta comprensione del testo. Tali definizioni sono state elencate nell'art. 3.

L'Allegato A costituisce una guida generale per la prova, mentre gli Allegati B e C forniscono una guida alla selezione delle severità per componenti e apparecchiature.



PROVE AMBIENTALI –

Parte 2-6: Prove – Prova Fc: Vibrazioni (sinusoidali)

1 Campo di applicazione

La presente Parte della IEC 60068 fornisce un metodo di prova che fornisce una procedura normalizzata per determinare la capacità di componenti, apparecchiature ed altri prodotti, di seguito definiti come “campioni”, a resistere a vibrazioni sinusoidali di specificate severità. Se un oggetto deve essere verificato senza imballaggio, ad esso viene fatto riferimento come campione in prova. Tuttavia se l'oggetto è imballato, allora si fa riferimento al singolo oggetto come prodotto mentre l'oggetto e il suo imballaggio insieme vengono definiti campione in prova.

Lo scopo di questa prova consiste nel determinare qualsiasi debolezza meccanica e/o qualsiasi degradazione nelle prestazioni attribuite ai campioni e nell'usare questo dato, congiuntamente alla specifica particolare, per decidere dell'accettabilità del campione. In alcuni casi, il metodo di prova può anche essere utilizzato per dimostrare la robustezza meccanica dei campioni e/o per studiare il loro comportamento dinamico. Può essere utilizzato anche per classificare i componenti in categorie sulla base di una selezione operata a partire dalla/e severità previste per la prova.

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 Termini e definizioni

Ai fini del presente documento si applicano i termini e le definizioni seguenti:

NOTA 1 I termini utilizzati sono solitamente tratti dalla ISO 2041 e dalla IEC 60068-1. Tuttavia, “ciclo di scansione” (3.4) e “tolleranza sul segnale” (3.5) nella presente Norma hanno significati specifici.

Definizioni in ordine alfabetico:

Ciclo di scansione	3.4
Controllo multipunto	3.3.2
Controllo su un solo punto	3.3.1
Frequenza di risonanza centrata	3.10
Frequenze critiche	3.9
g_n	3.12
Moto effettivo	3.7
Moto fondamentale	3.6
Punti di misura	3.2
Punto di fissaggio	3.1
Punto di riferimento	3.2.2
Punto di riferimento fittizio	3.2.2.1
Punto di verifica	3.2.1

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



Scansione in frequenza a banda stretta	3.11
Smorzamento	3.8
Tolleranza sul segnale	3.5

NOTA 2 I termini descritti di seguito non sono identici a quelli indicati, né vengono definiti nella Norma ISO 2041 o nella IEC 60068-1, oppure tali Norme non ne riportano alcuna definizione.

3.1

punto di fissaggio

parte del campione in contatto con l'attrezzatura di fissaggio o con la tavola vibrante nel punto in cui il campione è normalmente vincolato in servizio

NOTA 1 Se una parte della struttura di montaggio effettiva viene utilizzata come fissaggio, i punti di fissaggio sono quelli della struttura di montaggio e non quelli del campione.

NOTA 2 Se il campione è costituito da un prodotto imballato, il punto di fissaggio può essere interpretato come la superficie del campione che è a contatto con la tavola vibrante.

3.2

punti di misura

punti specifici in cui sono raccolti i dati durante la conduzione della prova

NOTA 1 Questi sono di due tipi principali, le cui definizioni sono fornite nel seguito.

NOTA 2 Le misure possono essere effettuate in punti all'interno del campione per valutarne il comportamento, ma queste non sono considerate come punti di misura nel senso della presente Norma. Per ulteriori dettagli si veda A.2.1.

3.2.1

punto di verifica

punto collocato sull'attrezzatura di fissaggio, sulla tavola vibrante o sul campione il più vicino possibile ad uno dei suoi punti di fissaggio, e in ogni caso rigidamente fissato ad esso

NOTA 1 Può essere utilizzato un certo numero di punti di verifica, al fine di assicurarsi che i requisiti della prova siano soddisfatti.

NOTA 2 Se i punti di fissaggio sono quattro o meno di quattro, ciascuno viene utilizzato come punto di verifica. Per prodotti imballati, in cui un punto di fissaggio può essere interpretato come la superficie dell'imballaggio a contatto con la tavola vibrante, si può utilizzare un solo punto di verifica, a condizione che non ci siano effetti dovuti alla risonanza della tavola vibrante e della struttura di montaggio nella gamma di frequenze specificata per la prova. Se questo è il caso, può essere necessario un controllo multipunto, ma si veda anche la Nota 3. Se i punti di fissaggio sono più di quattro, nella Specifica particolare saranno definiti quattro punti di fissaggio rappresentativi da utilizzare come punti di verifica.

NOTA 3 In casi speciali, ad esempio per campioni di grandi dimensioni o complessi, i punti di verifica saranno prescritti nella Specifica particolare, se non sono vicini ai punti di fissaggio.

NOTA 4 Nel caso in cui molti campioni di piccole dimensioni siano montati su un'unica attrezzatura di fissaggio o nel caso di un campione di piccole dimensioni con molti punti di fissaggio, per la derivazione del segnale di controllo si può utilizzare un singolo punto di verifica (cioè il punto di riferimento). Questo segnale è quindi relativo alla attrezzatura di fissaggio piuttosto che ai punti di fissaggio del/dei campione/i. Ciò è valido solo quando la più bassa frequenza di risonanza dell'attrezzatura di fissaggio, caricata dai campioni, si colloca ben al di sopra del limite superiore della frequenza della prova.

3.2.2

punto di riferimento

punto scelto tra i punti di verifica, il cui segnale viene utilizzato per controllare la prova, in modo da soddisfare le prescrizioni di prova della presente Norma

3.2.3

punto di riferimento fittizio

punto, derivato da più punti di verifica, manualmente o automaticamente, il cui risultato viene usato per verificare la prova, in modo da soddisfare le prescrizioni della presente Norma

3.3

metodi di controllo

3.3.1

controllo su un solo punto

metodo di controllo che utilizza il segnale proveniente dal trasduttore nel punto di riferimento al fine di mantenere questo punto al livello di vibrazione specificato (vedi 4.1.4.1)



3.3.2

controllo multipunto

metodo di controllo ottenuto utilizzando i segnali provenienti da ciascuno dei trasduttori nei punti di verifica

NOTA I segnali vengono mediati aritmeticamente in modo continuo oppure trattati mediante tecniche di confronto secondo la Specifica particolare (vedi 4.1.4.1)

3.4

ciclo di scansione

estensione della gamma di frequenze specificata una volta per ciascuna direzione, per esempio da 10 Hz a 150 Hz a 10 Hz

NOTA I manuali dei costruttori di sistemi numerici di controllo sinusoidale fanno spesso riferimento ad un ciclo di scansione che va da f_1 a f_2 e non da f_1 a f_2 a f_1

3.5

tolleranza sul segnale

tolleranza sul segnale $T = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \%$

dove

NF è il valore efficace del segnale non filtrato;

F è il valore efficace del segnale filtrato.

NOTA Questo parametro si applica a qualsiasi segnale utilizzato per controllare la prova: accelerazione, velocità o spostamento (vedi A.2.2).

3.6

moto fondamentale

moto alla frequenza della vibrazione di eccitazione nel punto di riferimento (vedi anche 4.1.1)

3.7

moto effettivo

moto rappresentato dal segnale a banda larga proveniente dal trasduttore posto nel punto di riferimento

3.8

smorzamento

termine generico attribuito ai numerosi meccanismi di dissipazione dell'energia in un sistema

NOTE In pratica, lo smorzamento dipende da parecchi fattori, come il tipo di struttura, il modo di vibrare, la deformazione, le forze applicate, la velocità, i materiali, lo scorrimento delle giunzioni, ecc.

3.9

frequenze critiche

frequenze a cui

- si manifestano malfunzionamenti e/o degrado delle prestazioni del campione, che dipendono dalla vibrazione e/o
- si verificano delle risonanze meccaniche e/o altri effetti della risposta alle vibrazioni, per esempio, sferragliamento

3.10

frequenza di risonanza centrata

frequenza centrata automaticamente sulla frequenza di risonanza effettiva rilevata durante la prova di ricerca della risposta vibratoria

3.11

scansione in frequenza a banda stretta

scansione su una ristretta banda di frequenze compresa tra 0,8 e 1,2 volte la frequenza critica



3.12

g_n

accelerazione normalizzata dovuta alla gravità terrestre, che di per sé varia con la quota e con la latitudine geografica

NOTA Ai fini della presente Norma, il valore di g_n è arrotondato al numero intero più vicino, ossia 10 m/s².

4 Prescrizioni per le prove

4.1 Caratteristiche richieste

Le caratteristiche richieste si applicano all'intero sistema di vibrazione, che comprende l'amplificatore di potenza, l'eccitatore, l'attrezzatura di fissaggio di prova, il campione e il sistema di controllo una volta pronti per la prova.

4.1.1 Moto fondamentale

Il moto fondamentale deve essere una funzione sinusoidale del tempo e tale che i punti di fissaggio del campione si muovano essenzialmente in fase e lungo linee rette parallele, tenuto conto delle limitazioni richiamate in 4.1.2 e 4.1.3.

4.1.2 Moti spuri

4.1.2.1 Moto trasversale

La massima ampiezza della vibrazione nei punti di verifica lungo un qualsiasi asse perpendicolare all'asse specificato non deve superare il 50% dell'ampiezza specificata fino a 500 Hz o il 100% per frequenze maggiori di 500 Hz. Le misure devono solo coprire la gamma di frequenze specificate. In casi particolari, per es. per piccoli campioni, l'ampiezza del moto trasversale ammissibile può essere limitata al 25%, qualora ciò venga richiesto nella specifica particolare.

In alcuni casi, per esempio per campioni di notevoli dimensioni o di grande massa oppure ad alcune frequenze, può risultare difficoltoso rispettare i valori dati sopra. In questi casi, la specifica particolare deve stabilire quale dei seguenti requisiti si applica:

- a) deve essere rilevato qualsiasi moto trasversale con ampiezza superiore a quella sopra riportata e esso deve essere citato nel rapporto di prova; oppure
- b) non è necessario rilevare il movimento trasversale se si conosce che esso non presenta alcun rischio per il campione.

4.1.2.2 Moto rotazionale

Nel caso di campioni di notevoli dimensioni o di grande massa, si può verificare un moto rotazionale spurio della tavola vibrante, di una certa entità. In tal caso, la specifica particolare deve prescrivere un livello accettabile. Il livello raggiunto deve essere riportato nel rapporto di prova (vedi anche A.2.4).

4.1.3 Tolleranza sul segnale

Se indicato nella specifica particolare, si devono effettuare delle misure di tolleranza sul segnale in accelerazione. Esse debbono essere effettuate nel punto di riferimento e debbono interessare le frequenze fino a 5 000 Hz o fino a cinque volte la frequenza di eccitazione, se quest'ultimo valore è più piccolo. Tuttavia, la frequenza massima di analisi può essere portata alla frequenza massima della prova o anche oltre, se questo viene indicato nella specifica particolare. Salvo diversa prescrizione nella specifica particolare, la tolleranza sul segnale non deve superare il 5% (vedi 3.5).

Se è prescritto nella specifica particolare, l'ampiezza in accelerazione del segnale di controllo alla frequenza fondamentale di eccitazione deve essere riportata al valore prescritto per mezzo di un filtro ad inseguimento (vedi A.4.4).



Nel caso di campioni di notevoli dimensioni o complessi, laddove i valori prescritti di tolleranza sul segnale non possono essere rispettati per alcune delle frequenze e non è agevole utilizzare un filtro ad inseguimento, l'ampiezza in accelerazione non deve essere ripristinata, ma la tolleranza sul segnale deve essere riportata nel rapporto di prova (vedi A.2.2).

NOTA Se non si usa il filtro ad inseguimento e la tolleranza sul segnale supera il 5%, la riproducibilità può essere significativamente influenzata dalla scelta di un sistema di controllo digitale o analogico (vedi A.4.5).

La specifica particolare può richiedere che la tolleranza sul segnale e la relativa gamma di frequenze siano indicate nel rapporto di prova, sia che il filtro ad inseguimento sia stato utilizzato sia che non lo sia stato (vedi A.2.2).

4.1.4 Tolleranze sull'ampiezza di vibrazione

L'ampiezza del moto fondamentale lungo l'asse richiesto nei punti di verifica e di riferimento deve essere uguale al valore prescritto, con le tolleranze specificate di seguito. Queste tolleranze comprendono gli errori di strumentazione. La specifica particolare può richiedere che il livello di confidenza nella stima delle incertezze di misura sia precisato nel rapporto di prova.

A basse frequenze o con campioni di dimensioni notevoli o di grande massa, può risultare difficoltoso rispettare le tolleranze richieste. In questi casi, una tolleranza più ampia o un metodo alternativo di stima debbono essere prescritti nella specifica particolare e precisati nel rapporto di prova.

4.1.4.1 Punto di riferimento

La tolleranza sul segnale di controllo nel punto di riferimento deve essere $\pm 15\%$ (vedi A.2.3).

4.1.4.2 Punti di verifica

Tolleranza sul segnale di controllo in ciascun punto di verifica:

$\pm 25\%$ fino a 500 Hz;

$\pm 50\%$ oltre 500 Hz.

(Vedi A.2.3.)

4.1.5 Tolleranze sulla frequenza

Si applicano le seguenti tolleranze sulla frequenza.

4.1.5.1 Durata mediante scansioni

$\pm 0,05$ Hz fino a 0,25 Hz;

$\pm 20\%$ tra 0,25 Hz e 5 Hz;

± 1 Hz tra 5 Hz e 50 Hz;

$\pm 2\%$ oltre 50 Hz.

4.1.5.2 Durata a frequenza fissa

a) Frequenza fissa:

$\pm 2\%$.

b) Frequenza quasi fissa:

$\pm 0,05$ Hz fino a 0,25 Hz;

$\pm 20\%$ tra 0,25 Hz e 5 Hz;

± 1 Hz tra 5 Hz e 50 Hz;

$\pm 2\%$ oltre 50 Hz.



4.1.5.3 Misura della frequenza critica

Quando si devono confrontare le frequenze critiche (vedi 8.2) prima e dopo la prova di durata, per es. durante la ricerca della risposta vibratoria, si devono applicare le seguenti tolleranze:

- ±0,05 Hz fino a 0,5 Hz;
- ±10 % tra 0,5 Hz e 5 Hz;
- ±0,5 Hz tra 5 Hz e 100 Hz;
- ±0,5 % oltre 100 Hz.

4.1.6 Scansione

La scansione deve essere continua e la frequenza deve cambiare in modo esponenziale in funzione del tempo (vedi A.4.3). La velocità di scansione deve essere pari a una ottava al minuto con una tolleranza di ±10%. Questa velocità può variare nel caso di ricerca della risposta vibratoria (vedi 8.2).

NOTA Con un sistema di controllo digitale, non è propriamente corretto fare riferimento ad una scansione "continua", ma nella pratica la differenza non è significativa.

4.2 Strategia di controllo

4.2.1 Controllo a singolo punto/controllo multipunto

Quando è necessario oppure se viene specificato un controllo multipunto, si deve specificare una strategia di controllo.

La specifica particolare deve indicare se si deve utilizzare un controllo a singolo punto o multipunto. Se viene prescritto un controllo multipunto, la specifica particolare deve indicare se devono essere controllate al livello specificato l'ampiezza media dei segnali nei punti di verifica oppure l'ampiezza del segnale in un punto scelto (per esempio, quello con ampiezza maggiore), si veda anche A.2.3.

Se non è possibile ottenere un controllo a singolo punto, come richiesto dalla specifica particolare, allora si deve utilizzare un controllo multipunto, verificando il valore medio o estremo dei segnali nei punti di verifica. In entrambi i casi di controllo multipunto, il punto di riferimento è un punto di riferimento fittizio. Il metodo usato deve essere indicato nel rapporto di prova.

L'uso del controllo multipunto non garantisce che siano soddisfatte le tolleranze di ciascun punto di verifica. In generale riduce lo scarto dai valori nominali, quando confrontato con il controllo a singolo punto, nel punto di riferimento fittizio.

Sono disponibili le seguenti strategie.

4.2.1.1 Strategia della media

Con questo metodo, l'ampiezza di controllo viene calcolata a partire dal segnale in ogni punto di verifica. Un'ampiezza di controllo composta è ottenuta facendo la media aritmetica delle ampiezze di segnale nei punti di verifica. Questa ampiezza di controllo ottenuta con media aritmetica viene poi confrontata con l'ampiezza specificata.

4.2.1.2 Strategia della media ponderata

L'ampiezza di controllo a_C è ottenuta facendo la media tra le ampiezze di segnale comprese nei punti di verifica tra a_1 e a_n , conformemente ai loro coefficienti di ponderazione da w_1 a w_n :

$$a_C = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

Questa strategia di controllo permette a diversi segnali dei punti di verifica di contribuire al controllo con una proporzione differente.



4.2.1.3 Strategia degli estremi

Con questo metodo si calcola un'ampiezza di controllo composta dalle ampiezze estreme massima (MAX) o minima (MIN) dell'ampiezza di segnale misurata in ciascun punto di verifica. Questa strategia produrrà un'ampiezza di controllo che rappresenta l'involuppo delle ampiezze di segnale a partire da ciascun punto di verifica (MAX) o il limite minimo delle ampiezze di segnale a partire da ciascun punto di verifica (MIN).

4.2.2 Controllo con riferimenti multipli

Se indicato nella specifica particolare, spettri di riferimento multiplo possono essere definiti per diversi punti di riferimento o punti di misura o differenti tipi di variabili controllate, per esempio, per prove della vibrazione con forza limitata.

Quando viene specificato un controllo con riferimenti multipli, la strategia di controllo deve essere prescritta come segue:

Limitazione: Tutti i segnali di controllo devono essere al di sotto del loro riferimento appropriato;

Superamento: Tutti i segnali di controllo devono essere al di sopra del loro riferimento appropriato.

4.3 Montaggio

Se non diversamente specificato nella specifica particolare, i campioni devono essere montati sull'attrezzatura di prova conformemente alle prescrizioni della IEC 60068-2-47. Per campioni montati normalmente su isolatori di vibrazioni, si veda la nota di 8.3.2 così come quanto indicato in A.3.1, A.3.2 e nell'art. A.5.

5 Severità

La severità di una vibrazione è definita dalla combinazione di tre parametri: banda di frequenza, ampiezza della vibrazione e durata della sollecitazione (in numero di scansioni o tempo).

Ciascun parametro deve essere prescritto dalla specifica particolare. Questi parametri possono essere:

- a) scelti tra i valori indicati da 5.1 a 5.3;
- b) scelti tra gli esempi dell'Allegato A o C;
- c) ricavati dall'ambiente noto;
- d) ricavati da altre sorgenti note di dati pertinenti, per esempio, dalla serie IEC 60721-3.

Per consentire una certa flessibilità in situazioni nelle quali l'ambiente reale è noto, può essere appropriato specificare una curva dell'accelerazione in funzione della frequenza e in questi casi la specifica particolare deve prescrivere la forma in funzione della frequenza. I differenti livelli e le corrispondenti bande di frequenza, cioè i punti di discontinuità della curva, devono essere selezionati, ove possibile, fra i valori forniti dalla presente Norma.

Esempi di severità sono dati nell'Allegato B per componenti e nell'Allegato C per le apparecchiature (vedi anche A.4.1 e A.4.2).

5.1 Banda di frequenza

Se viene adottata l'opzione a) per l'intervallo di frequenza della prova, allora si può scegliere una frequenza minima tra quelle indicate in 5.1.1 e una frequenza massima tra quelle indicate in 5.1.2.

5.1.1 Frequenza minima f_1 Hz

0,1; 1; 5; 10; 55; 100



5.1.2 Frequenza massima f_2 Hz

10; 20; 35; 55; 100; 150; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000

Esempi di bande per particolari applicazioni sono indicati nelle Tab. B.1, C.1 e C.2.

5.2 Ampiezza della vibrazione

L'ampiezza in spostamento, velocità o accelerazione o una loro combinazione deve essere data nella specifica particolare.

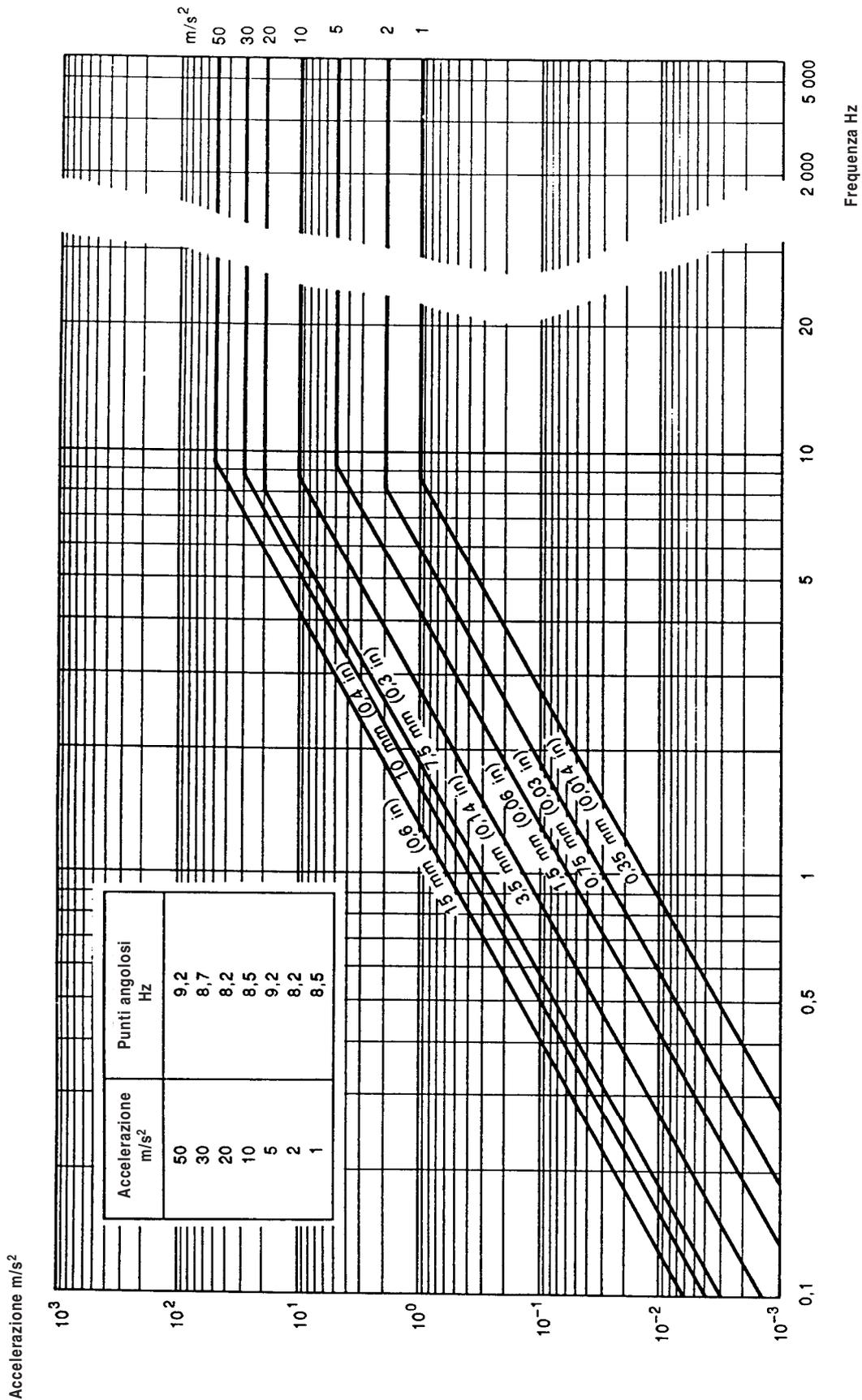
Al disotto di una certa frequenza, nota come "frequenza di incrocio", tutte le ampiezze sono specificate in termini di spostamento costante, mentre al di sopra di questa frequenza, le ampiezze sono date in termini di velocità o accelerazione costante. Per due differenti frequenze di incrocio, nelle Fig. 1 e 2 vengono forniti i valori di esempio.

Ciascun valore di ampiezza di spostamento è associato ad un corrispondente valore di ampiezza di accelerazione in modo che l'ampiezza della vibrazione sia la stessa alla frequenza di incrocio (vedi A.4.1).

Dove non sia tecnicamente appropriato utilizzare le frequenze di incrocio date in questo paragrafo, la specifica particolare può associare ampiezze di spostamento e di accelerazione che danno luogo a differenti valori di frequenza di incrocio. In certi casi, si possono anche specificare più frequenze di incrocio.

NOTA Nelle Fig. 1, 2 e 3 vengono forniti dei nomogrammi che danno l'ampiezza di vibrazione in funzione della frequenza, ma prima di farne uso nella regione delle basse frequenze, occorre tener conto delle considerazioni date in A.4.1.

Fino ad un limite superiore di 10 Hz, è normalmente appropriato specificare una ampiezza di spostamento sull'intera banda di frequenza. Quindi, nella Fig. 3 vengono specificate solo le ampiezze di spostamento.



NOTA Il presente nomogramma non dovrebbe essere preso come precisa rappresentazione grafica delle severità

Figura 1 – Nomogramma relativo all'ampiezza di vibrazione in funzione della frequenza con frequenza di incrocio inferiore (tra 8 Hz e 10 Hz)

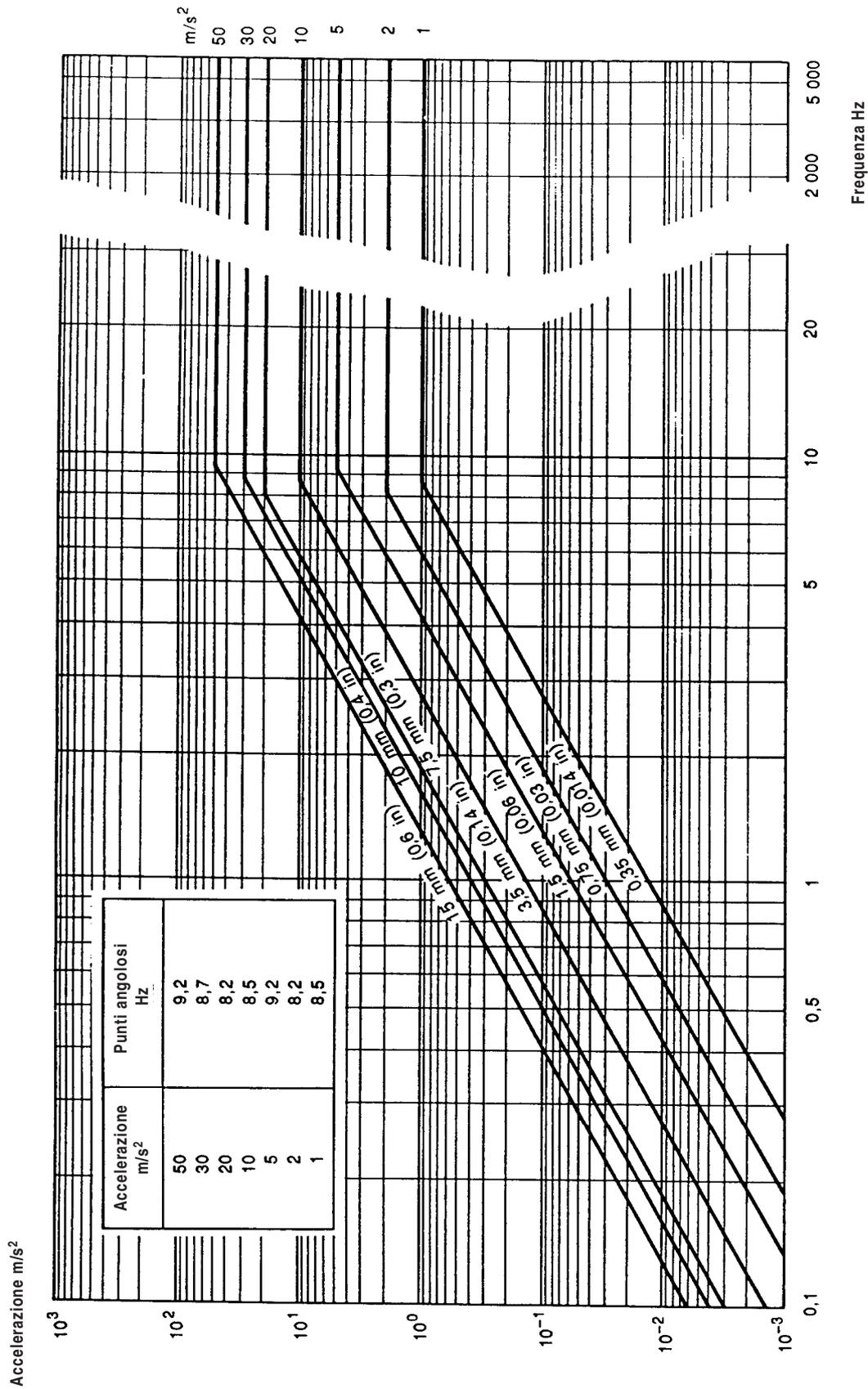
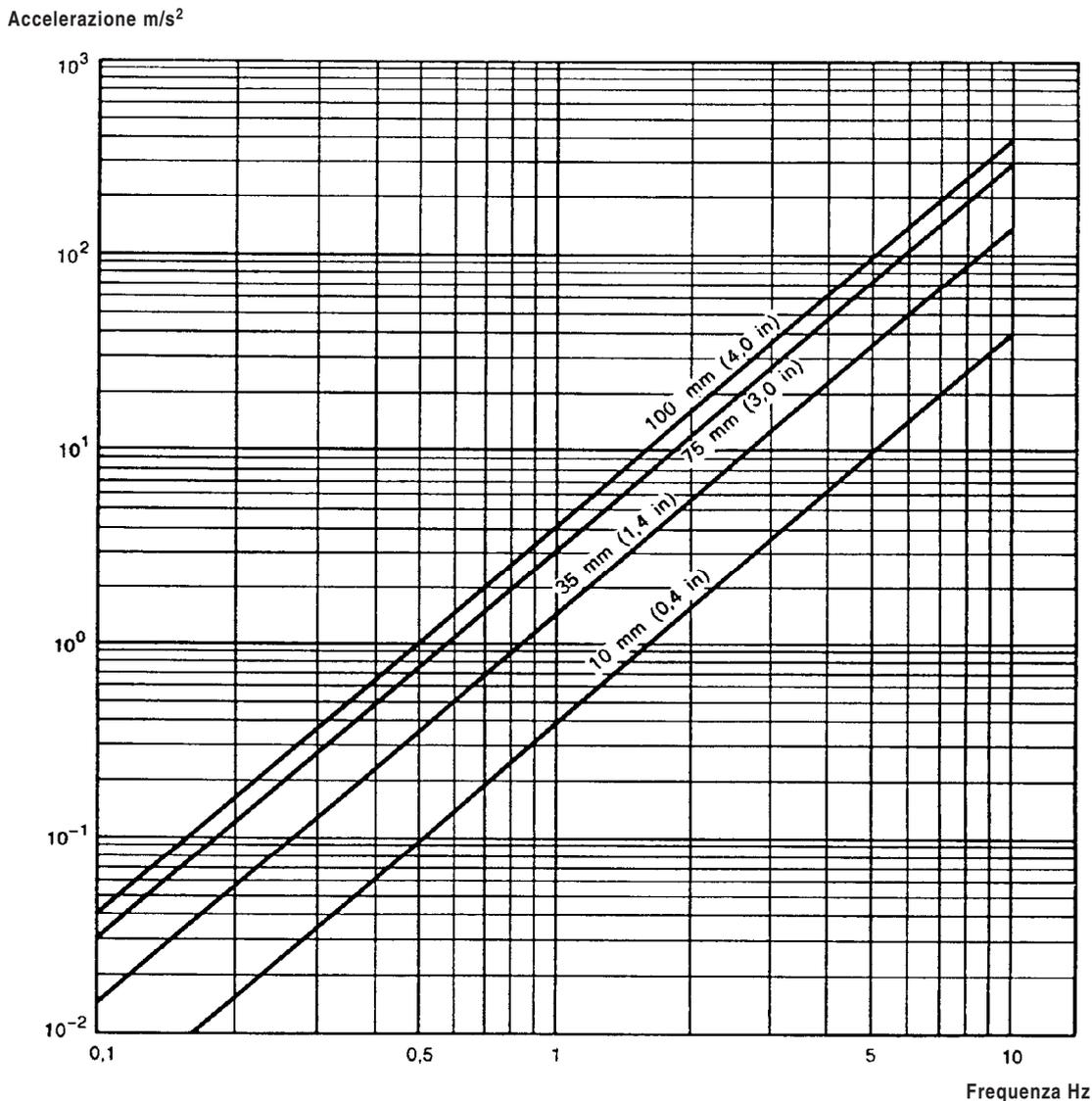


Figura 2 –Nomogramma relativo all’ampiezza di vibrazione in funzione della frequenza con frequenza di incrocio superiore(tra 58 Hz e 62 Hz)

NOTA Il presente nomogramma non dovrebbe essere preso come precisa rappresentazione grafica delle severità



NOTA Il presente nomogramma non dovrebbe essere preso come precisa rappresentazione grafica delle severità

Figura 3 – Nomogramma relativo all'ampiezza dello spostamento di vibrazione in funzione della frequenza (applicabile solo a bande di frequenza con una frequenza massima di 10 Hz)

5.3 Durata della prova di durata

La specifica particolare deve selezionare la/e durata/e fra i valori raccomandati dati di seguito. Se la durata prescritta comporta un tempo di prova maggiore o uguale a 10 h per asse o per frequenza, questo tempo può essere suddiviso in periodi di prova separati a condizione che questo non implichi una diminuzione delle sollecitazioni nel campione (vedi A.1 e A.6.2).

5.3.1 Prova di durata tramite scansioni

La durata della prova di durata per ogni asse deve essere data come numero di cicli di scansione (vedi 3.4) selezionati dalla specifica particolare o può essere scelta fra i valori seguenti:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

Quando è richiesto un numero maggiore di cicli di scansione, conviene applicare le medesime serie (vedi A.4.3).



5.3.2 Prova di durata a frequenza fissa

5.3.2.1 Prova di durata alle frequenze critiche

La durata della prova di durata lungo ciascun asse appropriato e a ciascuna frequenza rilevata durante la ricerca della risposta vibratoria (vedi 8.2), deve essere indicata nella specifica particolare o scelta fra i valori dati di seguito, con una tolleranza di $^{+5}_0$ % (vedi A.1 e A.6.2):

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

Per le frequenze quasi fisse, vedi A.1.

5.3.2.2 Prova di durata a frequenze predeterminate

La durata prescritta dalla specifica particolare deve tener conto del tempo totale durante il quale il campione sarà presumibilmente sottoposto a tali vibrazioni nel corso della sua vita operativa. Per ciascuna combinazione prescritta di frequenza e asse, la durata della prova non deve superare il limite superiore di 10^7 cicli di sollecitazione (vedi A.1 e A.6.2).

6 Precondizionamento

La specifica particolare può richiedere un precondizionamento e deve allora prescriverne le condizioni (vedi IEC 60068-1).

7 Misure iniziali

Il campione deve essere sottoposto ai controlli visivi, dimensionali e funzionali prescritti dalla specifica particolare (vedi A.9).

8 Prova

8.1 Generalità

La specifica particolare deve prescrivere il numero degli assi nei quali il campione sarà sottoposto a prova di vibrazione e la loro posizione relativa. In assenza di tali prescrizioni nella Specifica particolare, il campione sarà sottoposto alle vibrazioni, in successione, secondo tre assi mutuamente ortogonali, che conviene scegliere in modo che i difetti possano evidenziarsi con maggiore probabilità.

Il segnale di controllo nel punto di riferimento deve essere derivato dai segnali nei punti di verifica e deve essere utilizzato per il controllo a punto singolo o multiplo (vedi A.4.5).

Nella specifica particolare, la procedura di prova applicabile deve essere scelta fra le fasi elencate nel seguito. Una guida è data nell'Allegato A. In generale, le fasi della prova devono essere eseguite in sequenza su uno stesso asse e quindi ripetute sugli altri assi (vedi art. A.3).

Misure (accorgimenti) particolari sono da prendersi quando un campione destinato normalmente ad essere utilizzato con isolatori di vibrazione deve essere provato senza di essi (vedi art. A.5). Accorgimenti particolari sono da prendersi anche quando un prodotto destinato normalmente ad essere trasportato con imballaggio deve essere provato senza di esso (vedi IEC 60068-2-47).

Quando è richiesto dalla specifica particolare, al controllo dell'ampiezza di vibrazione prescritta deve essere aggiunta una limitazione sulla massima forza di eccitazione applicata al sistema vibrante. Il metodo di limitazione della forza deve essere precisato nella specifica particolare (vedi art. A.7).



8.2 Ricerca della risposta vibratoria

Ove richiesto dalla Specifica particolare, si deve ricercare la risposta del campione in una certa banda di frequenza allo scopo di studiare il comportamento del campione durante le vibrazioni. Normalmente, la ricerca della risposta vibratoria deve essere effettuata con un ciclo di scansione nelle stesse condizioni della prova di durata (vedi 8.3), ma l'ampiezza della vibrazione può essere diminuita e la velocità della scansione ridotta sotto il valore prescritto se, così facendo, si può ottenere una più precisa determinazione delle caratteristiche di risposta. Si devono evitare condizioni non necessarie di arresto prolungato della scansione ad una frequenza e di sovraccarico del campione (vedi A.3.1). Per la ricerca della risposta vibratoria di prodotti con imballaggio, per i casi in cui non sia possibile montare strumenti di misura sul prodotto all'interno dell'imballaggio, allora la misura della forza di eccitazione del campione può essere utilizzata per rilevare le frequenze di risonanza del prodotto all'interno dell'imballaggio. Questa non è una procedura semplice da realizzare e si deve effettuare un bilancio adeguato tra la realizzazione di tali misurazioni e la mancanza di conoscenza delle frequenze di risonanza dei campioni imballati.

Per le ricerche della risposta vibratoria di un campione o di un imballaggio di "tipo non definito", può essere necessario misurare segnali diversi quali la forza di eccitazione o la velocità di vibrazione. Se precisato dalla Specifica particolare, per esempio si possono calcolare gli spettri dell'impedenza meccanica del campione prima e dopo la prova.

Durante la ricerca della risposta vibratoria, il campione deve funzionare, se richiesto dalla specifica particolare. Quando le caratteristiche della vibrazione meccanica non possono essere stimate perché il campione è in funzione, si deve effettuare una ulteriore ricerca della risposta vibratoria con il campione non in funzione.

Durante la ricerca della risposta vibratoria, si debbono esaminare sia il campione che i dati relativi alla risposta vibratoria, allo scopo di determinare le frequenze critiche. Queste frequenze, le ampiezze applicate e il comportamento del campione debbono essere indicati nel rapporto di prova (vedi A.1). La specifica particolare deve precisare quali azioni prendere.

Quando si usa un controllo digitale, si deve fare attenzione nella determinazione delle frequenze critiche dal diagramma della curva di risposta, a causa delle limitazioni risultanti dal numero di punti scelto per ciclo di scansione o dalla capacità di discriminazione dello schermo del sistema di controllo (vedi A.3.1).

In certi casi, la specifica particolare può richiedere una ulteriore ricerca della risposta vibratoria a completamento della prova di durata, in modo da poter confrontare le frequenze critiche prima e dopo la prova. La specifica particolare deve precisare quali azioni prendere se si verifica qualche cambiamento nelle frequenze. È essenziale che entrambe le ricerche della risposta vibratoria siano effettuate nell'identico modo e con le stesse ampiezze di vibrazione (vedi 4.1.5.3 e A.3.1).

8.3 Procedure per le prove di durata

La Specifica particolare deve prescrivere quale, fra le seguenti procedure per prova di durata, deve essere seguita.

8.3.1 Durata tramite scansioni

Questa è la procedura preferibile.

La frequenza viene fatta variare su una determinata banda di frequenza, con la velocità di scansione, l'ampiezza e la durata selezionate nella Specifica particolare (vedi 5.3.1). Se necessario, il campo di frequenza può essere suddiviso, a condizione che le sollecitazioni sul campione non ne siano ridotti.



8.3.2 Durata a frequenza fissa

La vibrazione deve essere applicato:

a) a quelle frequenze rilevate nella ricerca della risposta vibratoria descritta in 8.2, utilizzando uno dei metodi seguenti:

- 1) frequenza fissa,
 - frequenza di risonanza centrata.

La frequenza applicata deve essere sempre mantenuta alla frequenza critica reale.

- 2) frequenza quasi fissa,
 - scansioni in frequenza a banda stretta.

Se la frequenza critica reale non è del tutto evidente, per esempio se si verifica tintinnio o quando un certo numero di singoli campioni viene sottoposto a prova simultaneamente, può essere conveniente effettuare una scansione su una banda di frequenze ristretta fra 0,8 e 1,2 volte la frequenza critica, in modo da eccitare completamente il fenomeno cercato. Questo può anche applicarsi quando la risonanza è non-lineare (vedi A.1).

b) a frequenze predeterminate prescritte dalla Specifica particolare.

La prova deve essere effettuata all'ampiezza e per la durata prescritte dalla Specifica particolare (vedi A.3.2).

NOTA Nel caso di un campione montato su isolatori di vibrazione, oppure all'interno dell'imballaggio, occorre che nella Specifica particolare sia prescritto se si debbano o meno scegliere, per questa prova di durata, le frequenze di risonanza del campione sui suoi isolatori oppure all'interno dell'imballaggio (vedi A.5).

9 Misure intermedie

Quando lo prescrive la Specifica particolare, il campione deve funzionare e le sue prestazioni devono essere verificate nel corso della prova per la frazione specificata della durata totale (vedi A.3.2 e A.8).

10 Ripristino

Talora è necessario, se è prescritto dalla Specifica particolare, lasciar passare un certo periodo di tempo dopo la prova e prima delle misure finali per consentire al campione di tornare nelle stesse condizioni, per esempio di temperatura, che sussistevano per le misure iniziali. La specifica particolare deve prescrivere le condizioni precise per il ripristino.

11 Misure finali

Il campione deve essere sottoposto ai controlli visivi, dimensionali e funzionali prescritti dalla Specifica particolare.

La Specifica particolare deve fornire i criteri sulla base dei quali si verifica l'accettazione o il rifiuto del campione (vedi A.9).



12 Informazioni da fornire nella specifica particolare

Quando questa prova è compresa in una Specifica particolare, si debbono fornire i seguenti dettagli, nella misura in cui essi sono applicabili, ponendo particolare attenzione ai punti segnati con un asterisco (*), in quanto la corrispondente informazione è sempre richiesta.

	Articolo e/o paragrafo
a) Scelta dei punti di verifica	3.2.3
b) Scelta dei punti di controllo*	3.3.2
c) Movimento sull'asse trasversale	4.1.2.1
d) Moto rotazionale	4.1.2.2
e) Tolleranza sul segnale	4.1.3
f) Tolleranza sull'ampiezza di vibrazione	4.1.4
g) Livello di confidenza	4.1.4
h) Controllo su un solo punto o su più punti*	4.1.4.1
i) Montaggio	4.3
j) Severità, ambiente reale, se noto	5
k) Banda di frequenza*	5.1
l) Ampiezza di vibrazione*	5.2
m) Frequenze di incrocio particolari	5.2
n) Durata della prova di durata*	5.3 e 8.3
o) Precondizionamento	6
p) Misure iniziali*	7
q) Assi di vibrazione*	8
r) Limiti di forza	8
s) Fasi della prova da eseguire e loro sequenza*	8, 8.2 e 8.3
t) Funzionamento e controlli funzionali*	8.2 e 9
u) Azioni da intraprendere dopo l'esame della risposta vibratoria*	8.2
v) Azioni da intraprendere se si riscontra una variazione nelle frequenze critiche a seguito di un esame finale della risposta*	8.2
w) Frequenze predeterminate	8.3.2
x) Prove alle frequenze di risonanza del campione sui suoi isolatori di vibrazione	8.3.2
y) Ripristino	10
z) Misure finali *	11
aa) Criteri di accettazione o di rifiuto*	11



13 Informazioni da fornire nel rapporto di prova

Il rapporto di prova deve riportare almeno le seguenti informazioni:

1 Cliente	(nome e indirizzo)
2 Laboratorio di prova	(nome e indirizzo)
3 Identificazione del rapporto di prova	(data di pubblicazione, numero unico)
4 Date di prova	
5 Tipo di prova	Seno
6 Scopo della prova	(prova di sviluppo, qualificazione, ecc.)
7 Norma di prova, edizione	(procedura di prova corrispondente)
8 Descrizione del campione in prova	(identificazione unica, schema, foto, quantità, ecc.)
9 Montaggio del campione in prova	(identificazione del mezzo di fissaggio, schema, foto, ecc.)
10 Descrizione dell'apparecchio di prova	(moto trasversale, ecc.)
11 Sistema di controllo e misura, collocazione del sensore	(descrizione, schema, foto, ecc.)
12 Filtri usati per tutti i segnali	(tipi e larghezza di banda)
13 Incertezza del sistema di misura	(dati di taratura, data ultima e seguente)
14 Strategia di controllo	(verifica su più punti, riferimento multiplo o strategia MIN o MAX)
15 Misure iniziali, intermedie o finali	
16 Severità richieste	(dalla Specifica di prova)
17 Severità di prova con documentazione	(punti di misura, spettri di prova)
18 Risultati di prova	(commento sullo stato del campione di prova)
19 Osservazioni durante le prove e azioni intraprese	
20 Sommario della prova	
21 Responsabile della prova	(nome e firma)
22 Distribuzione	(elenco di coloro che ricevono il rapporto di prova)

NOTA 1 Per la prova dovrebbe essere scritto un diario di prova, in cui la prova viene documentata, come per es. elenco cronologico delle prove con i parametri di prova, le osservazioni rilevate durante le prove e le azioni intraprese e i Fogli di Interpretazione relativi alle misure effettuate. Il diario di prova può essere allegato al rapporto di prova.

NOTA 2 Vedere anche le prescrizioni elencate in 5.10 della ISO/IEC 17025.



Allegato A (informativo)

Guida alla prova Fc

A.1 Introduzione

Questa prova fornisce un metodo mediante il quale si possono riprodurre nel laboratorio di prova degli effetti confrontabili con quelli che si prevede verranno sperimentati nella pratica. Il suo scopo fondamentale non è necessariamente quello di riprodurre l'ambiente reale.

I parametri forniti sono normalizzati e adeguate tolleranze vengono scelte in modo da ottenere risultati simili quando una prova è eseguita in differenti laboratori da persone differenti utilizzando tecniche di controllo digitali o analogiche. La normalizzazione dei valori consente inoltre di raggruppare i componenti in categorie corrispondenti alla loro capacità di sopportare certe severità di vibrazione date nella presente Norma.

Nell'ambito delle prove di vibrazione, l'approccio usuale delle Specifiche precedenti è stato quello di ricercare le risonanze e quindi di effettuare una prova di durata nella quale il campione era sottoposto a vibrazioni alle frequenze di risonanza per un dato tempo. Sfortunatamente è difficile distinguere, per mezzo di una definizione generale, le risonanze che sono suscettibili di provocare un guasto in servizio, dalle risonanze che è improbabile che causino problemi, anche quando il campione è fatto vibrare per un lungo periodo.

Inoltre, queste procedure di prova spesso non sono realistiche quando applicate alla maggioranza dei moderni campioni. L'osservazione diretta è pressoché impossibile quando si tratta di valutare le caratteristiche vibratorie di un qualsiasi oggetto assemblato oppure dei moderni assiemi miniaturizzati. Le tecniche basate sui trasduttori di vibrazione spesso non possono essere applicate senza alterare la distribuzione di massa e/o rigidità nell'assieme. Nei casi in cui si usano i trasduttori, il successo dipende interamente dalla abilità e dalla esperienza del tecnico di prova nella scelta dei punti di misura appropriati sull'assieme.

La procedura qui preferita, cioè la prova di durata con scansioni, minimizza queste difficoltà ed evita la definizione di risonanze significative o pericolose. La raccomandazione di questo metodo è stata influenzata dalla necessità di prescrivere metodologie di prova che siano tanto ben definite per quanto consentito dallo stato attuale delle prove ambientali, e che riducano al minimo la dipendenza dalla abilità del tecnico di prova. La durata per mezzo di scansioni è determinata dal numero di cicli di scansione dedotti dal corrispondente numero di cicli di sollecitazione.

Tuttavia, la procedura può, in certi casi, portare a durate di prova eccessivamente lunghe, se la prova di durata è intesa come abbastanza lunga da garantire una resistenza alla fatica paragonabile al tempo di servizio richiesto, o una resistenza alla fatica illimitata in condizioni di vibrazione paragonabili a quelle sperimentate in servizio. Di conseguenza, sono stati suggeriti altri metodi, compresa la prova di durata a frequenze fisse, che sono o predeterminate o rilevate durante la ricerca della risposta vibratoria. Si suppone che la prova di durata a frequenza fissa sia applicabile se, durante la ricerca della risposta vibratoria, il numero di queste frequenze, per ciascun asse, si rivela piccolo e normalmente non è superiore a quattro. Se questo numero è superiore a quattro, la prova di durata con scansioni può risultare più appropriata.

Nel caso di frequenze quasi fisse, la durata dovrebbe basarsi sui valori specificati per le frequenze critiche. Tuttavia, si dovrebbe aggiungere al valore prescelto una frazione di questa durata in funzione della banda di frequenze critiche dei campioni (vedi 5.3.2.1).

Può essere appropriato effettuare la prova di durata sia con le scansioni sia a frequenza fissa. Occorre ricordare che la durata a frequenze fisse implica tuttora un certo grado di valutazione ingegneristica nell'applicazione.



Inoltre, per ogni frequenza predeterminata, è necessario indicare nella Specifica particolare la durata della prova.

La durata della prova a frequenza fissa è indicata in termini di tempo nel caso delle frequenze critiche. Questo tempo spesso si basa su una stima del numero di cicli di sollecitazione. A causa della grande varietà di materiali, è ovvio che non risulta possibile indicare un dato unico per il numero dei cicli di sollecitazione. Si considera tuttavia che 10^7 sia un limite superiore abbastanza ragionevole in una prova generale di vibrazione e che non sussiste la necessità di superarlo (vedi 5.3.2.1 e 5.3.2.2).

In alcuni casi, quando è presente un alto livello di vibrazione di fondo, sia aleatoria, sia di natura complessa, una prova sinusoidale può non essere adeguata. È quindi lasciato all'utilizzatore decidere se la sola prova sinusoidale è adatta per la specifica applicazione.

Se è noto che l'ambiente reale è costituito da vibrazioni essenzialmente aleatorie, si dovrebbe usare per la fase di durata una prova di vibrazione aleatoria, quando ciò sia economicamente fattibile. Questo è applicabile soprattutto nel caso di apparecchiature. Per alcuni campioni rappresentativi di componenti di costruzione semplice, una prova sinusoidale è generalmente adeguata. Le prove di vibrazione aleatoria sono trattate nella IEC 60068-2-64 per il controllo digitale.

A.2 Misura e controllo

A.2.1 Punti di misura

All'art. 3 sono definiti due tipi principali di punti di misura. Tuttavia, talora può essere necessario misurare delle risposte locali del campione allo scopo di investigare se quelle vibrazioni possano essere causa di danni. In certe circostanze, come durante la fase di progetto, può anche essere necessario includere i segnali provenienti da questi punti di misura nel circuito di controllo allo scopo di evitare al campione costose degradazioni. Si deve tuttavia notare che questa tecnica non è raccomandata nel presente documento, in quanto non può essere normalizzata (vedi 3.2).

A.2.2 Errori dovuti alla tolleranza sul segnale

Dove la tolleranza sul segnale è inferiore al 5% non c'è una differenza apprezzabile tra il moto reale e il moto fondamentale.

Se si utilizza un campione di piccole dimensioni o di massa piccola con una tavola vibrante di grandi dimensioni, in generale non sussiste alcun problema di tolleranza sul segnale. In effetti, se si effettuano misure di tolleranza sul segnale quando viene installato un nuovo sistema di prova di vibrazione, possono applicarsi tali misure originali. Tuttavia, i laboratori devono essere consapevoli dei problemi che nascono con campioni di grandi dimensioni.

Nei casi in cui la tolleranza sui segnali è alta, il sistema di misura indicherà un livello di vibrazione poco accurato, poiché contiene, oltre alla frequenza richiesta, anche molte frequenze indesiderate. Questo implica, alla frequenza richiesta, un'ampiezza minore di quella prescritta. Fino al valore di tolleranza sul segnale indicato in 4.1.3, questo errore può essere tollerato; tuttavia, sopra questo valore, può rendersi necessario riportare il livello della frequenza fondamentale all'ampiezza richiesta. Esistono parecchi modi per farlo, ma si raccomanda di utilizzare un filtro ad inseguimento. Se si ripristina il livello della frequenza fondamentale, il campione sarà sottoposto alle sollecitazioni previste per la frequenza richiesta.

Si può verificare in queste condizioni, che il livello delle frequenze indesiderate aumenti e, come conseguenza, che si producano delle sollecitazioni aggiuntive. Se questo determina sollecitazioni irrealisticamente elevate, può risultare più appropriato modificare il livello di tolleranza sul segnale prescritto nella Specifica particolare (vedi 4.1.3).



Per un sistema digitale, si possono ottenere informazioni aggiuntive sui segnali di controllo non filtrati a larga banda, facendo passare il segnale in un analizzatore di spettro. Si può effettuare un'analisi sulla banda di frequenze specificate; questa analisi mostrerà la frequenza fondamentale, le armoniche e le altre componenti di rumore dovute, per esempio, a tintinnio e a urti.

NOTA La relazione fra la distorsione D e la tolleranza sul segnale T è data da:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

dove D e T sono espressi in percentuale.

(Quando una tolleranza di segnale $T = 5$ viene inserita nell'equazione di cui sopra, ne risulterà una distorsione $D = 32$).

A.2.3 Derivazione del segnale di controllo

Per ottenere il segnale di controllo sono disponibili parecchi metodi.

Se è specificato un segnale di controllo che è la media di molti punti, cioè ottenuto dalla media aritmetica, un metodo consiste nell'ottenere il segnale mediato elaborando le tensioni continue proporzionali ai livelli di accelerazione di picco in ciascun punto di verifica.

Se si utilizza la scansione temporale (vedi l'art. 721-04-11 della IEC 60050(721)) allo scopo di stabilire una sorveglianza periodica di ciascun punto di verifica, conviene che la frequenza dell'operazione di sorveglianza non sia maggiore della frequenza di eccitazione in modo che almeno un periodo di ciascun segnale sia tenuto in conto. Per esempio, se vengono utilizzati quattro trasduttori, a 100 Hz il periodo di sorveglianza di ciascun punto non dovrebbe essere inferiore a 0,01 s. Possono tuttavia verificarsi dei problemi quando un tale sistema viene utilizzato congiuntamente ad un filtro ad inseguimento e, in questo caso, occorre prendere delle adeguate precauzioni.

Il sistema di campionamento può anche causare problemi quando la prova deve essere controllata a spostamento costante, poiché il segnale in accelerazione, che viene integrato due volte, non è proporzionale all'ampiezza di spostamento a causa della tolleranza sul segnale dovuta alla differenza di fase tra i segnali campionati (vedi 3.3.2).

È importante che il sistema di vibrazione nel suo insieme abbia un basso livello di rumore residuo in modo che la maggior parte della tolleranza specificata sia disponibile durante la prova (vedi 4.1.4.1). Tipicamente, 0,6 m/s² è una soglia di rumore accettabile per l'intero sistema.

A.2.4 Moto rotazionale (vedi 4.1.2.2)

Campioni di rilevanti dimensioni o di grande massa possono reagire alla eccitazione sinusoidale con momenti ribaltanti, causati dalla eccentricità delle forze di inerzia della massa, considerata rigida, rispetto all'asse di spinta della tavola vibrante o dalla distribuzione delle forze d'inerzia associate alle forme modali in corrispondenza delle frequenze naturali. Questi momenti di ribaltamento possono indurre moti rotazionali attorno ad assi che giacciono in piani ortogonali alla direzione del moto fondamentale e, di conseguenza, nel campione possono originarsi sollecitazioni aggiuntive. Ciò potrebbe portare a sollecitazioni eccessivamente alte. Può dunque essere appropriato ridurre i moti rotazionali o almeno conoscerne l'ampiezza. Le frequenze naturali del campione e le relative forme modali in generale non sono note prima della prova e risulta difficile formulare ipotesi generali che riguardano questi parametri.

Alcuni utili criteri approssimati si possono ottenere considerando la massa del campione (m), la massa delle parti mobili della tavola vibrante compresa l'attrezzatura di prova (m_t), la distanza (d) fra il centro di gravità del campione e l'asse di spinta della tavola vibrante e l'altezza (h) del centro di gravità del campione rispetto all'asse di spinta orizzontale della tavola vibrante.



Per campioni teoricamente rigidi, il massimo momento ribaltante previsto (M_0) può calcolarsi come segue, in presenza di una accelerazione massima di eccitazione A :

- massa rigida con eccentricità: $M_0 = m \times d \times A$;
- massa rigida con centro di gravità alto, eccitata orizzontalmente: $M_0 = m \times h \times A$.

Per campioni con una risonanza nel campo di frequenze specificato, le formule precedenti sono ancora valide, ma m rappresenta la massa modale e A la massima accelerazione di risposta prevista. Nei casi sopra indicati è importante utilizzare unità di misura omogenee.

Gli apparati di prova, sia elettrodinamici che servoidraulici, hanno limitazioni sul massimo momento ribaltante. Nel caso di apparati di prova con un unico generatore di vibrazione, dell'uno o dell'altro tipo, c'è un massimo momento ribaltante ammissibile, generalmente specificato dal costruttore dell'apparato allo scopo di evitare danni al generatore di vibrazioni.

Nel caso di apparati con più generatori di vibrazione, la tavola vibrante possiede un limite massimo nel controbilanciare i momenti ribaltanti e superare questo limite comporta avere moti rotazionali (di beccheggio o rollio) della tavola vibrante.

Si possono applicare i seguenti criteri.

Se il rapporto m/m_t è inferiore a 0,2, non è necessaria alcuna verifica; in caso contrario, possono essere appropriate le seguenti verifiche.

Per apparati con un unico generatore di vibrazione (con o senza tavola a sustentazione idrostatica) e per apparecchiature a guida meccanica, il momento ribaltante è controbilanciato dagli elementi elastici o dai cuscinetti. È quindi necessario misurare il moto rotazionale quando il momento ribaltante del campione supera il 50% del massimo momento ribaltante ammissibile dell'apparato di prova.

Per apparati con più generatori di vibrazione e per apparecchiature di prova a più gradi di libertà, il momento ribaltante è controbilanciato dai generatori di vibrazione regolati dal sistema di controllo. È allora solo necessario misurare il moto rotazionale quando il momento ribaltante del campione è superiore al massimo momento ribaltante sopportabile dall'apparecchiatura di prova.

A.3 Procedure di prova

A.3.1 Ricerca della risposta vibratoria (vedi 8.2)

Le ricerche della risposta vibratoria hanno molteplici scopi, in particolare quando è noto che il campione sarà sottoposto a considerevoli vibrazioni di natura periodica, come quelle che si riscontrano sulle navi, gli aeromobili e il macchinario rotante. La ricerca della risposta è utilizzata anche quando è ritenuto importante studiare il comportamento dinamico del campione e quando occorre stimarne la fatica.

Occorre considerare con attenzione l'ampiezza utilizzata durante la ricerca della risposta vibratoria, in particolare rispetto alla linearità del comportamento dinamico del campione e anche perché malfunzionamento e tintinnio non possono verificarsi che al solo livello di prova.

Una ricerca della risposta vibratoria effettuata prima e dopo la prova di durata può essere utilizzata per identificare variazioni nella frequenza alla quale si verificano la risonanza o qualsiasi altra risposta. Una variazione nella frequenza può indicare che si è prodotto un danno per fatica o qualche altro tipo di deterioramento che deve essere valutato in quanto tale variazione di frequenza può comportare quindi che il campione possa non essere adatto per l'ambiente operativo o per il trasporto.



Quando è prescritta una ricerca della risposta vibratoria, la Specifica particolare deve chiaramente indicare, se necessario, le azioni da prendersi durante e dopo la prova, per esempio:

- valori particolari dell'amplificazione dinamica che, se superati, possono richiedere una prova di durata con scansioni;
- variazioni di frequenza;
- livelli di risposta inaccettabili;
- rumore elettrico.

È importante che qualsiasi accorgimento preso per rilevare gli effetti sulle parti interne durante una ricerca di risposta vibratoria non modifichi in modo apprezzabile il comportamento dinamico dell'intero campione. Occorre anche ricordare che, in caso di risonanza non-lineare, un campione può rispondere in modo diverso a seconda della direzione nella quale si verifica la variazione di frequenza durante la scansione. Conviene che le frequenze critiche siano determinate su entrambe le fasi, ascendente e discendente, del ciclo di scansione poiché il campione si sarà strutturalmente assestato (stabilizzato) durante la fase ascendente della scansione.

Il punto di partenza della scansione può essere f_2 anziché f_1 se si sospetta la presenza di una non-linearità tendente a ridurre la rigidità (softening) o ad aumentarla (hardening). La determinazione della frequenza critica sarà diversa per le fasi ascendente e discendente della scansione.

Quando si usa il controllo digitale, è importante scegliere un numero sufficientemente grande di punti di analisi fra f_1 e f_2 , allo scopo di descrivere in modo adeguato ogni picco di risonanza e, di conseguenza, ciascuna frequenza critica del campione. Punti di analisi in numero insufficiente possono portare ad una determinazione imprecisa delle frequenze critiche, in particolare nella zona delle basse frequenze, quando i campioni hanno un basso coefficiente di smorzamento. Normalmente, si considera di avere un numero sufficiente di punti di analisi quando ci sono almeno tre punti (cinque se possibile) nella banda a -3 dB della risonanza associata. Tuttavia, la ricerca della risposta dovrà essere ripetuta, se si sono ottenuti punti in numero insufficiente quando sussiste una forte indicazione che esiste una risonanza. In tal caso, può rendersi necessario effettuare una scansione in una ristretta banda di frequenza.

Altri errori nella determinazione delle frequenze critiche possono provenire dalla scelta del metodo di rappresentazione grafica dei dati, in quanto alcuni sistemi possono avere una capacità limitata di mostrare in modo accurato tutti i dati. Può quindi essere necessario ingrandire la scala attorno a ciascuna frequenza critica per superare questa difficoltà.

Quando una ricerca di risposta vibratoria è prescritta da una Specifica particolare, è di fondamentale importanza la disponibilità degli isolatori di vibrazione utilizzati. Se gli isolatori di vibrazione sono disponibili, viene spesso effettuata una prima ricerca della risposta vibratoria con gli isolatori di vibrazione rimossi o bloccati, allo scopo di determinare le frequenze critiche del solo campione.

Si può allora procedere ad una seconda fase, nella quale si ripete la ricerca della risposta vibratoria con gli isolatori di vibrazione montati e liberi in modo da determinare l'effetto che essi hanno sul campione.

Durante la prima fase della ricerca di risposta vibratoria, dal momento che gli isolatori di vibrazione possono essere non attivi o non presenti, le loro caratteristiche di trasmissibilità devono essere determinate in base alla Fig. A.1, e diverse ampiezze di vibrazione devono essere utilizzate in modo da tener conto di queste caratteristiche.

Se gli isolatori di vibrazione non sono disponibili, vedi A.5.1.



A.3.2 Prova di durata (vedi 8.3)

La prova di durata tramite scansioni è normalmente il metodo più appropriato per simulare l'effetto delle sollecitazioni subite dal campione nel corso del suo uso (vedi 8.3.1).

La prova di durata a frequenze fisse è adatta ad un numero limitato di condizioni di servizio di campioni il cui ambiente di utilizzo sia sotto l'influenza di macchinario o la cui installazione sia ristretta ad uno o pochi tipi di veicolo od aeromobile. In questi casi, generalmente le frequenze dominanti sono note o possono essere previste. Questo metodo può anche essere indicato per un rapido accumulo di cicli di sollecitazione allo scopo di dimostrare gli effetti di fatica, prodotti per esempio dalla eccitazione associata all'ambiente originato dal trasporto (vedi 8.3.2).

In certi casi, può essere importante considerare i possibili effetti di fatica ad alcune frequenze discrete, così come stabilire in generale la capacità del campione a sopportare vibrazioni. In queste circostanze, sarebbe indicato far seguire la prova di durata mediante scansioni alla prova di durata a frequenze fisse. Questa procedura consentirebbe di ottenere le informazioni richieste nel più breve tempo possibile.

Nel caso di componenti di piccole dimensioni, dove si può ritenere che non sussista alcuna risonanza al di sotto di 55 Hz o 100 Hz, è sufficiente iniziare la prova di durata da queste frequenze.

Un'apparecchiatura normalmente montata su isolatori di vibrazione, viene sottoposta alla prova di durata con gli isolatori installati. Se non è possibile farlo con gli isolatori di vibrazione appropriati, per esempio se l'apparecchiatura è installata assieme ad altre apparecchiature su un comune dispositivo di montaggio, l'apparecchiatura può essere sottoposta alla prova senza isolatori, ma con una severità differente, che deve essere precisata nella Specifica particolare. Questa ampiezza dovrebbe essere determinata tenendo conto della trasmissibilità del sistema di isolamento dalle vibrazioni lungo ciascun asse usato in prova. Quando le caratteristiche degli isolatori non sono note, vedi A.5.1.

La Specifica particolare può richiedere una prova supplementare su un campione i cui isolatori di vibrazione esterni siano stati rimossi o bloccati, allo scopo di dimostrare che si è ottenuto un minimo accettabile di resistenza strutturale. In questo caso, conviene che la Specifica particolare indichi la severità da applicare.

Nel caso di un prodotto che sarebbe normalmente sottoposto a prova nel suo imballaggio, al fine di riprodurre la parte della sua vita relativa al trasporto, dove l'imballaggio non è disponibile fare riferimento alla IEC 60068-2-47.

A.4 Severità di prova (vedi art. 5)

A.4.1 Selezione delle severità di prova

Le frequenze e le ampiezze date sono state selezionate per coprire le risposte in frequenza corrispondenti ad un ampio campo di utilizzo. Quando una apparecchiatura è destinata ad un'unica applicazione, è preferibile basare la severità sulle caratteristiche vibratorie dell'ambiente reale, se esse sono note. Quando di un'apparecchiatura non sono note le condizioni vibratorie dell'ambiente reale, conviene selezionare l'appropriata severità di prova fra quelle dell'Allegato C, il quale fornisce degli esempi di severità di prova per diverse applicazioni.

Nella determinazione delle severità di prova, chi prepara le specifiche deve tener conto delle informazioni date nella IEC 60721-3 (vedi art. 5).

Poiché il valore dell'ampiezza in spostamento è associato con il corrispondente valore dell'ampiezza in accelerazione in modo che il livello di vibrazione sia lo stesso alla frequenza di incrocio, il campo di frequenze può essere scansionato in modo continuo passando, alla frequenza di incrocio, da uno spostamento costante ad una accelerazione costante e viceversa. Sono date delle frequenze di incrocio comprese fra 8 Hz e 10 Hz e fra 58 Hz e 62 Hz.



Frequenze di incrocio diverse da quelle normalizzate possono essere richieste quando si vuole simulare l'ambiente reale, se esso è noto. Se ne deriva un'alta frequenza di incrocio, occorre tener presente i limiti del generatore di vibrazioni. È importante che l'ampiezza in spostamento selezionata non corrisponda ad una ampiezza in accelerazione che, nella zona delle basse frequenze, sia confrontabile con il livello di rumore residuo del sistema di vibrazione. Se necessario, il problema può essere superato utilizzando un filtro ad inseguimento oppure, se la prova è stata condotta nella sua totalità a frequenze basse, impiegando un trasduttore di spostamento nel circuito di controllo (vedi 5.2).

A.4.2 Selezione delle severità di prova per i componenti

La selezione delle severità di prova per i componenti è complicata dal fatto che, in molti casi, non si sa né in quali apparecchiature essi verranno installati né a quali sollecitazioni essi andranno soggetti. Anche quando si sa che i componenti sono destinati a determinate apparecchiature, occorre tener presente che l'ambiente vibratorio al quale il componente è soggetto può essere diverso da quello al quale sarà soggetta l'apparecchiatura, a causa della risposta dinamica della struttura di base, dell'apparecchiatura, dei sottoinsiemi, ecc. Occorre quindi prestare particolare attenzione nella selezione delle severità di prova dei componenti corrispondenti alle severità delle apparecchiature e può essere necessario prevedere qualche margine per tener conto degli effetti di queste risposte.

Quando i componenti sono montati in un'apparecchiatura in modo tale da proteggerli dalle vibrazioni, possono essere appropriate le severità di prova dell'apparecchiatura o, se possibile, severità più basse.

Un approccio alternativo alla selezione delle severità di prova per i componenti consiste nel sottoporre a prova e classificare i componenti secondo severità stabilite in modo che i progettisti delle apparecchiature possano selezionare componenti adatti per le loro applicazioni.

Occorre fare riferimento all'Allegato B, che fornisce esempi di severità relative a varie applicazioni.

A.4.3 Scansioni

Durante la scansione, la frequenza deve variare esponenzialmente in funzione del tempo in modo che:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

dove:

f è la frequenza;

f_1 è il limite inferiore in frequenza della scansione;

k è un fattore dipendente dalla velocità di scansione;

t è il tempo.

Per questa prova, la velocità di scansione è pari a una ottava al minuto (vedi 4.1.6), quindi $k = \log_e 2 = 0,693$, se il tempo è espresso in minuti.

Il numero di ottave per un ciclo di scansione è dato da:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6,644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

dove:

X è il numero di ottave;

f_1 è il limite inferiore in frequenza della scansione;

f_2 è il limite superiore in frequenza della scansione.



I valori ottenuti dalla formula sopra riportata sono riportati nella Tab. A.1 che mostra le durate associate al numero di cicli di scansioni e ai campi di frequenza raccomandati (vedi 5.3.1).

Per un sistema digitale l'onda sinusoidale in uscita può essere prodotta da un sintetizzatore analogico esterno o internamente da una sequenza finita di dati numerici contenente una parte del segnale sinusoidale.

Nel primo caso, si genera un'onda sinusoidale continua pura; questo porta a non avere differenza fra i sistemi analogico e numerico.

Nel secondo caso, il segnale analogico prodotto dal convertitore digitale/analogico non è continuo ma consiste in un certo numero di piccoli gradini. È necessario un filtro passa basso che filtrando questi gradini produca una forma essenzialmente sinusoidale e pura. È altresì importante che i dati di sequenze successive di comando si colleghino in modo da produrre un'onda sinusoidale "pulita".

Tabella A.1 – Numero dei cicli di scansione e durate associate per asse

Campo di frequenza Hz				Numero di cicli di scansione						
				1	2	5	10	20	50	100
da 1	a	35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	<u>17 h</u>	
da 1	a	100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h	
da 5	a	100	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h	
da 5	a	200	11 min	20 min	55 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h	
da 5	a	500	13 min	25 min	1 h 0 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h	
da 5	a	2 000	17 min	33 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h	
da 10	a	55	5 min	10 min	25 min	<u>45 min</u>	<u>1 h 45 min</u>	4 h	<u>8 h</u>	
da 10	a	150	8 min	16 min	40 min	<u>1 h 15 min</u>	<u>2 h 30 min</u>	<u>7 h</u>	<u>13 h</u>	
da 10	a	500	11 min	23 min	55 min	<u>2 h</u>	3 h 45 min	9 h	19 h	
da 10	a	2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h	
da 10	a	5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h	
da 55	a	500	6 min	13 min	30 min	<u>1 h</u>	2 h	5 h	11 h	
da 55	a	2 000	10 min	21 min	50 min	<u>1 h 45 min</u>	3 h 30 min	9 h	17 h	
da 55	a	5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h	
da 100	a	2 000	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h	

NOTA 1 Le durate fornite nella tabella sono state calcolate per una velocità di scansione di una ottava al minuto e arrotondate per eccesso o per difetto. L'errore dovuto all'arrotondamento in nessun caso supera il 10%.

NOTA 2 I valori sottolineati sono tratti dagli Allegati B e C.

Una valutazione del numero dei cicli di sollecitazione (N), del numero di ottave (X) e della durata della scansione (T) per un ciclo di scansione ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) può essere ottenuta dalle formule seguenti:

$$N = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \quad (\text{cicli di sollecitazione})$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2} \quad (\text{ottave})$$



$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (minuti)}$$

dove:

f_2 è il limite superiore in frequenza della scansione;

f_1 è il limite inferiore in frequenza della scansione;

SR è la velocità di scansione in ottave/minuto.

Questo metodo di stima del numero di cicli di sollecitazione è valido anche per le Tab. B.1, C.1 e C.2.

A.4.4 Filtri ad inseguimento

A.4.4.1 Filtri analogici

Questi filtri possono essere a banda passante costante (CB) o a banda passante costante in percentuale (CPB). In ogni caso, il tempo di risposta (T_r) è dato da:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

dove

T_r è in secondi;

BW è la banda passante in hertz (Hz).

Per esempio:

per un filtro di tipo CB regolato su una banda passante di 10 Hz

$$T_r = \frac{1}{10} = 100 \text{ ms, costante su tutto l'intervallo di regolazione;}$$

per un filtro di tipo CPB posto, ad esempio, al 10% della frequenza centrale della banda f

$$BW = 0,1 f;$$

$$T_r = \frac{1}{BW} = 10 \text{ periodi alla frequenza centrale della banda.}$$

Quando dei filtri ad inseguimento sono utilizzati in un circuito di controllo, il tempo di risposta è estremamente importante. Un tempo di risposta lungo può rallentare la risposta complessiva del controllo e può dare instabilità o addirittura la perdita del controllo. Inoltre, il tempo di risposta può limitare la velocità della scansione nelle prove di scansione sinusoidale, in particolare per i filtri tipo CPB alle basse frequenze, dove T_r può essere dell'ordine delle decine di secondi (vedi 4.1.3).

Per tale ragione molti filtri ad inseguimento hanno regolazioni multiple di tipo CB, scelte automaticamente in base alla frequenza centrale di banda, oppure hanno la risposta del tipo CB a bassa frequenza fino ad una certa frequenza prefissata e una risposta di tipo CPB al di sopra di questa frequenza.

Come regola generale, il filtro ad inseguimento dovrebbe rispondere con una velocità almeno cinque volte superiore alla velocità di controreazione del sistema di controllo, allo scopo di prevenire una mutua interferenza e una instabilità del controllo. Conviene che la banda passante del filtro sia sempre inferiore alla frequenza centrale di banda di lavoro.



Vedi le Tab. A.2 e A.3 per i tempi di risposta.

Tabella A.2 – Tempi di risposta del filtro tipo CB

Banda passante Hz	Tempo s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Tabella A.3 – Tempi di risposta del filtro tipo CPB

Frequenza Hz	Banda passante %		
	1	5	10
	Tempo s	Tempo s	Tempo s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

A.4.4.2 Filtri digitali

I sistemi digitali impiegano un algoritmo numerico per riprodurre un filtro ad inseguimento analogico equivalente. Il risultato non differisce nella estrazione del segnale fondamentale ma, in caso di controllo digitale, questo risultato potrebbe essere ottenuto a prezzo di un incremento del tempo del ciclo di controllo. Ciò potrebbe influenzare l'accuratezza del controllo alle alte frequenze.

A.4.5 Misura del segnale di controllo

I sistemi digitali impiegano un filtro anti-aliasing prima della digitalizzazione dei dati. La frequenza di taglio di questo filtro viene spostata progressivamente passo-passo sul campo di frequenze mentre la scansione in frequenza progredisce ed ha l'effetto di rimuovere le componenti ad alta frequenza. Di conseguenza, il segnale visto da un sistema digitale può avere un valore efficace più basso, il che potrebbe comportare che il sistema digitale controlli la prova ad un livello più alto, in confronto ad un sistema di controllo analogico equivalente. Il problema si risolve utilizzando un filtro ad inseguimento sia con il sistema digitale che con quello analogico.



A.5 Apparecchiature normalmente utilizzate con gli isolatori di vibrazione

A.5.1 Fattori di trasmissibilità per gli isolatori di vibrazione

Quando un campione deve normalmente essere montato su isolatori di vibrazione, ma essi non sono disponibili e le loro caratteristiche non sono note e, inoltre, la specifica particolare non ha previsto questa situazione, è necessario modificare il livello prescritto in modo da applicare al campione una vibrazione più vicina alla realtà. Si raccomanda di ricavare il livello modificato utilizzando i valori presi dalle curve della Fig. A.1, di seguito descritte:

- a) la curva A si riferisce ad un tipo di isolatore di vibrazione sotto carico, ad alta elasticità, con una frequenza naturale, nell'ipotesi di sistema ad un grado di libertà, non superiore a 10 Hz;
- b) la curva B si riferisce ad un tipo di isolatore di vibrazione sotto carico, di media elasticità, con una frequenza naturale, nell'ipotesi di cui sopra, fra 10 Hz e 20 Hz;
- c) la curva C si riferisce ad un tipo di isolatore di vibrazione sotto carico, a bassa elasticità, con una frequenza naturale, nell'ipotesi di cui sopra, fra 20 Hz e 35 Hz.

La curva B è ricavata da misure di vibrazione effettuate su una tipica apparecchiatura per automobile posta su una base completamente metallica, altamente smorzata, con una frequenza naturale, nell'ipotesi di sistema ad un grado di libertà, di circa 15 Hz.

Per gli isolatori rappresentati dalle curve A e C erano disponibili pochissimi dati. Le curve sono state ricavate per estrapolazione dalla curva B, considerando frequenze naturali rispettivamente di 8 Hz e 25 Hz.

Si stima che queste curve di trasmissibilità costituiscano l'involuppo delle caratteristiche di trasmissibilità che presumibilmente si verificano in una installazione nella quale i modi sono accoppiati. L'uso di queste curve consente quindi di tener conto dei livelli di vibrazione che insorgono alla periferia del campione per effetto combinato di moti traslazionali e rotazionali.

Conviene scegliere fra le curve della Fig. A.1 quella più adatta e moltiplicare i prescritti livelli di vibrazione per i valori estratti da questa curva sul campo di frequenza richiesto. Il prodotto dei valori anzidetti può portare a livelli di prova che potrebbero non essere riproducibili in laboratorio. In questo caso, conviene che il tecnico di prova regoli i livelli in modo tale che il massimo livello possibile sia riprodotto in qualsiasi momento e su tutto il campo di frequenze. È di importanza fondamentale che i valori effettivamente utilizzati siano riportati nel rapporto di prova.

La vibrazione, durante la fase di trasporto, spesso sarà la condizione più severa subita dal prodotto, in particolare quando sarà destinato ad essere usato in un ambiente inoffensivo, per esempio in una sala computer. La prova di un simile prodotto solitamente dovrebbe aver luogo all'interno del suo imballaggio per il trasporto, se disponibile. Comunque ci saranno condizioni in cui l'imballaggio non sarà disponibile mentre la prova sarà tuttavia ancora necessaria. Questo argomento è trattato in dettaglio nella IEC 60068-2-47.

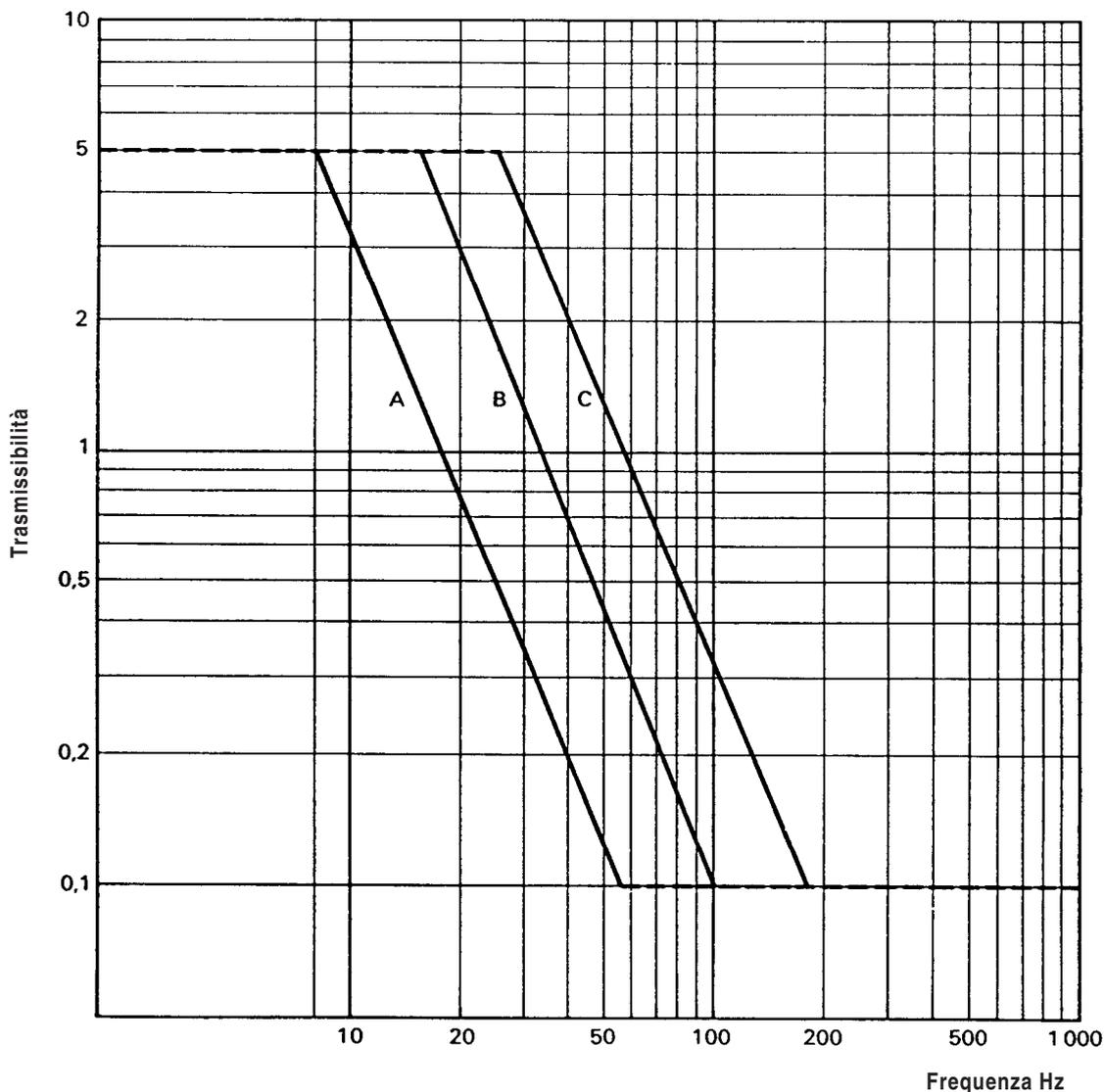


Figura A.1 – Fattori di trasmisibilità generalizzati per isolatori di vibrazione

A.5.2 Effetto della temperatura

È importante notare che molti isolatori di vibrazione contengono materiali le cui caratteristiche sono funzione della temperatura. Questo vale anche per il materiale dell'imballaggio.

Se la frequenza di risonanza fondamentale del campione sugli isolatori di vibrazione o all'interno dell'imballaggio si trova all'interno del campo di frequenze di prova, si deve fare attenzione nel decidere quale estensione temporale dovrà avere la prova di durata.

In alcune circostanze, può non essere ragionevole applicare una eccitazione continua senza consentire alcun ripristino. Se l'effettiva distribuzione temporale dell'eccitazione di questa frequenza di risonanza fondamentale è nota, si può tentare di simularla. Se l'effettiva distribuzione temporale dell'eccitazione non è nota, si deve evitare un eccessivo sovrariscaldamento, limitando i periodi di eccitazione secondo un criterio di buon senso ingegneristico, tenendo conto di 5.3.



A.6 Durata

A.6.1 Concetto di base (vedi 5.3.1)

Molte specifiche esistenti definiscono la prova di durata alle vibrazioni tramite scansioni in termini di durata temporale. Ciò rende praticamente impossibile correlare il comportamento di un campione risonante con un altro, se i loro campi di frequenza sono diversi, poiché il numero di volte nelle quali le risonanze saranno eccitate sarà diverso. Per esempio, si considera spesso che, per dati valori di accelerazione e durata, la prova è più severa se effettuata su un ampio campo di frequenze; in effetti, è vero il contrario. Il concetto di numero di cicli di scansione come parametro della durata risolve questo problema, poiché le risonanze saranno eccitate lo stesso numero di volte, indipendentemente dal campo di frequenza.

A.6.2 Prova

Quando la prova serve semplicemente a dimostrare la capacità del campione di sopportare vibrazioni di ampiezza appropriata e/o di poter funzionare in loro presenza, è sufficiente che la prova duri abbastanza a lungo da dimostrare questo requisito su un prescritto campo di frequenza. Nei casi in cui si deve dimostrare la capacità dell'oggetto di sopportare gli effetti cumulati delle vibrazioni, come la fatica e le deformazioni meccaniche, occorre che la prova sia di durata sufficiente ad accumulare i necessari cicli di sollecitazione. Per una dimostrazione di vita illimitata a fatica, si considera normalmente adeguato un totale di 10^7 cicli.

A.7 Risposta dinamica

Le maggiori cause di danno sono le sollecitazioni dinamiche che si producono all'interno del campione. L'esempio classico è la sollecitazione prodotta in un semplice sistema molla/massa quando il sistema è collegato ad un corpo vibrante la cui inerzia è grande in confronto a quella della massa. Alla frequenza di risonanza il sistema molla/massa risponde con un aumento dell'ampiezza del moto, inducendo un aumento della sollecitazione nella molla. L'esecuzione di una prova di durata ad una tale frequenza di risonanza richiede molto buon senso ingegneristico. La difficoltà risiede principalmente nella determinazione delle frequenze di risonanza significative. Un problema aggiuntivo è quello di mantenere la frequenza di eccitazione alla risonanza.

In particolare alle alte frequenze, le risonanze possono non essere molto visibili, quindi localmente possono verificarsi alti livelli di sollecitazione. Per quanto certe specifiche tentino di definire la severità di una risonanza con un valore arbitrario dell'amplificazione dinamica, questo metodo non è stato trattato in questo documento.

Le procedure qui descritte implicano che l'ampiezza della vibrazione (spostamento o accelerazione) deve essere mantenuta ad un valore prescritto, indipendentemente dalla reazione dinamica del campione. Questo è in linea con lo stato dell'arte odierno in materia di prove di vibrazione di tipo generale suscettibili di essere normalizzate.

È ben noto che, quando un campione è eccitato alla sua frequenza di risonanza, la sua massa apparente può essere alta in confronto con quella della sua struttura di supporto normale. In tale caso, la reazione del campione può essere notevole. Normalmente, la forza di eccitazione e la impedenza meccanica della struttura di supporto non sono note ed è solitamente difficile fare ipotesi di ordine generale per quanto concerne questi parametri.

Per la riduzione di questi problemi è previsto il controllo in forza, che non è però trattato in questo documento, poiché non è possibile, allo stato attuale, precisare procedure, misure e tolleranze. Quando la specifica particolare richiede questo tipo di prova, è possibile utilizzare trasduttori di forza o riferirsi ad una misura della corrente di eccitazione. Quest'ultima procedura presenta alcuni inconvenienti, poiché su certe porzioni del campo di frequenza prescritto per la prova, la corrente può non essere proporzionale alla forza. Cionondimeno, con buon senso ingegneristico, si può utilizzare il metodo che si basa sulla misura di corrente, particolarmente se si tratta di un campo di frequenze limitato.



Dunque, per quanto una prova controllata in forza possa apparire interessante, si deve fare attenzione ad utilizzarla. Certamente, in alcuni casi, per esempio per i componenti, la prova controllata in ampiezza è quasi sempre più adatta (vedi l'art. 8).

A.8 Valutazione del funzionamento

Quando è possibile, si raccomanda di far funzionare i campioni per tutta la durata della prova o in momenti significativi di essa, in modo che ciò sia rappresentativo delle condizioni di funzionamento. Si raccomanda di verificare il buon funzionamento del campione ad intervalli appropriati nel corso della prova di durata e alla fine di essa.

Se le vibrazioni possono influire sulle funzioni di avviamento-arresto dei campioni (per esempio interferendo con le operazioni di un relè), occorre che questa funzione sia utilizzata a più riprese, per dimostrare che il funzionamento è soddisfacente a questo riguardo, in tutta la gamma di frequenze di prova e alle frequenze suscettibili di causare delle interferenze.

Se la prova ha il solo scopo di dimostrare che i campioni non si sono danneggiati in modo irreparabile, occorre che il loro funzionamento sia verificato dopo la fine della prova di durata alle vibrazioni (vedi 8.2 e art. 11).

A.9 Misure iniziali e finali

Lo scopo delle misure iniziali e finali è di confrontare alcuni parametri in modo da stimare l'effetto delle vibrazioni sul campione.

Le misure possono comprendere, oltre alle ispezioni visive, verifiche delle caratteristiche di funzionamento elettrico e meccanico e delle caratteristiche strutturali (vedi gli art. 7 e 11).



Annex B (informativo)

Esempi di severità relative principalmente ai componenti

Il numero delle possibili severità permesse dall'art. 5 è grandissimo. Per semplificare l'applicazione della presente Norma, alcuni esempi di severità principalmente relative ai componenti, sono stati selezionati fra i parametri raccomandati per la durata e fissati nell'art. 5, e vengono elencati nella Tab. B.1. Le condizioni di prova sono quelle prescritte nella presente Norma.

**Tabella B.1 – Durata tramite scansioni –
Esempi con alta frequenza di incrocio**

Ampiezza ¹⁾ Campo di frequenze Hz	Numero di cicli di scansione per ciascun asse			Esempi di applicazione
	0,35 mm o 50 m/s ²	0,75 mm o 100 m/s ²	1,5 mm o 200 m/s ²	
da 10 a 55	10	10		Grandi impianti di potenza industriali, grosse macchine rotanti, laminatoi, grandi navi mercantili e da guerra
da 10 a 500	10	10		Utilizzo generale a terra, trasporto terrestre, imbarcazioni veloci (militari o civili) e uso aeronautico generale
da 10 a 2 000		10	10	Lanciatori spaziali (200 m/ S ²). Componenti per motori negli aeromobili
da 55 a 500	10	10		Come da 10 Hz a 500 Hz, ma applicabile a componenti rigidi di piccole dimensioni senza risonanze al di sotto dei 55 Hz
da 55 a 2 000		10	10	Come da 10 Hz a 2000 Hz, ma applicabile a componenti rigidi di piccole dimensioni senza risonanze al di sotto dei 55 Hz
da 100 a 2 000		10	10	Come da 55 Hz a 2000 Hz, ma applicabile a componenti di piccolissime dimensioni di costruzione estremamente rigida, come transistori incapsulati, diodi, resistenze, condensatori e circuiti integrati
NOTA Quando per un dato campo di frequenze vengono forniti più valori di ampiezza, se ne deve utilizzare uno solo.				
¹⁾ Ampiezza in spostamento al di sotto della frequenza di incrocio e ampiezza in accelerazione al di sopra della frequenza di incrocio. Le frequenze di incrocio sono fra 58 Hz e 62 Hz (vedi 5.2).				



Per un metodo di valutazione del numero dei cicli di sollecitazione, si veda A.4.3.

Prova di durata alle frequenze fisse

Le durate tipiche per le prove di durata alle frequenze critiche su ciascun asse è di 10 min, 30 min, 90 min e 10 h.

Per le frequenze quasi fisse, vedi A.1.

Per le frequenze predeterminate, conviene scegliere una durata tale che a ciascuna combinazione di frequenza e asse sia applicata una durata corrispondente ad un limite superiore di 10^7 cicli di sollecitazione. Quando le condizioni ambientali sono ben note, la durata temporale da applicarsi a frequenza fissa dovrebbe basarsi sul numero dei cicli di sollecitazione che si verificano durante una durata di vita normale.



Allegato C (informativo)

Esempi di severità destinate principalmente alle apparecchiature

C.1 Generalità

Quando è nota l'effettiva severità delle vibrazioni, si raccomanda di utilizzarla (vedi A.4.1). Quando la severità non è nota, è necessario fare una scelta arbitraria, che dovrebbe però basarsi, per quanto possibile, su severità simili, di uso generale nelle applicazioni della stessa natura, come quelle elencate in questo allegato.

Parecchie combinazioni di campo di frequenza, ampiezza della vibrazione e durata sono fornite come esempi di severità principalmente destinate alle prove su apparecchiature e su altri oggetti (vedi le Tab. C.1 e C.2). Queste severità sono state selezionate fra i parametri raccomandati per le prove di durata dati all'art. 5 della presente Norma, e si considera che coprano le applicazioni più comuni delle prove di vibrazione. Non è stato fatto alcun tentativo di produrre una lista completa e i requisiti non coperti dal presente Allegato si dovrebbero scegliere fra altre severità raccomandate della presente Norma e si dovrebbero prescrivere nella Specifica particolare.

In certe applicazioni, può non essere conveniente utilizzare la durata tramite scansioni e può essere necessario effettuare le prove alle frequenze critiche. Queste prove dovrebbero essere prescritte nella Specifica particolare, conformemente agli appropriati articoli della presente Norma, utilizzando questo Allegato come guida.

La Tab. C. 1 non contiene esempi per campi di frequenze inferiori a 10 Hz e quindi non si verificano frequenze di incrocio comprese tra 8 Hz e 10 Hz. Comunque molti degli esempi indicati potrebbero avere una frequenza di avvio pari a 5 Hz o perfino 1 Hz a seconda dell'applicazione e se richiesto dalla Specifica particolare.

Tabella C.1 – Durata tramite scansioni– Esempi con basse frequenze di incrocio

Ampiezza m/s ² Campo di frequenza Hz	Numero di cicli di scansione per ciascun asse			Esempi di applicazione
	5	10	20	
da 10 a 150	50	–	–	Apparecchiature fisse, come grandi elaboratori elettronici e laminatoi, lunga durata di esposizione
da 10 a 150	20	–	–	Apparecchiature fisse, come grandi trasmettitori e condizionatori d'aria, esposizione intermittente
da 10 a 150	–	20	20	Apparecchiature destinate all'installazione o al trasporto su navi, treni e veicoli terrestri
NOTA Quando sono specificate più ampiezze per uno stesso campo di frequenze, si deve utilizzarne una sola.				

Per un metodo di valutazione del numero di cicli di sollecitazione, vedi A.4.3.



C.2 Prova di durata a frequenze fisse

Le durate tipiche per le prove di durata alle frequenze critiche su ciascun asse è di 10 min, 30 min, 90 min e 10 h.

Per le frequenze quasi fisse, vedi A.1.

Per le frequenze predeterminate, conviene scegliere una durata tale che a ciascuna combinazione di frequenza e asse indicata sia applicata una durata corrispondente ad un limite superiore di 10^7 cicli di sollecitazione.

Quando le condizioni ambientali sono ben note, la durata temporale da applicarsi a frequenza fissa dovrebbe basarsi sul numero dei cicli di sollecitazione che si verificano durante una durata di vita normale.

Tabella C.2 – Durata tramite scansioni – Esempi con alte frequenze di incrocio

Ampiezza ¹⁾ Campo di frequenza Hz	Numero di cicli di scansione per ciascun asse				Esempi di applicazione
	0,15 mm o 20 m/s ²	0,35 mm o 50 m/s ²	0,75 mm o 100 m/s ²	1,5 mm o 200 m/s ²	
da 1 a 35 ²⁾	–	100	100	–	Apparecchiature installate nei pressi di macchinario rotante pesante
da 10 a 55 ²⁾	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Apparecchiature destinate a grandi impianti di potenza e per uso industriale generale
da 10 a 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Apparecchiature destinate a grandi impianti di potenza e per uso industriale generale, quando si siano trovate vibrazioni apprezzabili oltre i 55 Hz
da 10 a 500	10	10	–	–	Apparecchiature per aeromobili di impiego generale; i valori più alti si applicano ad apparecchiature nei pressi, ma non all'interno, del compartimento motori
da 10 a 2 000	–	10	10	– 10	Apparecchiature per aeromobili veloci; i valori più alti si applicano ad apparecchiature nei pressi, ma non all'interno, del compartimento motori Compartimento motori di aeromobili
NOTA Quando, per un dato campo di frequenze, vengono forniti più valori di ampiezza, se ne deve utilizzare solo uno.					
¹⁾ Ampiezza in spostamento al di sotto della frequenza di incrocio e ampiezza in accelerazione al di sopra della frequenza di incrocio compresa tra 58 Hz e 62 Hz (vedi 5.2).					
²⁾ Prova con ampiezza in spostamento costante.					

Per un metodo di valutazione del numero di cicli di sollecitazione, vedi A.4.3.



C.3 Prova di durata a frequenze fisse

Le durate tipiche per le prove di durata su ciascuna frequenza critica su ciascun asse è di 10 min, 30 min, 90 min e 10 h.

Per le frequenze quasi fisse, vedi A.1.

Per le frequenze predeterminate, conviene scegliere una durata tale che a ciascuna combinazione di frequenza e asse sia applicata una durata corrispondente ad un limite superiore di 10^7 cicli di sollecitazione. Quando le condizioni ambientali sono ben note, la durata temporale da applicarsi a frequenza fissa dovrebbe basarsi sul numero dei cicli di sollecitazione che si verificano durante una durata di vita normale.



Bibliografia

IEC 60050(721):1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 721: Telegraphy, facsimile and data communication*

IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2-64: Test methods – Test Fh: Vibration broad-band random (digital control) and guidance*



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 una Pubblicazione Internazionale è stata modificata da modifiche comuni, indicate con (mod), si applica l'EN/HD corrispondente.

<u>Pubblicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Anno</u>	<u>Norma CEI</u>
IEC 60068-1	- ¹⁾	Prove ambientali Parte 1: Generalità e guida	EN 60068-1	1994 ²⁾	50-2/1
IEC 60068-2-47	- ¹⁾	Parte 2-47: Prove - Montaggio di campioni per prove dinamiche di vibrazione, urto e similari	EN 60068-2-47	2005 ²⁾	104-23
IEC 60721-3	Serie	Classificazione delle condizioni ambientali Parte 3: Classificazione dei gruppi di parametri ambientali e loro severità	EN 60721-3	Serie	vedi Norme CT 75
ISO 2041	- ¹⁾	<i>Vibration and shock – Vocabulary</i>	-	-	-
ISO/IEC 17025	2005	Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura	EN ISO/IEC 17025	2005	501-10

¹⁾ Riferimento non datato.

²⁾ Edizione valida al momento della Pubblicazione.





Versione originale documento



FOREWORD

The text of document 104/439/FDIS, future edition 7 of IEC 60068-2-6, prepared by IEC TC 104, Environmental conditions, classification and methods of test, was submitted to the IEC-CENELEC parallel vote and was approved by CENELEC as EN 60068-2-6 on 2008-02-01.

This European Standard supersedes EN 60068-2-6:1995.

The major changes with regard to EN 60068-2-6:1995 concern:

- the agreed wording from IEC technical committee 104 meeting held in Stockholm:2000 on the testing of soft packages;
- reference to the latest version of EN 60068-2-47: Mounting;
- simplification of the layout of the standard by replacing some tables with text;
- addition of the test report requirements (see Clause 13).

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) 2008-11-01
- latest date by which the national standards conflicting with the EN have to be withdrawn (dow) 2011-02-01

Annex ZA has been added by CENELEC.

ENDORSEMENT NOTICE

The text of the International Standard IEC 60068-2-6:2007 was approved by CENELEC as a European Standard without any modification.

In the official version, for Bibliography, the following note has to be added for the standard indicated:

IEC 60068-2-64 NOTE Harmonized as EN 60068-2-64:1994 (not modified).



CONTENTS

INTRODUCTION.....	48
1 Scope.....	49
2 Normative references	49
3 Terms and definitions	49
4 Requirements for testing.....	52
4.1 Required characteristics	52
4.2 Control strategy	54
4.3 Mounting	55
5 Severities	55
5.1 Frequency range	55
5.2 Vibration amplitude.....	56
5.3 Duration of endurance	59
6 Preconditioning.....	60
7 Initial measurements.....	60
8 Testing	60
8.1 General	60
8.2 Vibration response investigation	61
8.3 Endurance procedures.....	61
9 Intermediate measurements.....	62
10 Recovery.....	62
11 Final measurements	62
12 Information to be given in the relevant specification	63
13 Information to be given in the test report	64
Annex A (informative) Guide to test Fc	65
Annex B (informative) Examples of severities primarily intended for components	79
Annex C (informative) Examples of severities primarily intended for equipment.....	81
Bibliography.....	84
Annex ZA (normative) Normative references to international publications with their corresponding European publications.....	85



INTRODUCTION

This part of IEC 60068 gives a method of test applicable to components, equipment and other articles which, during transportation or in service, may be subjected to conditions involving vibration of a harmonic pattern, generated primarily by rotating, pulsating or oscillating forces, such as occur in ships, aircraft, land vehicles, rotorcraft and space applications or are caused by machinery and seismic phenomena.

This standard consists basically of subjecting a specimen to sinusoidal vibration over a given frequency range or at discrete frequencies, for a given period of time. A vibration response investigation may be specified which aims at determining critical frequencies of the specimen.

The relevant specification shall indicate whether the specimen shall function during vibration or whether it suffices that it still works after having been submitted to vibration.

It is emphasized that vibration testing always demands a certain degree of engineering judgement, and both the supplier and purchaser should be fully aware of this fact. However, sinusoidal testing is deterministic and, therefore, relatively simple to perform. Thus it is readily applicable to both diagnostic and service life testing.

The main part of this standard deals primarily with the methods of controlling the test at specified points using either analogue or digital techniques, and gives, in detail, the testing procedure. The requirements for the vibration motion, choice of severities including frequency ranges, amplitudes and endurance times are also specified, these severities representing a rationalized series of parameters. The relevant specification writer is expected to choose the testing procedure and values appropriate to the specimen and its use.

Certain terms have been defined to facilitate a proper understanding of the text. These definitions are given in Clause 3.

Annex A gives general guidance for the test and Annexes B and C provide guidance on the selection of severities for components and equipment.



ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 2: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)

1 Scope

This part of IEC 60068 gives a method of test which provides a standard procedure to determine the ability of components, equipment and other articles, hereinafter referred to as specimens, to withstand specified severities of sinusoidal vibration. If an item is to be tested in an unpackaged form, that is without its packaging, it is referred to as a test specimen. However, if the item is packaged then the item itself is referred to as a product and the item and its packaging together are referred to as a test specimen.

The purpose of this test is to determine any mechanical weakness and/or degradation in the specified performance of specimens and to use this information, in conjunction with the relevant specification, to decide upon the acceptability of the specimens. In some cases, the test method may also be used to demonstrate the mechanical robustness of specimens and/or to study their dynamic behaviour. Categorization of components can also be made on the basis of a selection from within the severities quoted in the test.

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 following terms and definitions apply.

NOTE 1 The terms used are generally taken from ISO 2041 and IEC 60068-1. However, “sweep cycle” (3.4) and “signal tolerance” (3.5) have specific meanings in this standard.

Definitions in alphabetical order:

Actual motion	3.7
Basic motion	3.6
Centred resonance frequency	3.10
Check point	3.2.1
Critical frequencies	3.9
Damping	3.8
Fictitious reference point	3.2.3
Fixing point	3.1
g_n	3.12
Measuring points	3.2
Multipoint control	3.3.2
Reference point	3.2.2
Restricted frequency sweeping	3.11

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



Signal tolerance	3.5
Single point control	3.3.1
Sweep cycle	3.4

NOTE 2 Terms described below are either not identical to, or not defined in ISO 2041 or in IEC 60068-1.

3.1 fixing point

part of the specimen in contact with the fixture or vibration table at a point where the specimen is normally fastened in service

NOTE 1 If a part of the real mounting structure is used as the fixture, the fixing points are those of the mounting structure and not of the specimen.

NOTE 2 Where the specimen consists of a packaged product, fixing point may be interpreted as the surface of the specimen which is in contact with the vibration table.

3.2 measuring points

specific points at which data are gathered conducting the test

NOTE 1 These are of two main types, the definitions of which are given below.

NOTE 2 Measurements may be made at points within the specimen in order to assess its behaviour, but these are not considered as measuring points in the sense of this standard. For further details, see A.2.1.

3.2.1 check point

point located on the fixture, on the vibration table or on the specimen as close as possible to one of its fixing points, and in any case rigidly connected to it

NOTE 1 A number of check points are used as a means of ensuring that the test requirements are satisfied.

NOTE 2 If four or fewer fixing points exist, each is used as a check point. For packaged products, where a fixing point may be interpreted as the packaging surface in contact with the vibration table, one check point may be used, provided that there are no effects due to resonances of the vibration table or the mounting structure in the frequency range specified for the test. If this is the case, multipoint control may be necessary, but see also Note 3. If more than four fixing points exist, four representative fixing points will be defined in the relevant specification to be used as check points.

NOTE 3 In special cases, for example for large or complex specimens, the check points will be prescribed in the relevant specification if not close to the fixing points.

NOTE 4 Where a large number of small specimens are mounted on one fixture, or in the case of a small specimen where there are several fixing points, a single check point (i.e. the reference point) may be selected for the derivation of the control signal. This signal is then related to the fixture rather than to the fixing points of the specimen(s). This is only valid when the lowest resonance frequency of the loaded fixture is well above the upper frequency of the test.

3.2.2 reference point

point, chosen from the check points, whose signal is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied

3.2.3 fictitious reference point

point, derived from multiple check points, either manually or automatically, the result of which is used to control the test, so that the requirements of this standard are satisfied

3.3 control methods

3.3.1 single point control

control method using the signal from the transducer at the reference point in order to maintain this point at the specified vibration level (see 4.1.4.1)



3.3.2

multipoint control

control method achieved by using the signals from each of the transducers at the check points

NOTE The signals are either continuously averaged arithmetically or processed by using comparison techniques, depending upon the relevant specification (see 4.1.4.1)

3.4

sweep cycle

traverse of the specified frequency range once in each direction, for example 10 Hz to 150 Hz to 10 Hz

NOTE Manufacturers' handbooks for digital sine control systems often refer to a sweep cycle as f_1 to f_2 , and not f_1 to f_2 to f_1 .

3.5

signal tolerance

signal tolerance $T = \left(\frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100 \%$

where

NF is the r.m.s value of the unfiltered signal;

F is the r.m.s value of the filtered signal.

NOTE This parameter applies to whichever signal, i.e. acceleration, velocity or displacement, is being used to control the test (see A.2.2).

3.6

basic motion

motion at the driving frequency of vibration at the reference point (see also 4.1.1)

3.7

actual motion

motion represented by the wideband signal returned from the reference point transducer

3.8

damping

generic term ascribed to the numerous energy dissipation mechanisms in a system

NOTE In practice, damping depends on many parameters, such as the structural system, mode of vibration, strain, applied forces, velocity, materials, joint slippage, etc.

3.9

critical frequencies

frequencies at which

- malfunctioning and/or deterioration of performance of the specimen are exhibited which are dependent on vibration, and/or
- mechanical resonances and/or other response effects occur, for example, chatter

3.10

centred resonance frequency

frequency automatically centred on the actual resonance frequency derived from the vibration response investigation

3.11

restricted frequency sweeping

sweeping over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency



3.12

g_n

standard acceleration due to the earth's gravity, which itself varies with altitude and geographical latitude

NOTE For the purposes of this standard, the value of g_n is rounded up to the nearest whole number, that is 10 m/s².

4 Requirements for testing

4.1 Required characteristics

The required characteristics apply to the complete vibration system, which includes the power amplifier, vibrator, test fixture, specimen and control system when loaded for testing.

4.1.1 Basic motion

The basic motion shall be a sinusoidal function of time and such that the fixing points of the specimen move substantially in phase and in straight parallel lines, subject to the limitations of 4.1.2 and 4.1.3.

4.1.2 Spurious motion

4.1.2.1 Cross-axis motion

The maximum vibration amplitude at the check points in any axis perpendicular to the specified axis shall not exceed 50 % of the specified amplitude up to 500 Hz or 100 % for frequencies in excess of 500 Hz. The measurements need only cover the specified frequency range. In special cases, e.g. small specimens, the amplitude of the permissible cross axis motion may be limited to 25 %, if required by the relevant specification.

In some cases, for example for large size or high mass specimens or at some frequencies, it may be difficult to achieve the figures quoted above. In such cases, the relevant specification shall state which of the following requirements apply:

- a) any cross-axis motion in excess of that stated above shall be noted and stated in the test report; or
- b) cross-axis motion which is known to offer no hazard to the specimen need not be monitored.

4.1.2.2 Rotational motion

In the case of large size or high mass specimens, the occurrence of spurious rotational motion of the vibration table may be important. If so, the relevant specification shall prescribe a tolerable level. The achieved level shall be stated in the test report (see also A.2.4).

4.1.3 Signal tolerance

Acceleration signal tolerance measurements shall be performed if stated in the relevant specification. They shall be carried out at the reference point and shall cover the frequencies up to 5 000 Hz or five times the driving frequency whichever is the lesser. However, this maximum analysing frequency may be extended to the upper test frequency for the sweep, or beyond, if specified in the relevant specification. Unless otherwise stated in the relevant specification, the signal tolerance shall not exceed 5 % (see 3.5).

If stated in the relevant specification, the acceleration amplitude of the control signal at the fundamental driving frequency shall be restored to the specified value by use of a tracking filter (see A.4.4).



In the case of large or complex specimens, where the specified signal tolerance values cannot be satisfied at some parts of the frequency range, and it is impracticable to use a tracking filter, the acceleration amplitude need not be restored, but the signal tolerance shall be stated in the test report (see A.2.2).

NOTE If a tracking filter is not used and the signal tolerance is in excess of 5 %, the reproducibility may be significantly affected by the choice of either a digital or analogue control system (see A.4.5).

The relevant specification may require that the signal tolerance, together with the frequency range affected, is stated in the test report whether or not a tracking filter has been used (see A.2.2).

4.1.4 Vibration amplitude tolerances

The basic motion amplitude in the required axis at the check and reference points shall be equal to the specified value, within the following tolerances. These tolerances include instrumentation errors. The relevant specification may require that the confidence level used in the assessment of measurement uncertainty is stated in the test report.

At low frequencies or with large size or high mass specimens it may be difficult to achieve the required tolerances. In these cases, it is expected that a wider tolerance or the use of an alternative method of assessment shall be prescribed in the relevant specification and stated in the test report.

4.1.4.1 Reference point

Tolerance on the control signal at the reference point shall be ± 15 % (see A.2.3).

4.1.4.2 Check points

Tolerance on the control signal at each check point:

- ± 25 % up to 500 Hz;
- ± 50 % above 500 Hz.

(See A.2.3.)

4.1.5 Frequency tolerances

The following frequency tolerances apply.

4.1.5.1 Endurance by sweeping

- $\pm 0,05$ Hz up to 0,25 Hz;
- ± 20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;
- ± 1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;
- ± 2 % above 50 Hz.

4.1.5.2 Endurance at fixed frequency

a) Fixed frequency:

- ± 2 %.

b) Almost fixed frequency:

- $\pm 0,05$ Hz up to 0,25 Hz;
- ± 20 % from 0,25 Hz to 5 Hz;
- ± 1 Hz from 5 Hz to 50 Hz;
- ± 2 % above 50 Hz.



4.1.5.3 Measurement of critical frequency

When the critical frequencies (see 8.2) before and after endurance have to be compared, i.e. during vibration response investigations, the following tolerances shall apply:

- ±0,05 Hz up to 0,5 Hz;
- ±10 % from 0,5 Hz to 5 Hz;
- ±0,5 Hz from 5 Hz to 100 Hz;
- ±0,5 % above 100 Hz.

4.1.6 Sweep

The sweeping shall be continuous and the frequency shall change exponentially with time (see A.4.3). The sweep rate shall be one octave per minute with a tolerance of ±10 %. This may be varied for a vibration response investigation (see 8.2).

NOTE With a digital control system, it is not strictly correct to refer to the sweeping being “continuous”, but the difference is of no practical significance.

4.2 Control strategy

4.2.1 Single/multipoint control

When multipoint control is specified or necessary, the control strategy has to be specified.

The relevant specification shall state whether single point or multipoint control shall be used. If multipoint control is prescribed, the relevant specification shall state whether the average amplitude of the signals at the check points or the amplitude of the signal at a selected point (for example, that with the largest amplitude) shall be controlled to the specified level, see also A.2.3.

If it is not possible to achieve single point control, as required by the relevant specification, then multipoint control shall be used by controlling the average or extreme value of the signals at the check points. In either of these cases of multipoint control, the reference point is a fictitious reference point. The method used shall be stated in the test report.

Use of multipoint control does not assure that the tolerances of each checkpoint are met. In general it reduces the deviation from the nominal values, when compared with single-point control, at the fictitious reference point.

The following strategies are available.

4.2.1.1 Averaging strategy

In this method, the control amplitude is computed from the signal from each check point. A composite control amplitude is formed by arithmetically averaging the signal amplitudes from the check points. This arithmetically averaged control amplitude is then compared with the specified amplitude.

4.2.1.2 Weighted averaging strategy

The control amplitude a_C is formed by averaging the signal amplitude from the check points a_1 to a_n according to their weighting w_1 to w_n :

$$a_C = (w_1 \times a_1 + w_2 \times a_2 + \dots + w_n \times a_n) / (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$$

This control strategy offers the possibility that different check point signals contribute a different portion to the control.



4.2.1.3 Extremal strategy

In this method, a composite control amplitude is computed from the maximum (MAX) or the minimum (MIN) extreme amplitudes of the signal amplitude measured at each check point. This strategy will produce a control amplitude that represents the envelope of the signal amplitudes from each check point (MAX) or a lower limit of the signal amplitudes from each check point (MIN).

4.2.2 Multi-reference control

If specified by the relevant specification, multiple reference spectra may be defined for different check points or measuring points or different types of controlled variables, for example, for force limited vibration testing.

When multi-reference control is specified, the control strategy shall be prescribed as follows:

Limiting: All control signals shall be beneath their appropriate reference;

Superseding: All control signals shall be above their appropriate reference.

4.3 Mounting

Unless otherwise stated in the relevant specification, the specimens shall be mounted on the test apparatus in accordance with the requirements in IEC 60068-2-47. For specimens normally mounted on vibration isolators, see the note in 8.3.2 as well as A.3.1, A.3.2 and Clause A.5.

5 Severities

A vibration severity is defined by the combination of the three parameters: frequency range, vibration amplitude and duration of endurance (in sweep cycles or time).

Each parameter shall be prescribed by the relevant specification. They may be:

- a) chosen from the values in 5.1 to 5.3;
- b) chosen from examples in Annex A or Annex C;
- c) derived from the known environment;
- d) derived from other known sources of relevant data, for example, the IEC 60721-3 series.

To permit some flexibility in situations where the real environment is known, it may be appropriate to specify a shaped acceleration versus frequency curve and, in these cases, the relevant specification shall prescribe the shape as a function of frequency. The different levels and their corresponding frequency ranges, i.e. the break points, shall be selected, wherever possible, from the values given in this standard.

Examples of severities for components are given in Annex B, and for equipment in Annex C (see also A.4.1 and A.4.2).

5.1 Frequency range

If test frequency range option a) is adopted, then a lower frequency may be chosen from 5.1.1 and an upper frequency from 5.1.2.

5.1.1 Lower frequency f_1 Hz

0,1; 1; 5; 10; 55; 100



5.1.2 Upper frequency f_2 Hz

10; 20; 35; 55; 100; 150; 200; 300; 500; 1 000; 2 000; 5 000

Examples of ranges for particular applications are given in Tables B.1, C.1 and C.2.

5.2 Vibration amplitude

The amplitude of displacement, velocity or acceleration or combinations of those, shall be stated in the relevant specification.

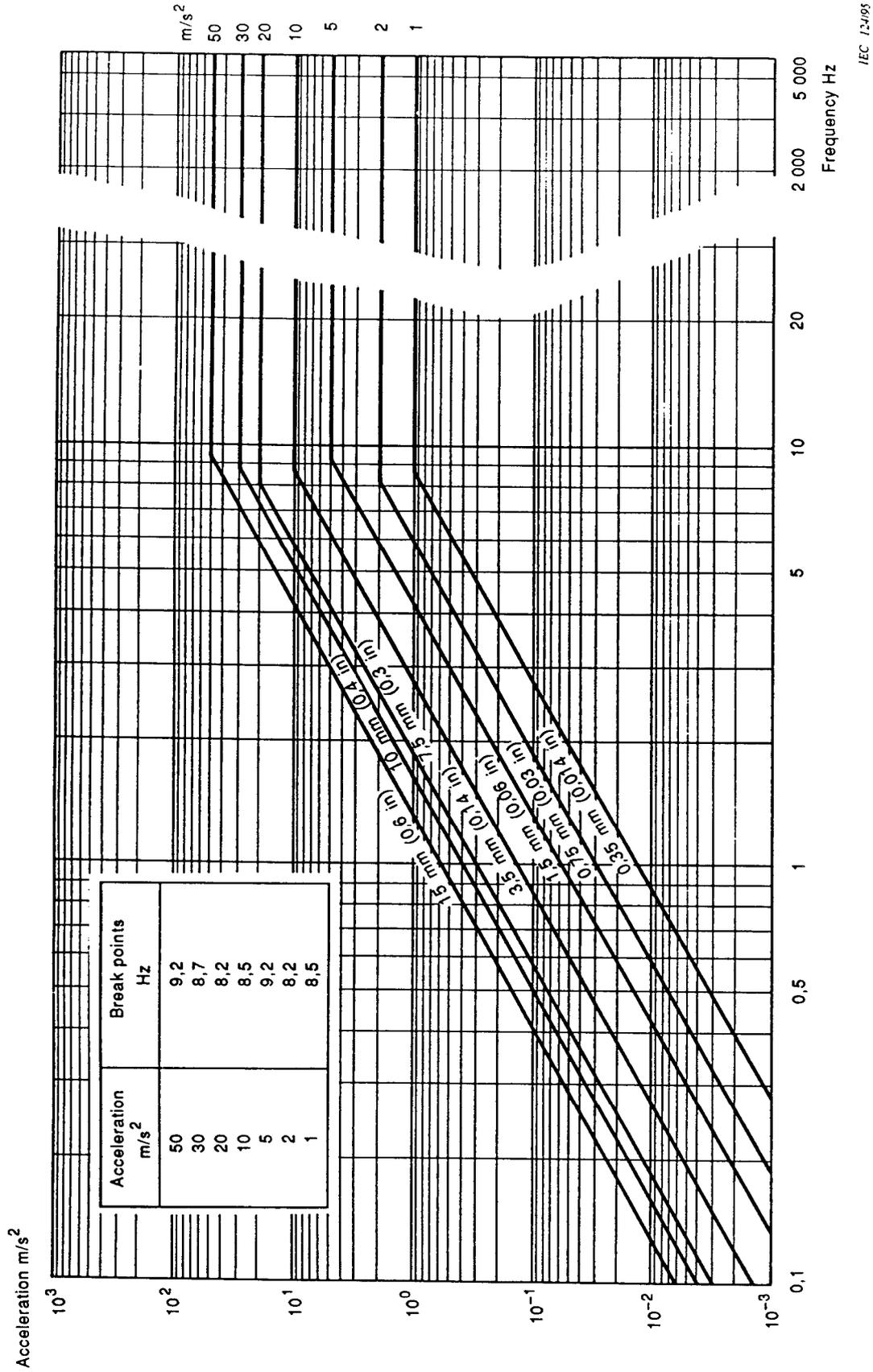
Below a certain frequency known as the cross-over frequency, all amplitudes are specified as constant displacement, whilst above this frequency, amplitudes are given as constant velocity or constant acceleration. Example values are given in Figures 1 and 2 for the two different cross-over frequencies.

Each value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude so that the amplitude of vibration is the same at the cross-over frequency (see A.4.1).

Where it is not technically appropriate to adopt the cross-over frequencies stated in this subclause, the relevant specification may couple displacement and acceleration amplitudes giving a different value of cross-over frequency. In some circumstances, more than one cross-over frequency may also be specified.

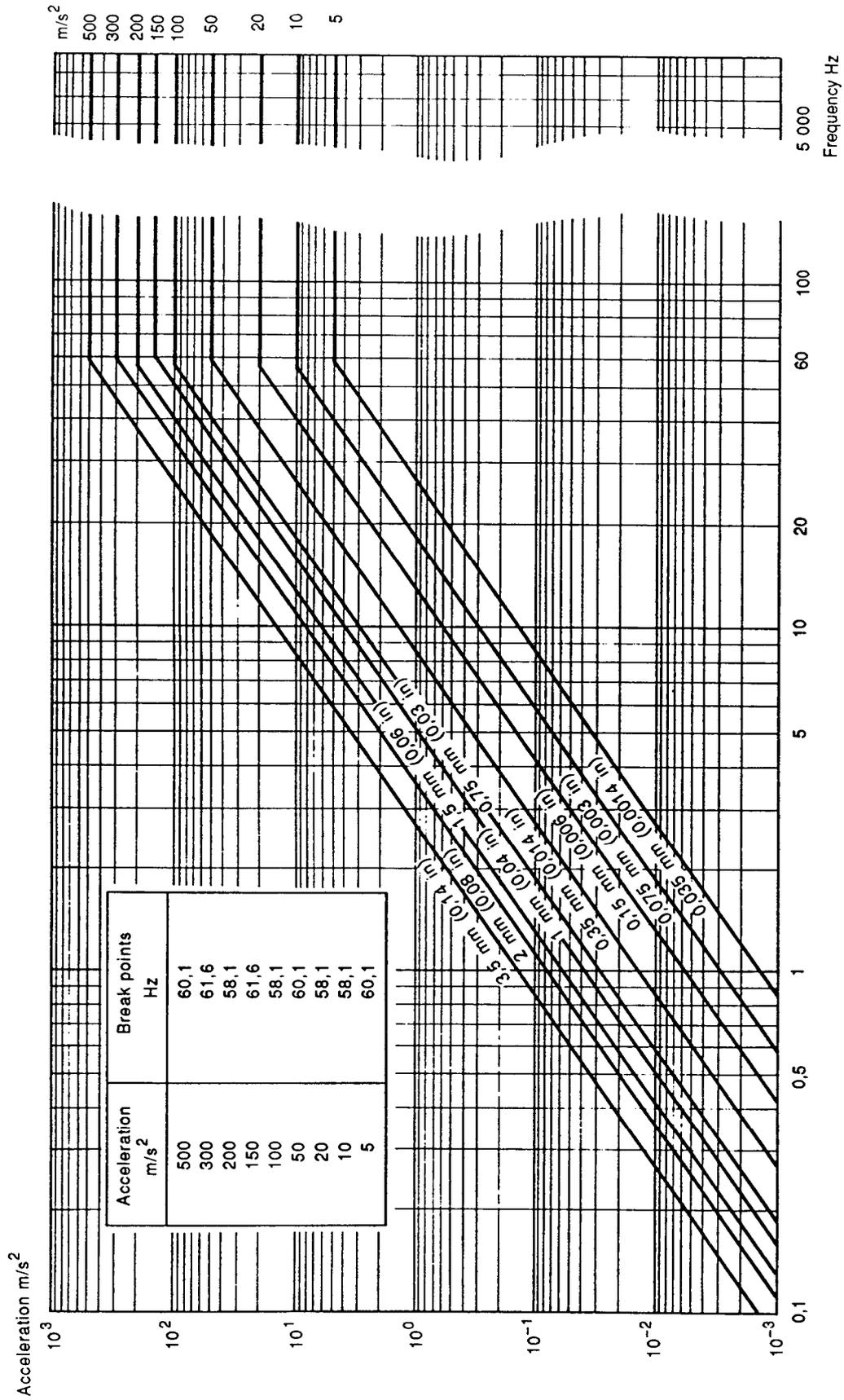
NOTE Nomograms relating vibration amplitude to frequency are given in Figures 1, 2 and 3, but before their use in the low-frequency region, consideration should be given to the guidance in A.4.1.

Up to an upper frequency of 10 Hz, it is normally appropriate to specify a displacement amplitude over the whole frequency range. Therefore, in Figure 3 only displacement amplitudes are specified.



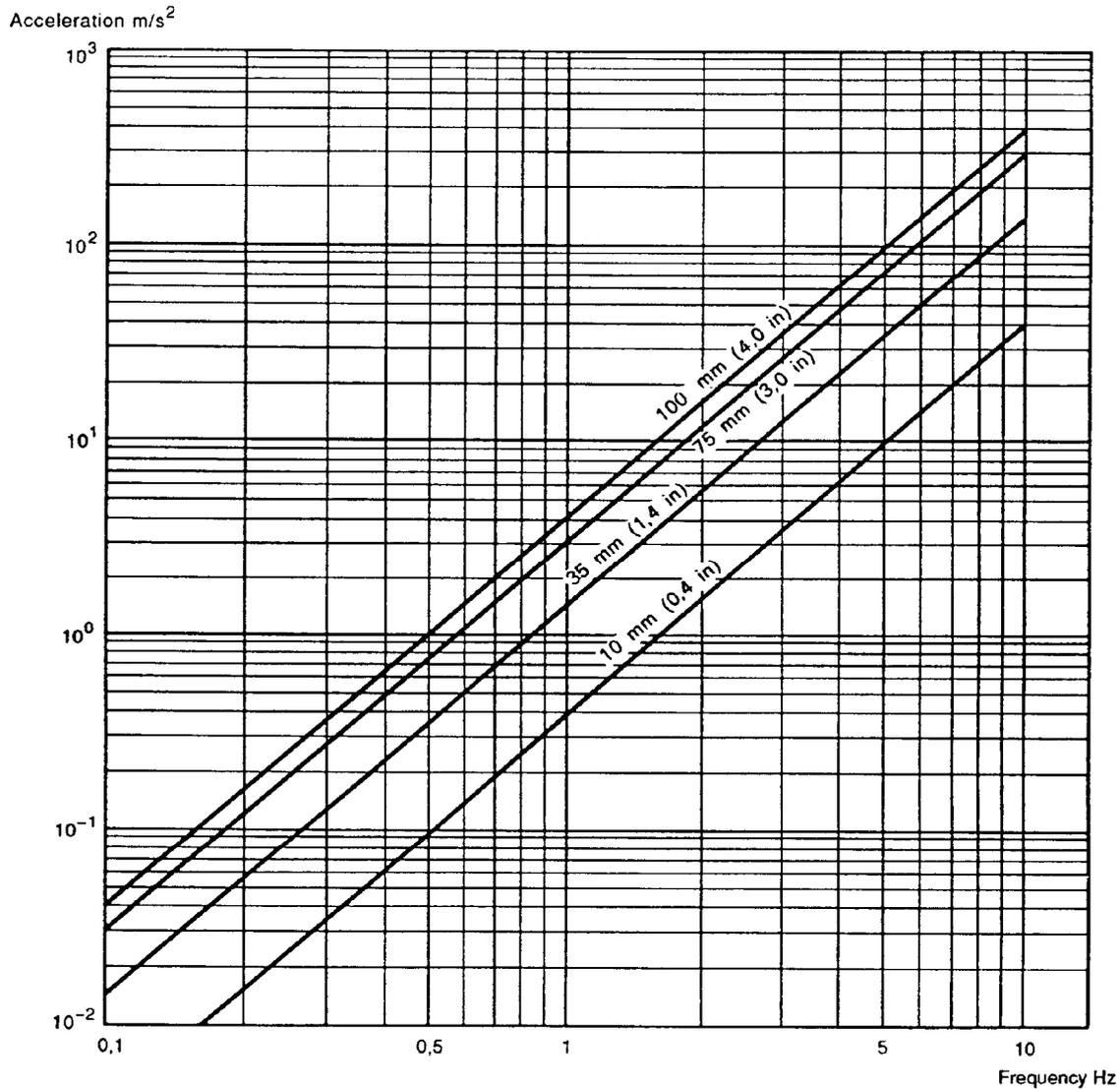
NOTE This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 1 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with lower cross-over frequency (8 Hz to 10 Hz)



NOTE This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 2 – Nomogram relating vibration amplitude to frequency with higher cross-over frequency (58 Hz to 62 Hz)



NOTE This nomogram should not be taken as being a precise graphical representation of the severities.

Figure 3 – Nomogram relating vibration displacement amplitude to frequency (only applicable for frequency ranges with an upper frequency of 10 Hz)

5.3 Duration of endurance

The relevant specification shall select the duration(s) from the recommended values given below. If the specified duration leads to an endurance time of 10 h or more per axis or frequency, this time may be split into separate testing periods, provided that stresses in the specimen are not thereby reduced (see Clause A.1 and A.6.2).

5.3.1 Endurance by sweeping

The duration of the endurance in each axis shall be given as a number of sweep cycles (see 3.4) in the relevant specification or may be chosen from the following values:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.

When a higher number of sweep cycles is required, the same series should be applied (see A.4.3).



5.3.2 Endurance at fixed frequencies

5.3.2.1 Endurance at critical frequencies

The duration of the endurance in each appropriate axis at each frequency found during the vibration response investigation (see 8.2) shall be given in the relevant specification or may be chosen from the values given below with a tolerance of ${}^{+5}_0$ % (see Clause A.1 and A.6.2):

10 min; 30 min; 90 min; 10 h.

For almost fixed frequencies, see Clause A.1.

5.3.2.2 Endurance at predetermined frequencies

The duration stated in the relevant specification shall take into account the total time the specimen is expected to be submitted to such vibration during its operational life. An upper limit of 10^7 stress cycles shall apply for each stated combination of frequency and axis (see Clause A.1 and A.6.2).

6 Preconditioning

The relevant specification may call for preconditioning and shall then prescribe the conditions (see IEC 60068-1).

7 Initial measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification (see Clause A.9).

8 Testing

8.1 General

The relevant specification shall state the number of axes in which the specimen shall be vibrated and their relative positions. If not stated in the relevant specification, the specimen shall be vibrated in three mutually perpendicular axes, in turn, which should be so chosen that faults are most likely to be revealed.

The control signal at the reference point shall be derived from the signals at the check points and shall be used for single point or multipoint control (see A.4.5).

The test procedure to be applied shall be chosen, by the relevant specification, from the stages given below. Guidance is given in Annex A. In general, the test stages shall be performed in sequence in the same axis and then repeated for the other axes (see Clause A.3).

Special action is necessary when a specimen, normally intended for use with vibration isolators, needs to be tested without them (see Clause A.5). Special action is also necessary when a product, normally intended for transportation in packaging, needs to be tested without the packaging (see IEC 60068-2-47).

When called for by the relevant specification, control of the specified vibration amplitude shall be supplemented by a maximum limit of the driving force applied to the vibrating system. The method of force limitation shall be stated in the relevant specification (see Clause A.7).



8.2 Vibration response investigation

When called for in the relevant specification, the response of the specimen in the defined frequency range shall be investigated in order to study the behaviour of the specimen under vibration. Normally, the vibration response investigation shall be carried out over a sweep cycle under the same conditions as for the endurance (see 8.3), but the vibration amplitude may be diminished and the sweep rate decreased below the specified value if, thereby, more precise determination of the response characteristics can be obtained. Undue dwell time and overstressing of the specimen shall be avoided (see A.3.1). For vibration response investigation of packaged products, for the case where it is not possible to instrument the product within the packaging, then measurement of the force excitation of the specimen may be used to detect the resonant frequencies of the product within the packaging. This is not a trivial procedure to adopt and a suitable balance between making such measurements or not having knowledge of the resonance frequencies of the packaged specimens must be made.

For the vibration response investigations of an 'undefined type' specimen or package it may be necessary to measure different signals such as driving force or vibration velocity. If specified by the relevant specification, for example the spectra of the mechanical impedance of the specimen before and after the test may be calculated.

The specimen shall function during this vibration response investigation if required by the relevant specification. Where the mechanical vibration characteristics cannot be assessed because the specimen is functioning, an additional vibration response investigation with the specimen not functioning shall be carried out.

During the vibration response investigation, the specimen and the vibration response data shall be examined in order to determine critical frequencies. These frequencies, applied amplitudes and the behaviour of the specimen shall be stated in the test report (see Clause A.1). The relevant specification shall state what action shall be taken.

When digital control is used, care shall be taken when determining the critical frequencies from the plot of the response curve, due to limitations as a result of the number of data points per sweep chosen, or the discrimination ability of the control system display screen (see A.3.1).

In certain circumstances, the relevant specification may require an additional vibration response investigation on completion of an endurance procedure so that the critical frequencies before and after can then be compared. The relevant specification shall state what action is to be taken if any change of frequency occurs. It is essential that both vibration response investigations are carried out in the same manner and at the same vibration amplitudes (see 4.1.5.3 and A.3.1).

8.3 Endurance procedures

The relevant specification shall prescribe which of the following endurance procedures shall be employed.

8.3.1 Endurance by sweeping

This endurance procedure is preferred.

The frequency shall be swept over the frequency range at the sweep rate, amplitude and duration selected by the relevant specification (see 5.3.1). If necessary, the frequency range may be sub-divided, provided that the stresses in the specimen are not thereby reduced.



8.3.2 Endurance at fixed frequencies

Vibration shall be applied either at:

a) those frequencies derived from the vibration response investigation given in 8.2, using one of the following methods:

- 1) fixed frequency,
 - centred resonance frequency.

The applied frequency shall always be maintained at the actual critical frequency.

- 2) almost fixed frequency,
 - restricted frequency sweeping.

If the actual critical frequency is not clearly evident, for example if there is chatter, or where a number of individual specimens are being tested simultaneously, it may be convenient to sweep over a restricted frequency range between 0,8 and 1,2 times the critical frequency in order to be sure of exciting the effect fully. This may also apply where the resonance is non-linear (see Clause A.1).

b) predetermined frequencies stated in the relevant specification.

The test shall be applied at the amplitude and for the duration stated in the relevant specification (see A.3.2).

NOTE In the case of a product mounted either on vibration isolators, or within packaging, the relevant specification states whether or not the resonant frequencies of the product on its isolators, or in the packaging material, should be chosen for this endurance test (see Clause A.5)

9 Intermediate measurements

When prescribed by the relevant specification, the specimen shall be functioning and its performance checked during the test for the specified proportion of the total time (see A.3.2 and Clause A.8).

10 Recovery

It is sometimes necessary, when prescribed by the relevant specification, to provide a period of time after testing and before final measurements to allow the specimen to attain the same conditions, for example of temperature, as existed for the initial measurements. The relevant specification shall prescribe the precise conditions for recovery.

11 Final measurements

The specimen shall be submitted to the visual, dimensional and functional checks prescribed by the relevant specification.

The relevant specification shall provide the criteria upon which the acceptance or rejection of the specimen is to be based (see Clause A.9).



12 Information to be given in the relevant specification

When this test is included in a relevant specification, the following details shall be given in so far as they are applicable, paying particular attention to the items marked with an asterisk (*) as this information is always required.

	Clause and/or subclause
a) Choice of check points	3.2.3
b) Choice of control points*	3.3.2
c) Cross axis motion	4.1.2.1
d) Rotational motion	4.1.2.2
e) Signal tolerance	4.1.3
f) Vibration amplitude tolerance	4.1.4
g) Confidence level	4.1.4
h) Single or multipoint control*	4.1.4.1
i) Mounting	4.3
j) Severities, real environment, if known	5
k) Frequency range*	5.1
l) Vibration amplitude*	5.2
m) Special cross-over frequency	5.2
n) Duration of endurance*	5.3 and 8.3
o) Preconditioning	6
p) Initial measurements*	7
q) Axes of vibration*	8
r) Force limitation	8
s) Test stages to be performed and sequence*	8, 8.2 and 8.3
t) Functioning and functional checks*	8.2 and 9
u) Action to be taken after the vibration response investigation*	8.2
v) Action to be taken if a change of response frequency is found when a final response investigation is performed*	8.2
w) Predetermined frequencies	8.3.2
x) Testing at the resonance frequencies of the specimen on its vibration isolators	8.3.2
y) Recovery	10
z) Final measurements*	11
aa) Acceptance or rejection criteria*	11



13 Information to be given in the test report

As a minimum the test report shall show the following information:

1	Customer	(name and address)
2	Test laboratory	(name and address)
3	Test report identification	(date of issue, unique number)
4	Test dates	
5	Type of test	Sine
6	Purpose of the test	(development test, qualification, etc.)
7	Test standard, edition	(relevant test procedure)
8	Test specimen description	(unique identification, drawing, photo, quantity, etc.)
9	Mounting of test specimen	(fixture identification, drawing, photo, etc.)
10	Description of test apparatus	(cross-motion, etc.)
11	Control and measuring system, sensor location	(description, drawing, photo, etc.)
12	Filters used for all signal(s)	(types and bandwidth)
13	Uncertainties of measuring system	(calibration data, last and next date)
14	Control strategy	(multi-point control, multi-reference or MIN or MAX strategy)
15	Initial, intermediate or final measurements	
16	Required severities	(from test specification)
17	Test severities with documentation	(measuring points, test spectra)
18	Test results	(comment on status of test specimen)
19	Observations during testing and actions taken	
20	Summary of test	
21	Test manager	(name of signature)
22	Distribution	(list of those receiving report)

NOTE 1 A test log should be written for the testing, where the test is documented as, for example, a chronological list of test runs with test parameters, observations during testing and actions taken and data sheets on measurements made. The test log can be attached to the test report.

NOTE 2 See also the requirements listed in 5.10 of ISO/IEC 17025.



Annex A (informative)

Guide to test Fc

A.1 Introduction

The test provides a method by which effects comparable with those likely to be experienced in practice can be reproduced in the test laboratory. The basic intention is not necessarily to reproduce the real environment.

The parameters given are standardized and suitable tolerances chosen in order to obtain similar results when a test is run at different locations by different people using either analogue or digital control techniques. The standardization of values also enables components to be grouped into categories corresponding to their ability to withstand certain vibration severities given in this standard.

In vibration testing, the usual approach in previous specifications has been to search for the resonances and then to undertake an endurance test in which a specimen is vibrated at resonance frequencies for a prescribed time. Unfortunately, it is difficult to differentiate, by means of a general definition, between resonances which are liable to cause failure in service and those unlikely to cause trouble, even when the specimen is vibrated for long periods.

In addition, such testing procedures are often unrealistic when applied to the majority of modern specimens. Direct observation is almost impossible in the assessment of vibration characteristics of any enclosed item, or of modern miniaturized assemblies. Vibration transducer techniques often cannot be applied without altering the mass-stiffness distribution of the assembly. In cases where transducers can be used, success depends entirely on the skill and experience of the test engineer in selecting appropriate points in the assembly for measurement.

The procedure preferred here, i.e. endurance by sweeping, minimizes these difficulties and avoids the necessity of defining significant or damaging resonances. The recommendation of this method has been influenced by the need to specify test methods which are as well defined as the present state of environmental testing will allow, and which reduce the dependence upon the skill of the test engineer to a minimum. The endurance by sweeping is given by the number of sweep cycles which are derived from related numbers of stress cycles.

The procedure may, however, in some cases lead to inconveniently long times if the endurance duration is intended to be long enough to ensure a fatigue life comparable to the required service time, or unlimited fatigue life under conditions of vibration comparable with those experienced in service. Therefore, other methods have been given, including endurance at fixed frequencies, which are either predetermined or found during the response investigation. It is expected that fixed frequency endurance is applicable if, during the vibration response investigation, the number of such frequencies in each axis is found to be small and not normally exceeding four. If the number exceeds four, endurance by sweeping may be more appropriate.

In the case of almost fixed frequencies, the duration of endurance should be based on the values stated for critical frequencies. However, to the selected value, a proportion of that time should be added which is dependant upon the range of critical frequencies of the specimens (see 5.3.2.1).

It may be appropriate to carry out endurance testing both by sweeping and at fixed frequencies. It needs to be remembered that endurance at fixed frequencies still requires a certain amount of engineering judgement in application.



In addition, for any predetermined frequency, the endurance time needs to be given in the relevant specification.

The fixed frequency endurance is given as time in the case of critical frequencies. This time is often based on an anticipated number of stress cycles. Owing to the wide variety of materials it is obvious that no realistic single figure could be given for the number of stress cycles. Nevertheless, it is considered that 10^7 is a sufficiently practicable upper figure to be quoted for general vibration testing and need not be exceeded (see 5.3.2.1 and 5.3.2.2).

In some cases, where there is a high level of background vibration which may be of a random or complex nature, sinusoidal testing may not be adequate. It is, therefore, left to the user to determine if sinusoidal testing alone is suitable for the particular application.

If it is known that the real environment is essentially random vibration, a random vibration test should be used for the endurance phase wherever economically possible. This is particularly applicable in the case of equipment. For some component-type specimens of simple construction a sinusoidal test is usually adequate. The random vibration tests are dealt with in IEC 60068-2-64 for digital control.

A.2 Measurement and control

A.2.1 Measuring points

Two main types of measuring points are defined in Clause 3. However, on occasions it may be necessary to measure local responses within a specimen in order to establish that the vibration at these points is not likely to cause damage. Under certain circumstances such as during the design stage, it may even be necessary to incorporate the signals from such measuring points into the control loop in order to avoid costly degradation of the specimen. It should be noted, however, that this technique is not recommended in this standard as it cannot be standardized (see 3.2).

A.2.2 Errors caused by signal tolerance

Where the signal tolerance is less than 5 % there is no practical difference between actual motion and basic motion.

Where a small size or low mass specimen is used with a large vibration table, there should generally not be a problem with signal tolerance. Indeed, where system signal tolerance measurements are taken when the vibration system is newly installed, the original measurements may be assumed to apply. However, laboratories need to be aware of potential problems with large specimens.

In cases where the signal tolerance is high, the measuring system will indicate a vibration level which is incorrect since it contains the required frequency and many unwanted frequencies. This will result in lower amplitude at the required frequency than is specified. Up to the signal tolerance value specified in 4.1.3, this error can be tolerated; however, above this value it may be necessary to restore the level of the fundamental to its required amplitude. There are a number of ways of doing this, but it is recommended that a tracking filter be used. If the level of the fundamental is restored, the specimen will be subjected to the intended stress at the required frequency.

It may be that, under these conditions, the unwanted frequencies will also increase and as a result some additional stresses will be caused. If this gives rise to unrealistically high stresses, it may be more appropriate to waive the signal tolerance level requirement prescribed in the relevant specification (see 4.1.3).



For a digital system, additional information on the wideband unfiltered control signal can be obtained by passing the signal into a spectrum analyser. An analysis can then be performed over the specified frequency range and will show the fundamental, harmonics and other noise content, caused, for example, by chattering and impacting.

NOTE The relationship between distortion D and signal tolerance T is given by:

$$\frac{D}{100} = \sqrt{\left(\frac{T}{100}\right)^2 + \frac{2 \times T}{100}}$$

where D and T are expressed as percentage values.

(When a signal tolerance $T = 5$ is inserted in the above equation a distortion $D = 32$ will result.)

A.2.3 Derivation of control signal

A number of methods are available for derivation of the control signal.

If an averaged multipoint control signal is specified, i.e. one derived from the arithmetic mean, one method is where the averaged signal is obtained by processing the direct voltages proportional to the peak acceleration levels at each check point.

If time-division multiplexing (see term 721-04-11:1991 in IEC 60050(721)) is used to establish a periodic interrogation of each check point, the interrogation frequency should not be greater than the driving frequency so as to ensure that at least one period of each signal is taken into account. For example, if four transducers are used, at 100 Hz the period of interrogation for each check point should not be less than 0,01 s. There may, however, be problems where such a system is used in conjunction with a tracking filter and, in this case, due care needs to be taken.

The sampled data system may cause problems when the test is to be controlled to constant displacement amplitude, since the acceleration signal, which is integrated twice, will not be proportional to the displacement amplitude owing to the signal tolerance caused by the phase difference between the sampled signals (see 3.3.2).

It is important that the complete vibration system has a low residual noise level so that most of the tolerance quoted is available during the test (see 4.1.4.1). Typically, 0,6 m/s² is an acceptable noise threshold for the vibration system.

A.2.4 Rotational motion (see 4.1.2.2)

Large size or high mass specimens can react to the sinusoidal excitation with overturning moments, caused either by the eccentricity of the inertial force of the rigid mass with respect to the thrust axis of the vibration table, or by the distribution of the inertial forces of the modal shapes in correspondence with the natural frequencies. These overturning moments can induce rotational motions around axes lying in any plane orthogonal to the basic motion direction and, as a result, some additional stresses will be caused in the specimen. This could give rise to unrealistically high stresses. Thus it may be appropriate to reduce the rotational motions or at least to know their magnitude. The natural frequencies and relevant modal shapes of the specimen are normally not known before the test and general assumptions regarding these parameters are difficult to make.

Some useful approximate criteria can be obtained by considering the mass of the specimen (m), the mass of the moving parts of the vibration table including fixture (m_t), the distance (d) between the centre of gravity of the specimen and the thrust axis of the vibration table and the height (h) of the centre of gravity of the specimen with respect to the horizontal thrust axis of the vibration table.



For theoretically rigid specimens the maximum foreseen overturning moment (M_o) can be calculated as follows in the presence of maximum excitation acceleration A :

- rigid mass with eccentricity: $M_o = m \times d \times A$;
- rigid mass with high centre of gravity horizontally excited: $M_o = m \times h \times A$.

For specimens with a resonance in the specified frequency range, the same formulae as above are still valid, but m represents the resonant mass and A is the maximum predicted response acceleration. It is important that, in the above cases, consistent units are used.

Both electrodynamic and servo-hydraulic test equipment have maximum overturning moment limitations. In the case of single vibration generator facilities, of either type, there is a maximum allowable overturning moment, normally specified by the equipment manufacturer in order to avoid vibration generator damage.

In the case of multiple vibration generator facilities, there is a maximum ability of the vibration table to counterbalance the overturning moments and to exceed this means to have some rotational motions (pitch or roll) of the vibration table.

The following criteria may be applied.

If the ratio m/m_t is less than 0,2, no check is needed, otherwise the following checks may be appropriate.

For single vibration test equipment (with or without slip tables), and for mechanically guided equipment, the overturning moment is counterbalanced by elastic members or bearings. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than 50 % of the maximum allowable overturning moment of the test equipment.

For multiple vibration generators and for test equipment with many degrees of freedom, the overturning moment is counterbalanced by the vibration generators being regulated by a control system. Thus it is only necessary to measure the rotational motion when the specimen overturning moment is greater than the maximum overturning moment capability of the test equipment.

A.3 Testing procedures

A.3.1 Vibration response investigation (see 8.2)

Vibration response investigations are of use for many purposes, particularly when it is known that the specimen will experience considerable vibration of a periodic nature such as is found in ships, aircraft, and rotating machinery. The response investigation is also of use when it is considered important to investigate the dynamic behaviour of the specimen and where fatigue is to be assessed.

Due consideration should be given to the amplitude used during the vibration response investigation, particularly with respect to the linearity of the dynamic behaviour of the specimen and also because malfunction and chatter may only occur at the test level.

A vibration response investigation applied before and after the endurance test can be used to identify changes in the frequency at which resonance or some other response occurs. A change in frequency may indicate that fatigue, or some other degradation, has occurred and should be evaluated as this frequency change may result in the specimen being unsuitable for its intended operational or transportation environment.



When prescribing the vibration response investigation, the relevant specification should clearly state, where appropriate, the actions to be taken during and following the test, for example:

- any special values of dynamic magnification which, if exceeded, would require endurance by sweeping;
- changes in frequency;
- levels of response which are unacceptable;
- electrical noise.

It is important that any arrangements made to detect the effect upon internal parts during a vibration response investigation should not substantially change the dynamic behaviour of the specimen as a whole. It should also be remembered that, in the case of a non-linear resonance, a specimen may respond differently depending upon the direction of the frequency variation during the sweep. Critical frequencies should be determined on the upward and downward part of the sweep cycle since the specimen may have structurally settled (stabilized) during the upward portion of the sweep.

The starting point of the sweep may be at f_2 instead of f_1 , if it is suspected that either a softening or hardening spring non-linearity is present. Critical frequency determination will be different for the upward and downward parts of the sweep.

When digital control is used, it is important that a sufficiently large number of data points are chosen between f_1 and f_2 in order to adequately describe each resonance peak and, therefore, each critical frequency of the specimen. Insufficient data points may result in inaccurate determination of the critical frequencies, especially in the low frequency range with specimens having a low damping ratio. Normally it is considered that sufficient data has been obtained when there are at least three (five if possible) data points within the -3 dB bandwidth of the associated resonance. However, the response investigation will need to be repeated if insufficient data is obtained but there is a strong indication that a resonance exists. In such instances it may also be necessary to sweep over a restricted frequency range.

Further errors in determining the critical frequencies may result from the choice of method for any graphical representation of the data since some systems may be limited in their ability to accurately display all of the data. It may, therefore, be necessary to expand the graph around each critical frequency to overcome this problem.

When a vibration response investigation is called for in the relevant specification, the availability of any vibration isolators used is of fundamental importance. If vibration isolators are available, a first investigation is often carried out with the vibration isolators removed or blocked in order to determine the critical frequencies of the specimen.

A second investigation may then be performed in which the vibration response investigation is repeated with the vibration isolators mounted and free so that the effect which they have on the specimen can be determined.

At the first investigation, because the vibration isolators are either not present or not active, their transmissibility characteristics need to be determined from Figure A.1 and different vibration amplitudes used in order to take account of these characteristics.

If the isolators are not available, see A.5.1.



A.3.2 Endurance (see 8.3)

Endurance by sweeping is normally the most appropriate method for simulating the effect of the stresses undergone by specimens in use (see 8.3.1).

Endurance at fixed frequencies is appropriate to a limited range of service conditions of specimens whose operational site is influenced by machinery or whose installation is restricted to one or a few types of vehicle or aircraft. In these cases, the dominant frequencies are usually known or can be predicted. It may also be appropriate for the rapid accumulation of stress cycles in order to demonstrate the effects of fatigue, for example arising from excitation during a mobile transportation environment (see 8.3.2).

In some cases it may be important to consider possible fatigue aspects at some discrete frequencies, as well as to establish the general ability of a specimen to withstand vibration. Under these circumstances, it would be appropriate to carry out endurance at fixed frequencies followed by endurance by sweeping. This would then provide the information required in the shortest possible time.

In the case of small components, where it is believed that no resonances exist below 55 Hz or 100 Hz, it is sufficient to commence the endurance at these frequencies.

For endurance testing of an equipment normally mounted on vibration isolators, the vibration isolators are usually fitted. If it is not practicable to carry this out with the appropriate vibration isolators, for example if the equipment is installed together with other equipment on a common mounting device, the equipment may be tested without them at a different severity to be stated in the relevant specification. This amplitude should be determined by taking into account the transmissibility of the vibration isolating system in each axis used for the test. When the characteristics of the vibration isolators are not known, refer to A.5.1.

The relevant specification may require an additional test on a specimen with the external vibration isolators removed or blocked in order to demonstrate that minimum acceptable structural resistance has been achieved. In this case, the severity to be applied should be given in the relevant specification.

In the case of a product which would normally be tested in its packaging, in order to reproduce the transportation part of its life, but where the packaging is not available, refer to IEC 60068-2-47.

A.4 Test severities (see Clause 5)

A.4.1 Selection of test severities

The frequencies and amplitudes given have been selected to envelop the frequency responses appropriate to a wide range of applications. When an equipment is for use in one application only, it is preferable to base the severity on the vibration characteristics of the actual environment, if known. When the vibration conditions of the actual environment are not known for an equipment, the appropriate test severity should be selected from Annex C which gives examples of test severities related to various applications.

In determining the test severity, the specification writer should take into account the information given in IEC 60721-3 (see Clause 5).

As the value of displacement amplitude is associated with a corresponding value of acceleration amplitude in such a manner that the magnitude of vibration is the same at the cross-over frequency, the frequency range may be swept continuously, changing from constant displacement to constant acceleration and vice versa at the cross-over frequency. Cross-over frequencies between 8 Hz and 10 Hz and between 58 Hz and 62 Hz are given.



Cross-over frequencies other than the standard ones may be required where it is desirable to simulate the actual environment, if known. If this results in a high cross-over frequency, the capability of the vibration generator must be borne in mind. It is important that the displacement amplitude chosen does not correspond to an acceleration amplitude in the low frequency region comparable to the residual noise level of the vibration system. If necessary, the problem could be overcome by either using a tracking filter or, if the test was conducted all at low frequencies, to employ a displacement transducer in the control loop (see 5.2).

A.4.2 Selection of test severities for components

The selection of test severities for components is complicated by the fact that, in many cases, it is not known in which equipment they are to be installed nor the stresses to which they will be subjected. Even where it is known that components are for use in specific items of equipment, it should be borne in mind that the vibration environment to which the component will be subjected may be different from that to which the equipment will be subjected, due to the dynamic response of the structure, equipment, sub-assemblies, etc. Caution should, therefore, be observed in selecting component test severities related to equipment severities and some margin may need to be allowed for the effect of these responses.

Where components are mounted in the equipment in a manner designed to protect them from vibration, the equipment test severities, or possibly a lower severity, may be appropriate.

An alternative approach to the selection of component test severities is to test and grade components to stated severities so that equipment designers may select components appropriate to their application.

Reference should be made to Annex B which gives examples of severities related to various applications.

A.4.3 Sweep

During sweeping, the frequency is required to change exponentially with time so that:

$$\frac{f}{f_1} = e^{kt}$$

where

f is the frequency;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

k is a factor depending on sweep rate;

t is the time.

For this test, the sweep rate is one octave per minute (see 4.1.6) and thus $k = \log_e 2 = 0,693$, if the time is expressed in minutes.

The number of octaves for a sweep cycle is given by:

$$X = 2 \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{2}{\log_{10} 2} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = 6,644 \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

where

X is the number of octaves;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

f_2 is the upper frequency limit of the sweep.



Values produced utilizing the above formula are given in Table A.1 and show the rounded times associated with the recommended numbers of sweep cycles and frequency ranges (see 5.3.1).

For a digital system the output sine wave can be produced either from an external analogue synthesizer or internally from a frame of digital data containing a portion of a sinusoidal signal.

In the first case, a pure continuous sine wave is generated; this results in there being no difference between analogue and digital systems.

In the second case, the analogue drive frame produced by the D/A converter is not smooth, but consists of a number of small steps. A smoothing filter is necessary to operate on the signal to smooth out these steps and produce an essentially pure sinusoidal shape. It is also important to ensure that the drive frames are joined so as to produce a smooth sine wave.

Table A.1 – Number of sweep cycles and associated endurance times per axis

Frequency range Hz	Number of sweep cycles						
	1	2	5	10	20	50	100
1 to 35	10 min	21 min	50 min	1 h 45 min	3 h 30 min	9 h	<u>17 h</u>
1 to 100	13 min	27 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 30 min	11 h	22 h
5 to 100	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h
5 to 200	11 min	20 min	55 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h
5 to 500	13 min	25 min	1 h 0 min	2 h	3 h 45 min	9 h	19 h
5 to 2 000	17 min	33 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h
10 to 55	5 min	10 min	25 min	<u>45 min</u>	<u>1 h 45 min</u>	4 h	<u>8 h</u>
10 to 150	8 min	16 min	40 min	<u>1 h 15 min</u>	<u>2 h 30 min</u>	<u>7 h</u>	<u>13 h</u>
10 to 500	11 min	23 min	55 min	<u>2 h</u>	3 h 45 min	9 h	19 h
10 to 2 000	15 min	31 min	1 h 15 min	<u>2 h 30 min</u>	5 h	13 h	25 h
10 to 5 000	18 min	36 min	1 h 30 min	3 h	6 h	15 h	30 h
55 to 500	6 min	13 min	30 min	<u>1 h</u>	2 h	5 h	11 h
55 to 2 000	10 min	21 min	50 min	<u>1 h 45 min</u>	3 h 30 min	9 h	17 h
55 to 5 000	13 min	26 min	1 h 05 min	2 h 15 min	4 h 15 min	11 h	22 h
100 to 2 000	9 min	17 min	45 min	<u>1 h 30 min</u>	3 h	7 h	14 h

NOTE 1 The endurance times given in the table have been calculated for a sweep rate of one octave per minute and are rounded up or down. The error caused by this in no case exceeds 10 %.

NOTE 2 The figures underlined have been derived from Annexes B and C.

An estimation of the number of stress cycles (N), the number of octaves (X) and the sweep duration (T) for one sweep cycle ($f_1 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$) may be obtained from the following:

$$N = \frac{(f_2 - f_1) \times 60 \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (stress cycles)}$$

$$X = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2} \text{ (octaves)}$$



$$T = \frac{X}{SR} = \frac{\log_e \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \times 2}{\log_e 2 \times SR} \text{ (minutes)}$$

where

f_2 is the upper frequency limit of the sweep;

f_1 is the lower frequency limit of the sweep;

SR is the sweep rate in octaves/minute.

This method of estimation of the number of stress cycles is also valid for Tables B.1, C.1 and C.2.

A.4.4 Tracking filters

A.4.4.1 Analogue filters

These may be constant bandwidth (CB) or constant percentage bandwidth (CPB). In each case the response time (T_r) is given by:

$$T_r = \frac{1}{BW}$$

where

T_r is in seconds;

BW is the bandwidth in hertz (Hz).

For example:

for a CB type of filter set to 10 Hz bandwidth:

$$T_r = \frac{1}{10} = 100 \text{ ms and is constant across the whole tuning range;}$$

for a CPB type of filter set, for example, to 10 % at the tuned frequency f

$$BW = 0,1 f;$$

$$T_r = \frac{1}{BW} = 10 \text{ periods at the tuned frequency.}$$

When tracking filters are used in a control loop the response time is very important. A long response time can slow down the overall control response and may result in instability or even loss of control. In addition, the response time may limit the sweep speed in swept sine tests, particularly at low frequencies for CPB types where T_r can be tens of seconds (see 4.1.3).

For this reason, many tracking filters compromise by having either multiple CB settings, automatically switched by the tuning frequency, or they have a CB response at low frequencies up to some set frequency and CPB response above this.

As a general rule, the tracking filter should respond at least five times faster than the controller compression speed in order to prevent mutual interaction and control instability. The filter bandwidth will need always to be less than the working tuned frequency.



See Tables A.2 and A.3 for response times.

Table A.2 – CB response time

Bandwidth Hz	Times s
0,1	10
0,5	2
1	1
5	0,2
10	0,1

Table A.3 – CPB response time

Frequency Hz	Bandwidth %		
	1	5	10
	Time s	Time s	Time s
5	20	4	2
10	10	2	1
50	2	0,4	0,2
100	1	0,2	0,1
500	0,2	0,04	0,02
1 000	0,1	0,02	0,01
2 000	0,05	0,01	0,005

A.4.4.2 Digital filters

Digital systems employ a numerical algorithm technique to reproduce an equivalent of an analogue tracking filter. The final result is no different in the extraction of the fundamental signal but, in the case of digital control, it could be at the cost of increasing the loop response time. This may effect the accuracy of the control at higher frequencies.

A.4.5 Control signal measurement

Digital systems employ an anti-aliasing filter before digitizing the data. This filter is progressively stepped along the frequency range as the frequency sweep progresses and has the effect of removing the high frequency components. As a result of this, the signal seen by a digital system may have a lower r.m.s. value, which could result in the digital system controlling the test at a higher level when compared to an equivalent analogue control system. Use of a tracking filter with both digital and analogue control systems will overcome this problem.



A.5 Equipment normally used with vibration isolators

A.5.1 Transmissibility factors for vibration isolators

When a specimen would normally be mounted on vibration isolators, but they are not available and their characteristics are unknown and, in addition, the relevant specification has not allowed for this situation, it is necessary to modify the specified level in such a way as to provide a more realistic vibration input to the specimen. It is recommended that this modified level be derived by using values taken from the curves given in Figure A.1 described below:

- a) curve A relates to a type of loaded vibration isolator of high resilience having a natural frequency, when considering a single degree of freedom, not exceeding 10 Hz;
- b) curve B relates to a type of loaded vibration isolator of medium resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range 10 Hz to 20 Hz;
- c) curve C relates to a type of loaded vibration isolator of low resilience having a natural frequency, as qualified above, in the range of 20 Hz to 35 Hz.

Curve B is derived from vibration measurements made on typical aircraft equipment fitted with highly damped all-metal mountings having a natural frequency of approximately 15 Hz considering a single degree of freedom.

Very little data were available for vibration isolators represented by curves A and C. These were derived by extrapolation from curve B, considering natural frequencies of 8 Hz and 25 Hz respectively.

The transmissibility curves have been estimated to envelop the transmissibility characteristics likely to arise in an installation in which modes are coupled. The use of these curves, therefore, makes an allowance for the vibration levels arising at the periphery of a specimen from the combined effects of translational and rotational motions.

The most appropriate transmissibility curve should be selected from Figure A.1 and the specified vibration levels should be multiplied by values taken from this curve over the required frequency range. The product of these values may result in test levels which may not be reproducible in the laboratory. In this case, the test engineer should adjust the levels in such a way that the maximum possible level is achieved at all times throughout the complete frequency range. It is of the utmost importance that the actual values used are stated in the test report.

Vibration, during the transportation phase, will often be the most severe experienced by a product, particularly where it is destined to be used in a benign environment; for example, in a computer room. The testing of such a product would normally take place in its transportation packaging, if available. However, there will be occasions when the packaging is not available and yet testing is still needed. This subject is dealt with, in detail, in IEC 60068-2-47.

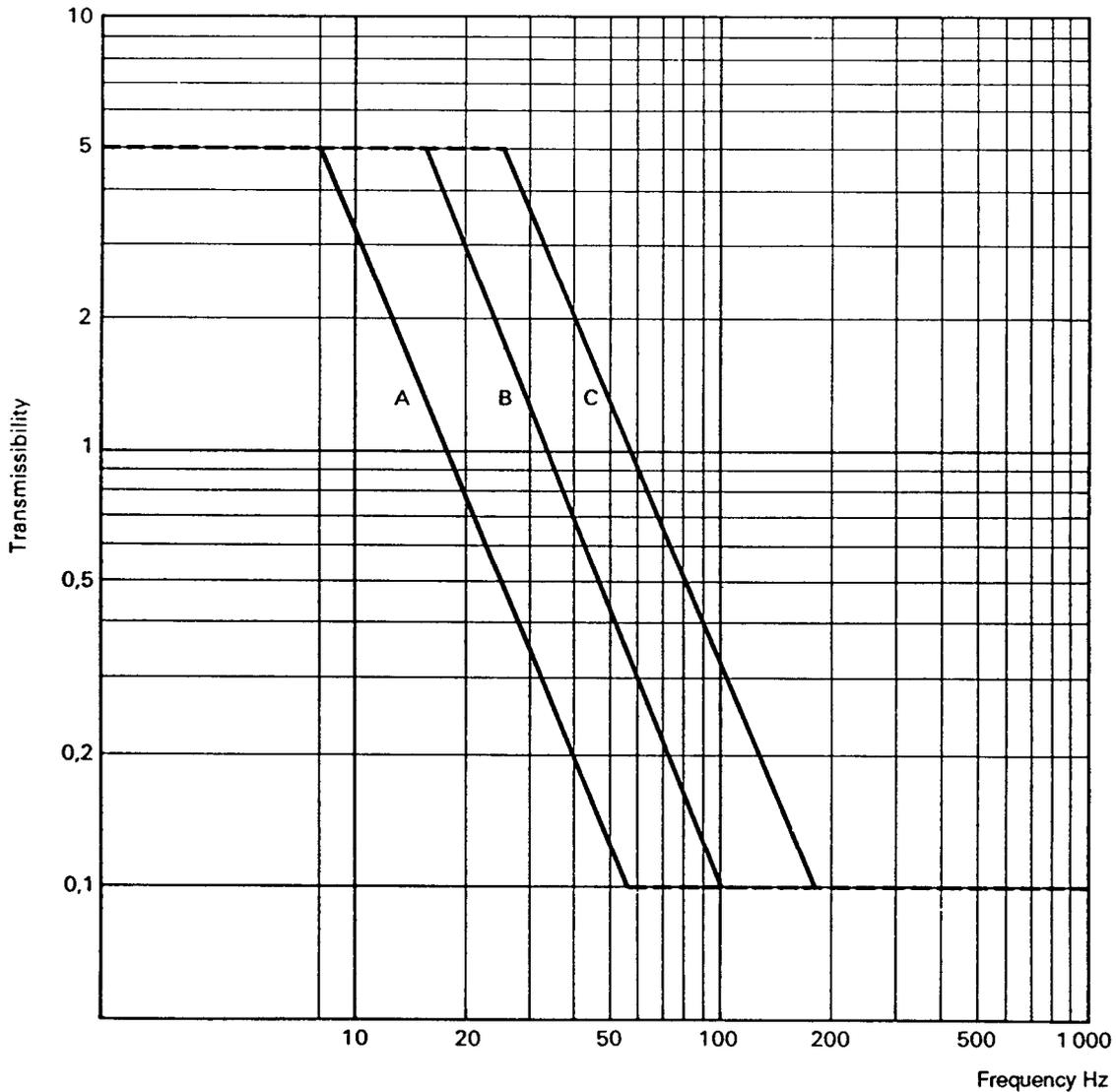


Figure A.1 – Generalized transmissibility factors for vibration isolators

A.5.2 Temperature effect

It is important to note that many vibration isolators contain material which is temperature-dependent. This may also apply to the material of the packaging.

If the fundamental resonance frequency of the product on the vibration isolators or within the packaging is within the test frequency range, caution must be exercised in deciding the length of time for which any endurance should be applied.

In some circumstances it may be unreasonable to apply continuous excitation without permitting recovery. If the actual time distribution of excitation of this fundamental resonance frequency is known, an attempt should be made to simulate it. If the actual time distribution is not known then excessive overheating should be avoided by limiting the periods of excitation in a manner which will require engineering judgement, taking into account 5.3.



A.6 Duration

A.6.1 Basic concept (see 5.3.1)

Many existing specifications describe the sweep endurance phase of a vibration test in terms of time duration. This makes it virtually impossible to correlate the behaviour of one resonant specimen with another if their frequency ranges are dissimilar, since the number of occasions on which the resonance will be excited will be different. For instance, it is often considered that, for a given acceleration value and endurance time, the test is more severe with a wide frequency range than with a narrow one; in fact the reverse is the case. The concept of the number of sweep cycles as an endurance parameter overcomes this problem since the resonances will be excited equally, irrespective of the frequency range.

A.6.2 Test

Where the test is simply to demonstrate the ability of a specimen to survive and/or operate at the appropriate amplitudes, the test need only continue for a duration sufficient to demonstrate this requirement over the specified frequency range. In cases where the ability of an item to withstand the cumulative effects of vibration such as fatigue and mechanical deformation is to be demonstrated, the test should be of a sufficient duration to accumulate the necessary stress cycles. For demonstration of unlimited fatigue life, a total of 10^7 stress cycles is normally considered adequate.

A.7 Dynamic response

The major causes of damage are the dynamic stresses produced within the test specimen. The classic example is the stress produced within a simple spring/mass system, when the system is attached to a vibrating body whose inertia is large in relation to that of the mass. At the frequency of resonance the spring/mass responds with an increase in amplitude of motion, inducing increased stress in the spring. The performance of an endurance test at such a resonance frequency requires a great deal of engineering judgement. The difficulty lies mainly in determining which resonances are significant. An additional problem might be that of maintaining the driving frequency at resonance.

At higher frequencies particularly, the resonances may not be very apparent but nevertheless high stress levels may occur locally. Whilst some specifications attempt to define the severity of a resonance by an arbitrary value for the dynamic magnification, this method has not been adopted for this test.

The procedures given herein imply that the vibration amplitude (displacement or acceleration) shall be kept to a prescribed value independent of the dynamic reaction of the specimen. This is in accordance with the state of the art of vibration testing of a general kind suitable for standardization.

It is well known that when a specimen is excited at its resonance frequency, its apparent mass can be high in relation to that of its operational mounting structure. In such a case, the reaction of the specimen can be considerable. The driving force and the mechanical impedance of the structure are normally not known and general assumptions regarding these parameters are usually extremely difficult to make.

Force control is foreseen as a means of reducing the above problem but is not included in the test, since it is not possible at present to give information on procedures, measurements and tolerances. When such a test is called for by the relevant specification, it is possible either to use force transducers or to rely on a measurement of the driving current. This latter procedure has certain drawbacks, since the current may not be proportional to the force over parts of the frequency range specified for the test. Nevertheless, with good engineering judgement the method utilizing current measurement can be used, particularly if a limited frequency range is involved.



Thus, whilst a force-controlled test may appear to be attractive, caution must be exercised in its use. Certainly in some cases, for example components, the amplitude-controlled test is almost always more appropriate (see Clause 8).

A.8 Performance evaluation

When appropriate, items should be operated either throughout the test or at appropriate phases of the test, in a manner representative of their functioning conditions. At suitable intervals throughout the endurance phase, and towards the end of it, functional checks of the specimen are recommended.

For specimens in which vibration may influence the switch-on and switch-off function (e.g. interfering with the operation of a relay) such functioning should be repeated to demonstrate a satisfactory performance in this respect, either over the frequency range of the test, or at those frequencies likely to cause interference.

If the test is to demonstrate survival only, the functional performance of specimens should be assessed after the completion of vibration endurance (see 8.3 and Clause 11).

A.9 Initial and final measurements

The purpose of the initial and final measurements is to compare particular parameters in order to assess the effect of vibration on the specimen.

The measurements may include, as well as visual requirements, electrical and mechanical operational and structural characteristics (see Clauses 7 and 11).



Annex B (informativo)

Examples of severities primarily intended for components

The possible number of severities allowed by Clause 5 is very large. To simplify the application of this standard, examples of severities primarily intended for components have been selected from the recommended parameters for endurance stated in Clause 5 of this test and are given in Table B.1. The conditions for testing are as prescribed in this standard.

**Table B.1 – Endurance by sweeping –
Examples with higher cross-over frequency**

Amplitude ¹⁾ Frequency range Hz	Number of sweep cycles in each axis			Examples of application
	0,35 mm or 50 m/s ²	0,75 mm or 100 m/s ²	1,5 mm or 200 m/s ²	
10 to 55	10	10		Large industrial power plant, heavy rotating machinery, steel rolling mills, large merchant and naval ships
10 to 500	10	10		General purpose land-based and land transport, fast small marine craft (naval or civil) and general aircraft use
10 to 2 000		10	10	Space launchers (200 m/s ²). Engine mounted components in aircraft
55 to 500	10	10		Application as for 10 Hz to 500 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
55 to 2 000		10	10	Application as for 10 Hz to 2 000 Hz but applicable to small rigid components with no resonance response at frequencies below 55 Hz
100 to 2 000		10	10	Application as for 55 Hz to 2 000 Hz but applicable to very small components of very rigid construction, for example, encapsulated transistors, diodes, resistors, capacitors and integrated circuits
NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.				
¹⁾ Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency. The cross-over frequencies are between 58 Hz and 62 Hz (see 5.2).				



For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.

Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.



Annex C (informative)

Examples of severities primarily intended for equipment

C.1 General

When the actual vibration severity is known, it should be used (see A.4.1). When the severity is not known, it is necessary to make an arbitrary choice, but one which is based, as far as possible, on similar generalized severities for related applications as given in this annex.

Several combinations of frequency range, vibration amplitude and endurance duration are given as examples of severities primarily intended for the testing of equipment, and other articles (see Tables C.1 and C.2). These severities have been selected from the recommended parameters for endurance stated in Clause 5 of this standard and they are considered to cover the more common applications of the vibration test. No attempt has been made to produce an exhaustive list and requirements not covered by this annex should be chosen from the other recommended severities of this standard and should be prescribed in the relevant specification.

In certain applications, it may not be practicable to use endurance by sweeping and it may be necessary to carry out tests at critical frequencies. Such tests should be prescribed by the relevant specification, in accordance with the appropriate clauses of this standard, and using this annex for guidance.

Table C.1 does not contain examples for frequency ranges below 10 Hz and so there are no cross-over frequencies between 8 Hz and 10 Hz. However, many of the examples given could have a starting frequency of 5 Hz or even 1 Hz depending upon application, and if called for by the relevant specification.

Table C.1 – Endurance by sweeping – Examples with lower cross-over frequency

Amplitude m/s ²	Number of sweep cycles in each axis			Examples of application
	5	10	20	
Frequency range Hz				
10 to 150	50	–	–	Stationary equipment such as large computers and rolling mills, long-term exposure
10 to 150	20	–	–	Stationary equipment such as large transmitters and air conditioners, intermittent exposure
10 to 150	–	20	20	Equipment intended for installation in or transport by ships, railway and land vehicles
NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is used.				

For a method of estimation of the number of stress cycles, see A.4.3.



C.2 Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For pre-determined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.

Table C.2 – Endurance by sweeping – Examples with higher cross-over frequency

Amplitude ¹⁾ Frequency range Hz	Number of sweep cycles in each axis				Examples of application
	0,15 mm or 20 m/s ²	0,35 mm or 50 m/s ²	0,75 mm or 100 m/s ²	1,5 mm or 200 m/s ²	
1 to 35 ²⁾	–	100	100	–	Equipment mounted adjacent to heavy rotating machinery
10 to 55 ²⁾	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use
10 to 150	10 20 100	– 20 –	– – –	– – –	Equipment intended for large power plants and for general industrial use, where it has been found that appreciable vibration components exist beyond 55 Hz
10 to 500	10	10	–	–	Equipment for general aircraft use, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment
10 to 2 000	–	10	10	– 10	Equipment for high-speed aircraft, the higher values apply to equipment close to, but not within, the engine compartment Aircraft engine compartments
NOTE Where there is more than one amplitude for a stated frequency range, only one is to be used.					
¹⁾ Displacement amplitude below the cross-over frequency and acceleration amplitude above the cross-over frequency 58 Hz to 62 Hz (see 5.2).					
²⁾ Constant displacement amplitude test.					

For a method of estimation of the number of stress cycles see A.4.3.



C.3 Endurance at fixed frequencies

The typical durations for the endurance at each critical frequency in each axis are 10 min, 30 min, 90 min and 10 h.

For almost fixed frequencies see Clause A.1.

For predetermined frequencies an endurance time should be chosen so that an upper limit of 10^7 stress cycles is applied for each stated combination of frequency and axis. When the environmental conditions are well known, the time duration to be applied at fixed frequencies should be based upon the number of stress cycles that occur during a normal lifetime.



Bibliography

IEC 60050(721):1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 721: Telegraphy, facsimile and data communication*

IEC 60068-2-64:1993, *Environmental testing – Part 2-64: Test methods – Test Fh: Vibration broad-band random (digital control) and guidance*



Annex ZA (normative)

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 60068-1	- ¹⁾	Environmental testing - Part 1: General and guidance	EN 60068-1	1994 ²⁾
IEC 60068-2-47	- ¹⁾	Environmental testing - Part 2-47: Tests - Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests	EN 60068-2-47	2005 ²⁾
IEC 60721-3	Series	Classification of environmental conditions - Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities	EN 60721-3	Series
ISO 2041	- ¹⁾	Vibration and shock - Vocabulary	-	-
ISO/IEC 17025	2005	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories	EN ISO/IEC 17025	2005

¹⁾ Undated reference.

²⁾ Valid edition at date of issue.

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 104-Condizioni ambientali. Classificazioni e metodi di prova (ex CT 50, CT 75)

Altre Norme di possibile interesse sull'argomento

CEI EN 60068-1 (CEI 50-2/1)

Prove ambientali - Parte 1: Generalità e guida

CEI 50-6/7

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2: Prove - Prova Fd: Vibrazioni aleatorie a larga banda - Prescrizioni generali

CEI 50-6/8

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2: Prove - Prova Fda: Vibrazioni aleatorie a larga banda - Alta riproducibilità

CEI 50-6/9

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2: Prove - Prova Fdb: Vibrazioni aleatorie a larga banda - Media riproducibilità

CEI 50-6/10

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2: Prove - Prova Fdc: Vibrazioni aleatorie a larga banda - Bassa riproducibilità

CEI EN 60068-2-59 (CEI 50-6/14)

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2: Prove - Prova Fe: Vibrazioni - Metodo con sinusoidi modulate

CEI EN 60068-2-64 (CEI 50-18)

Prove climatiche - Parte 2: Metodi di prova - Prova Fh: Vibrazioni aleatorie a larga banda (Controllo numerico) e guida

CEI EN 60068-2-65 (CEI 50-24)

Prove ambientali - Parte 2: Metodi di prova - Prova Fg: Vibrazioni, indotte acusticamente

CEI EN 60068-2-47 (CEI 104-23)

Prove ambientali - Parte 2-47: Prove - Montaggio di campioni per prove dinamiche di vibrazione, urto e similari

CEI EN 60068-2-57 (CEI 104-24)

Prove climatiche e meccaniche fondamentali - Parte 2-57: Prove - Prova Ff: Vibrazioni - Metodo con oscillogrammi

CEI EN 60721-1 (CEI 104-33)

Classificazione delle condizioni ambientali - Parte 1: Parametri ambientali e loro severità

CEI EN 60068-3-8 (CEI 104-34)

Prove Ambientali - Parte 3-8: Documenti di supporto e guida - Scelta delle prove di vibrazione

CEI EN 60068-2-80 (CEI 104-36)

Prove Ambientali - Parte 2-80: Prove - Prova Fi: Vibrazioni - Modo misto

€ 122,00

NORMA TECNICA
CEI EN 60068-2-6:2009-11
Totale Pagine 86

Sede del Punto Vendita e di Consultazione

20134 Milano
Tel. 02/21006.1
<http://www.ceiweb.it>

Via Saccardo,9
Fax 02/21006.222
e-mail cei@ceiweb.it

