

DIN EN 16603-32-11

ICS 49.140

**Raumfahrttechnik –
Modale Prüfungsbewertung;
Englische Fassung EN 16603-32-11:2014**

Space engineering –
Modal survey assessment;
English version EN 16603-32-11:2014

Ingénierie spatiale –
Evaluation des modes vibratoires;
Version anglaise EN 16603-32-11:2014

Gesamtumfang 97 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16603-32-11:2014) wurde vom Technischen Komitee CEN/CLC/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-10-01 AA „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssystemen“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Dieses Dokument (EN 16603-32-11:2014) basiert auf ECSS-E-ST-32-11C.

Dieses Dokument enthält unter Berücksichtigung des DIN-Präsidialbeschlusses 1/2004 nur die englische Originalfassung von EN 16603-35-01:2014.

Dieses Dokument wurde speziell für die Behandlung von Raumfahrtsystemen erarbeitet und hat daher Vorrang vor jeder anderen EN, die denselben Anwendungsbereich behandelt, allerdings mit erweitertem Bereich der Anwendbarkeit (z. B. Luft- und Raumfahrt).

Nationaler Anhang NA (informativ)

Begriffe und Abkürzungen

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe aus anderen Normen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ECSS-S-ST-00-01.

3.2 Begriffe zur vorliegenden Norm

3.2.1

Beschleunigungsfähigkeit

Verhältnis des Spektrums der Ausgangsbeschleunigung zum Spektrum der eingeleiteten Kraft

ANMERKUNG 1 **Beschleunigungsfähigkeit** wird wie folgt berechnet:

$$A(\omega) = \frac{\ddot{X}(\omega)}{F(\omega)}$$

Dabei ist

$\ddot{X}(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsbeschleunigung;

$F(\omega)$ das Spektrum der eingeleiteten Kraft.

ANMERKUNG 2 Die **Beschleunigungsfähigkeit** wird auch als „Trägheit“ bezeichnet und ist die Umkehrung der **scheinbaren Masse** (siehe 3.2.2).

3.2.2

scheinbare Masse

Verhältnis des Spektrums der eingeleiteten Kraft zum Spektrum der Ausgangsbeschleunigung

ANMERKUNG 1 **Scheinbare Masse** wird wie folgt berechnet:

$$M(\omega) = \frac{F(\omega)}{\ddot{X}(\omega)}$$

Dabei ist

$F(\omega)$ das Spektrum der eingeleiteten Kraft;

$\ddot{X}(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsbeschleunigung.

ANMERKUNG 2 Die **scheinbare Masse** wird auch als „dynamische Masse“ bezeichnet und ist die Umkehrung der **Beschleunigungsfähigkeit** (siehe 3.2.1).

3.2.3

Auto-MAC-Kriterium (en: auto modal assurance criterion)

Gradmaß der Korrelation zweier **Modenformen** desselben **Modenformsatzes**

ANMERKUNG 1 Zum Beispiel Versuchs**modenformen** oder Analyse**modenformen**.

ANMERKUNG 2 **Auto-MAC** ist ein spezieller Fall des **MAC** (siehe 3.2.26); die Matrix des **Auto-MAC** ist symmetrisch.

ANMERKUNG 3 Das **Auto-MAC** eignet sich besonders zur Einschätzung, ob eine gegebene Auswahl von DOFs angemessen für MAC-Evaluationen mit zwei verschiedenen Sätzen von **Modenformen** (z. B. Versuch und Analyse) ist.

3.2.4

Kohärenzfunktion

Gradmaß der linearen, rauschfreien Beziehung zwischen den gemessenen Eingangs- und Ausgangssignalen des Systems auf jeder Frequenz

ANMERKUNG 1 Die **Kohärenzfunktion** wird definiert als

$$\gamma^2(\omega) = \frac{|S_{xf}(\omega)|}{S_{xx}(\omega)S_{ff}(\omega)}$$

Dabei ist

ω die Frequenz;

$S_{ff}(\omega)$ das Leistungsspektrum des Eingangssignals;

$S_{xx}(\omega)$ das Leistungsspektrum des Ausgangssignals;

$S_{xf}(\omega)$ das Kreuzspektrum von Eingangs- und Ausgangssignal.

ANMERKUNG 2 $\gamma^2(\omega) = 1$ bezeichnet eine lineare, rauschfreie Beziehung zwischen Eingang und Ausgang.

ANMERKUNG 3 $\gamma^2(\omega) = 0$ bezeichnet eine nicht kausale Beziehung zwischen Eingang und Ausgang.

3.2.5

komplexe Modenform

Modalvektor eines nichtproportional gedämpften Systems

ANMERKUNG 1 Bei **komplexen Modenformen** kann jede beliebige Phasenbeziehung zwischen verschiedenen Bestandteilen der Struktur bestehen.

ANMERKUNG 2 **Komplexe Modenformen** können als sich ausbreitende Wellen ohne stationäre Knotenlinien betrachtet werden.

3.2.6

Indikatorfunktion für komplexe Modenformen

Indikator für das Bestehen reeller oder komplexer Modenformen und deren jeweiliger Größe

ANMERKUNG Die **Indikatorfunktion für komplexe Modenformen** verfügt über eine erweiterte Funktionalität, um **Modalparameter** näherungsweise zu kalkulieren.

3.2.7

CoMAC-Kriterium (en: coordinate modal assurance criterion)

Gradmaß der Korrelation des gegebenen DOF von zwei verschiedenen Sätzen von **Modenformen** über eine Anzahl von vergleichbar gepaarten **Modenformen**

ANMERKUNG 1 Das Coordinate **Modal Assurance Criterion** für DOF j wird definiert als:

$$CoMAC(j) = \frac{\left[\sum_{r=1}^m |\phi_{jr}^X \phi_{jr}^A| \right]^2}{\sum_{r=1}^m (\phi_{jr}^X)^2 \sum_{r=1}^m (\phi_{jr}^A)^2}$$

Dabei ist

ϕ_{jr}^A der **Modenformkoeffizient** für DOF j für Mode r von Satz A ;

ϕ_{jr}^X der **Modenformkoeffizient** für DOF j für Mode r von Satz X ;

r der Index der korrelierten Modenpaare.

Modenformen X und A sind beispielsweise Versuchs- bzw. Analysemodenformen.

ANMERKUNG 2 **CoMAC** = 1 kennzeichnet eine perfekte Korrelation.

ANMERKUNG 3 Ergebnisse können nur als aussagekräftig gewertet werden, wenn das **CoMAC** auf zusammenpassende Moden, d. h. korrelierte Modenpaare, angewendet wird.

3.2.8

Dämpfung

Dissipation von Schwingungs- oder Vibrationsenergie durch Bewegung oder Zeit

3.2.9

gedämpfte Eigenfrequenz

Frequenz von **Eigenschwingungen** einer gedämpften linearen mechanischen Struktur

3.2.10

Eingangsresiduum

berechnete Größe, mit der die am besten geeigneten Erregerpositionen festgelegt werden

ANMERKUNG Die Größe des **Eingangsresiduums** für eine Stelle wird definiert als:

$$|r_{jr}| = \frac{v_{jr}^2}{2m_r \omega_{dr}}$$

Dabei ist

r_{jr} das **Eingangsresiduum** von DOF j für Mode r ;

v_{jr} der **Modenformkoeffizient** von DOF j für Mode r ;

m_r die modale Masse für Mode r ;

ω_{dr} die gedämpfte Eigenfrequenz für Mode r .

3.2.11

dynamische Nachgiebigkeit

Verhältnis des Spektrums der Ausgangsverschiebung zum Spektrum der Eingangskraft

ANMERKUNG 1 **Dynamische Nachgiebigkeit** wird wie folgt berechnet:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$$

Dabei ist

$X(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsverschiebung;

$F(\omega)$ das Spektrum der Eingangskraft.

ANMERKUNG 2 Die **dynamische Nachgiebigkeit** wird auch als dynamische Flexibilität bezeichnet, und ist die Umkehrung der **dynamischen Steifigkeit** (siehe 3.2.12).

3.2.12

dynamische Steifigkeit

Verhältnis des Spektrums der Eingangskraft zum Spektrum der Ausgangsverschiebung

ANMERKUNG 1 **Dynamische Steifigkeit** wird wie folgt berechnet:

$$K(\omega) = \frac{F(\omega)}{X(\omega)}$$

Dabei ist

$F(\omega)$ das Spektrum der Eingangskraft;

$X(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsverschiebung.

ANMERKUNG 2 Die **dynamische Steifigkeit** ist die Umkehrung der **dynamischen Nachgiebigkeit** (siehe 3.2.11).

3.2.13

effektive modale Masse

Maß für den Massenanteil, der mit der **Modenform** verbunden ist, in Bezug auf einen unterstützten Bezugspunkt.

ANMERKUNG 1 Die sechs effektiven Massen für eine Normalmode, $\{\phi\}_r$, sind die Diagonalwerte der modalen Massenmatrix.

$$[M]_r = \frac{\{L\}_r^T \{L\}_r}{m_r}$$

Dabei ist

$\{L\}_r$ der modale Beteiligungsfaktor:

$$\{L\}_r = \{\phi_{RB}\}^T [M] \{\phi\}_r ;$$

m_r die generalisierte Masse:

$$m_r = \{\phi\}_r^T [m] \{\phi\}_r ;$$

$\{\phi\}_r$ ist die elastische Mode r ;

$\{\phi_{PB}\}$ ist die Starrkörper-Mode.

ANMERKUNG 2 Die Summe der effektiven Massen stellt einen Hinweis bezüglich der Vollständigkeit der gemessenen Moden bereit, da die angesammelten effektiven Massen sämtlicher Moden der gesamten Strukturmasse und Trägheit für jeden der sechs translatorischen bzw. rotatorischen DOFs entsprechen.

3.2.14**Eigenfrequenz** (en: eigenfrequency)

siehe 3.2.36 Eigenfrequenz (en: natural frequency)

3.2.15**Finite Elemente Modell** (en: finite element model)**FEM**

mathematische Darstellung einer physikalischen Struktur oder eines Systems, in der die verteilten physikalischen Eigenschaften in einem diskreten Modell dargestellt werden und die aus einer finiten Anzahl von idealisierten Elementen besteht, die in einer finiten Anzahl von Knotenpunkten miteinander vernetzt sind

ANMERKUNG Das **FEM** enthält im Vergleich zur infiniten Anzahl von Freiheitsgraden der/des physikalischen Struktur/Systems, lediglich eine finite Anzahl an Freiheitsgraden.

3.2.16**erzwungene Schwingung**

Schwingungsbewegung eines Systems, die durch mechanische Anregung erzeugt wird

3.2.17**Eigenschwingung**

Schwingungsbewegung eines Systems ohne Beeinflussung

3.2.18**FRAC-Kriterium** (en: frequency response assurance criterion)

Maß für die Ähnlichkeit zwischen einer berechneten und einer durch Versuche ermittelten **Übertragungsfunktion**

ANMERKUNG 1 Das **FRAC-Kriterium** ist ein Hilfsmittel zur Korrelation von Freiheitsgraden. Es ist das **FRF**-Äquivalent zum **CoMAC** (siehe 3.2.7).

ANMERKUNG 2 Das **FRAC-Kriterium** wird definiert als:

$$FRAC(j, k) = \frac{\left| \left\{ {}_X H_{jk}(\omega) \right\}^T \left\{ {}_A H_{jk}(\omega) \right\} \right|^2}{\left(\left\{ {}_X H_{jk}(\omega) \right\}^T \left\{ {}_X H_{jk}(\omega) \right\} \right) \left(\left\{ {}_A H_{jk}(\omega) \right\}^T \left\{ {}_A H_{jk}(\omega) \right\} \right)}$$

Dabei ist

${}_A H_{jk}(\omega)$ die **analytische Übertragungsfunktion** eines Ansprechens bei DOF j aufgrund einer Anregung bei DOF k ;

${}_X H_{jk}(\omega)$ die dementsprechende, durch Versuche erhaltene **Übertragungsfunktion**.

ANMERKUNG 3 **FRAC** = 1 kennzeichnet eine perfekte Korrelation der zwei **Übertragungsfunktionen**.

ANMERKUNG 4 **FRAC** = 0 zeigt an, dass die zwei **Übertragungsfunktionen** nicht korrelieren.

3.2.19**Übertragungsfunktion** (en: frequency response function)**FRF**

Deskriptor eines **linearen Systems** im Frequenzbereich, der das Spektrum der Ausgangsbewegung (Verschiebung, Geschwindigkeit oder Beschleunigung) zum Spektrum der Eingangskraft in Beziehung setzt

ANMERKUNG 1 Die **Übertragungsfunktion** wird im Allgemeinen definiert als:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$$

ANMERKUNG 2 $H(\omega)$ ist eine komplexe Funktion, die Informationen zu Größe und Phase beinhaltet.

ANMERKUNG 3 Gebräuchliche Definitionen von Standard- und Umkehr-**FRFs**:

- Beschleunigungsfähigkeit oder Trägheit (siehe 3.2.1);
- scheinbare oder dynamische Masse;
- dynamische Nachgiebigkeit oder Flexibilität (siehe 3.2.11);
- dynamische Steifigkeit (siehe 3.2.12);
- **Impedanz** (siehe 3.2.22);
- **Beweglichkeit** (siehe 3.2.24).

3.2.20

Grundresonanz

erste aussagekräftige **Resonanz**, die während des modalen Prüfungstests beobachtet werden kann

ANMERKUNG 1 Bei ungezwungenen mechanischen Strukturen ist die **Grundresonanz** die niedrigste **Eigenfrequenz** der Bewegungen des gesamten Prüflings.

ANMERKUNG 2 Bei eingespannten mechanischen Strukturen ist die **Grundresonanz** die Mode mit der größten effektiven Masse.

3.2.21

Stoß

einzelne Kollision zwischen Massen, bei der mindestens eine der Massen in Bewegung ist

3.2.22

Impedanz

Verhältnis des Spektrums der Eingangskraft zum Spektrum der Ausgangsgeschwindigkeit

ANMERKUNG 1 **Impedanz** wird wie folgt berechnet:

$$Z(\omega) = \frac{F(\omega)}{\dot{X}(\omega)}$$

Dabei ist

$F(\omega)$ das Spektrum der Eingangskraft;

$\dot{X}(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsgeschwindigkeit.

ANMERKUNG 2 Die **Impedanz** ist die Umkehrung der **Beweglichkeit** (siehe 3.2.24).

3.2.23

lineares System

System, dessen Ansprechverhalten in jedem Systemteil direkt proportional zur Anregung ist

3.2.24

Beweglichkeit

Verhältnis des Spektrums der Ausgangsgeschwindigkeit zum Spektrum der Eingangskraft

ANMERKUNG 1 **Beweglichkeit** wird wie folgt berechnet:

$$Y(\omega) = \frac{\dot{X}(\omega)}{F(\omega)}$$

Dabei ist

$\dot{X}(\omega)$ das Spektrum der Ausgangsgeschwindigkeit;

$F(\omega)$ das Spektrum der Eingangskraft.

ANMERKUNG 2 Die **Beweglichkeit** ist die Umkehrung der **Impedanz** (siehe 3.2.22).

3.2.25**Modalanalyse**

Verfahren zur Ermittlung der **modalen Parameter** einer Struktur innerhalb des relevanten Frequenzbereichs

ANMERKUNG Zum relevanten Frequenzbereich, siehe 4.1.2.

3.2.26**MAC-Kriterium** (en: modal assurance criterion)

Gradmaß der Korrelation zwischen zwei **Modenformen**

ANMERKUNG 1 Das MAC wird definiert als:

$$MAC_{rs} = \frac{\left[\{\Phi\}_r^T \{\Phi\}_s \right]^2}{\left[\{\Phi\}_r^T \{\Phi\}_r \right] \left[\{\Phi\}_s^T \{\Phi\}_s \right]}$$

Dabei sind $\{\Phi\}_r$ und $\{\Phi\}_s$ die zwei **Modenformen**.

ANMERKUNG 2 **MAC** = 1 kennzeichnet eine perfekte Korrelation der beiden **Modenformen**.

ANMERKUNG 3 **MAC** = 0 zeigt an, dass die beiden **Modenformen** nicht korrelieren.

3.2.27**modale Aussagewahrscheinlichkeit** (en: modal confidence factor)**MCF**

Indikator für rechnerische **Rausch**-Moden in Kalkulationsmethoden für Parameter im Zeitbereich

ANMERKUNG 1 Die **modale Aussagewahrscheinlichkeit** für Mode_r wird angegeben als:

$$MCF_r = \frac{\{\Phi\}_r^T \{\tilde{\Phi}\}_r}{\{\Phi\}_r^T \{\Phi\}_r} e^{-\lambda_r \Delta \tau}$$

Dabei ist

- $\{\tilde{\Phi}\}_r$ eine errechnete Mode;
- λ_r ein komplexer Eigenwert oder Systempol für Mode r ;
- $\{\Phi\}_r$ eine massennormierte **Modenform**;
- $\lambda \Delta$ das Zeitintervall.

ANMERKUNG 2 $MCF_r \approx 1$ kennzeichnet eine physikalische Mode, in einem solchen Fall:

$$\{\tilde{\Phi}\}_r = \{\Phi\}_r e^{-\lambda_r \Delta \tau}$$

ANMERKUNG 3 $MCF_r \ll 1$ kennzeichnet eine rechnerische **Rausch**-Mode.

3.2.28**modale Identifikation**

Verfahren zur Bestimmung der struktureigenen modalen Eigenschaften eines mechanischen Systems

3.2.29**modale Parameter**

versammelte Parameter von Eigenfrequenz, modaler **Dämpfung**, **Modenform** und (generalisierter) modaler Masse für jede Mode einer mechanischen Struktur

ANMERKUNG 1 Die **modalen Parameter** aller Moden innerhalb des relevanten Frequenzbereichs (siehe 4.1.2) ergeben eine vollständige dynamische Beschreibung der Struktur.

ANMERKUNG 2 Gebräuchliche Definitionen in Bezug auf **modale Parameter**:

— gedämpfte Bewegungsgleichungen

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\}$$

— Trägheitskraft

$$[M]\{\ddot{x}(t)\}$$

— Federkraft

$$[K]\{x(t)\}$$

— **Dämpfungskraft** (proportional mit Geschwindigkeit)

$$[C]\{\dot{x}(t)\}$$

— äußere dynamische Kraft

$$\{f(t)\}$$

— ungedämpftes Eigenwertproblem

$$([K] - \omega_r^2 [M])\{\Psi\}_r = \{0\}$$

— Eigenfrequenz oder Resonanzfrequenz

$$\omega_r (\text{rad / s}), f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} (\text{Hz});$$

— allgemeine Modenform

$$\{\Psi\}_r$$

— (generalisierte) modale Masse

$$\{\Psi\}_r^T [M] \{\Psi\}_r = m_r$$

— (generalisierte) modale **Dämpfung**

$$\{\Psi\}_r^T [C] \{\Psi\}_r = 2m_r \xi_r \omega_r$$

— generalisierte Steifigkeit

$$\{\Psi\}_r^T [K] \{\Psi\}_r = m_r \omega_r^2$$

— massennormierte **Modenform**

$$\{\Phi\}_r$$

— massennormierte modale Masse

$$\{\Phi\}_r^T [M] \{\Phi\}_r = 1$$

— massennormierte modale **Dämpfung**

$$\{\Phi\}_r^T [C] \{\Phi\}_r = 2\xi_r \omega_r$$

— massennormierte modale Steifigkeit

$$\{\Phi\}_r^T [K] \{\Phi\}_r = \omega_r^2$$

— Modalmatrix

$$\{\Psi\}, \{\Phi\}$$

ANMERKUNG 3 Bei nichtproportionaler **Dämpfung** ist die generalisierte **Dämpfungsmatrix** keine Diagonalmatrix.

3.2.30**modaler Partizipationsfaktor**

Maß für die Effizienz der Anregung an jedem Freiheitsgrad der Stützstelle

ANMERKUNG 1 Der **modale Partizipationsfaktor** ist ein Maß für die Reaktionskraft am unterstützten Bezugspunkt.

ANMERKUNG 2 Siehe auch 3.2.13.

3.2.31**modaler Skalierungsfaktor** (en: modal scale factor)**MSF**

Differenz nach der Methode der kleinsten Quadrate von zwei **Modenformen**, bei der eine der Modenformen auf die andere aufgelegt und auf deren Länge skaliert wird

ANMERKUNG Der modale Skalierungsfaktor wird angegeben als

$$MSF_{rs} = \frac{\{\Phi\}_r^T [W] \{\Phi\}_s}{\{\Phi\}_s^T [W] \{\Phi\}_s}$$

Dabei gilt

$\{\Phi\}_r$ und $\{\Phi\}_s$ sind die beiden **Modenformen**;

$[W]$ ist eine Gewichtungsmatrix (in der Mehrzahl der Fälle die Einheitsmatrix).

3.2.32**modaler Prüfungstest** (en: modal survey test)**MST**

Test zur Identifizierung eines Satzes modaler Eigenschaften eines mechanischen Systems

3.2.33**Mode-Indikator-Funktion** (en: mode indicator function)**MIF**

Maß für die Phasenreinheit der gemessenen **Modenformen** durch Verwendung einer einfachen Referenz

ANMERKUNG 1 Die gebräuchlichsten Definitionen verschiedener Systeme der **modalen Analyse** sind:

$$\text{— Breitbach (1972): } MIF = 1 - \frac{\sum M_{jj} |x'_j| |x_j|}{\sum M_{jj} |x_j|^2}$$

$$\text{— Hunt (1984): } MIF = 1 - \frac{\sum M_{jj} |x'_j|^2}{\sum M_{jj} |x_j|^2}$$

Dabei ist x_j der komplexwertige Frequenzgang an der j -ten Strukturstelle:

$$x_j = x'_j + ix''_j, \quad |x_j| = \sqrt{x'^2_j + x''^2_j}$$

ANMERKUNG 2 **MIF** = 1 kennzeichnet eine perfekt angeregte **Modenform**.

ANMERKUNG 3 **MIF** << 1 bezeichnet entweder ausbleibende **Resonanzen** im Frequenzbereich oder unzulässig angeregte Moden.

ANMERKUNG 4 Die Gewichtung der Masse wird oft vernachlässigt.

ANMERKUNG 5 Die **MIF** ist ein Sonderfall der **MMIF** (siehe 3.2.35).

3.2.34

Modenform

charakteristische Bewegungsform einer elastischen Struktur, wenn sie in der ihr entsprechenden Eigenfrequenz schwingt

3.2.35

multivariate Mode-Indikator-Funktion (en: multi-variate mode indicator function)

MMIF

Maß für die Phasenreinheit der gemessenen **Modenformen** durch Verwendung eines mehrfachen Bezugs

ANMERKUNG 1 Die **MMIF** wird als frequenzabhängiges Eigenwertproblem angegeben:

$$\lambda([A] + [B])\{F(\omega)\} = [A]\{F(\omega)\}$$

Dabei ist

$$[A] = [H_R(\omega)]^T [M] [H_R(\omega)]$$

$$[B] = [H_I(\omega)]^T [M] [H_I(\omega)]$$

$H_R(\omega)$ ist der reelle Teil der **FRF**;

$H_I(\omega)$ ist der imaginäre Teil der **FRF**;

$\{F(\omega)\}$ ist der Eigenvektor der Kraft;

$[M]$ ist die Massenmatrix;

λ ist ein Eigenwert.

ANMERKUNG 2 Die **MMIF** umfasst die Eigenwerte, die sich aus der Lösung des Eigenwertproblems für jede Frequenz ω ergeben.

ANMERKUNG 3 **MMIF** = 0 kennzeichnet eine perfekt angeregte **Modenform**.

ANMERKUNG 4 **MMIF** >> 0 bezeichnet entweder ausbleibende **Resonanzen** im Frequenzbereich oder unzulässig angeregte Moden.

ANMERKUNG 5 Die **MMIF** bringt eine Reihe von Erregerkraftmustern hervor, durch die die realen Eigenmoden am besten angeregt werden können. Daher stellt sie eine einfache aber effektive Methode dar, die Eignung der ausgewählten Erregerstellen zu überprüfen.

3.2.36

Eigenfrequenz (en: natural frequency)

charakteristische Frequenz von Schwingungen eines linearen mechanischen Systems, wenn alle äußeren Anregungen entfernt oder vollständig gedämpft sind

ANMERKUNG 1 Diese Definition bezieht sich sowohl auf gedämpfte, als auch auf ungedämpfte Eigenfrequenzen.

ANMERKUNG 2 Die Eigenfrequenz (en: natural frequency) wird oft auch als Resonanzfrequenz oder Eigenfrequenz (en: eigenfrequency) bezeichnet (siehe 3.2.14).

3.2.37

Rauschen

Gesamtheit aller Quellen für Interferenzen in einem Messsystem, unabhängig von der Präsenz eines Signals

ANMERKUNG Beispiele: Mechanisches Hintergrund**rauschen**, Anregung durch die Umgebung, elektrisches **Rauschen** im Umformer, Daten**rauschen**, weißes **Rauschen** und Nichtlinearitäten.

3.2.38

Normalmodenform

Modenformen, bei denen sich alle Teile der Struktur entweder phasengleich oder um 180° phasenverschoben miteinander bewegen

ANMERKUNG 1 **Normalmodenformen** können als stehende Wellen mit feststehenden Knotenlinien betrachtet werden.

ANMERKUNG 2 Bei proportional gedämpften Systemen lassen sich die **Normalmodenformen** durch erneutes Skalieren aus den **komplexen Modenformen** ableiten.

3.2.39

Orthogonalitätsprüfung

Messung der mathematischen Orthogonalität und linearen Unabhängigkeit eines Satzes von **Modenformen** (analytisch oder gemessen) unter Verwendung der Massenmatrix des mathematischen Modells (**FEM** oder **TAM**) als Gewichtungsfaktor

ANMERKUNG 1 Folgende Definitionen sind für die **Orthogonalitätsprüfung** gebräuchlich:

- Auto-Orthogonalitätsprüfung (AOC) (en: auto orthogonality check)

Messung der mathematischen Orthogonalität der **Modenformen** Φ_r und Φ_s , die aus demselben Satz j von analytischen oder gemessenen **Modenformen** entnommen werden.

$$AOC_{rs} = \frac{\{\Phi\}_{r,j}^T [M] \{\Phi\}_{s,j}}{\sqrt{\{\Phi\}_{r,j}^T [M] \{\Phi\}_{r,j}} \sqrt{\{\Phi\}_{s,j}^T [M] \{\Phi\}_{s,j}}}$$

dabei ist $0 \leq AOC_{rs} \leq 1$.

- Orthogonalitäts-Kreuzprüfung (COC) (en: cross orthogonality check)

Messung der mathematischen Orthogonalität der **Modenformen** Φ_r und Φ_s , die aus zwei verschiedenen Sätzen von **Modenformen** (analytisch bzw. gemessen), j und k , entnommen werden.

$$COC_{rs} = \frac{\{\Phi\}_{r,j}^T [M] \{\Phi\}_{s,k}}{\sqrt{\{\Phi\}_{r,j}^T [M] \{\Phi\}_{r,j}} \sqrt{\{\Phi\}_{s,k}^T [M] \{\Phi\}_{s,k}}}$$

Dabei ist $0 \leq COC_{rs} \leq 1$.

ANMERKUNG 2 Der Orthogonalitätsgrad wird im Allgemeinen durch die Größe der abseits der Diagonalen liegenden Elemente AOC_{rs} und COC_{rs} der Orthogonalmatrizen $[AOC]$, bzw. $[COC]$, bemessen.

ANMERKUNG 3 Die **Auto-Orthogonalitätsprüfung** ist ein Indikator für die Genauigkeit der angenommenen Massenmatrix und der erhaltenen Daten. Idealerweise ist:

$$AOC_{rs} = \begin{cases} 1 & \text{für } r = s \\ 0 & \text{für } r \neq s \end{cases}$$

3.2.40

Aufnehmer

siehe **Umformer**

3.2.41

Versuchsanalyse

strukturanalytische Vorbereitung für den modalen Prüfungstest

ANMERKUNG Im Allgemeinen wird in der **Versuchsanalyse** das strukturelle mathematische Modell des Prüflings angewendet. Auch der Versuchsaufbau ist enthalten, sofern er die Resultate wesentlich beeinflusst.

3.2.42

reelle Modenform

Modalvektor eines proportional gedämpften Systems, bei dem alle Bestandteile der Struktur phasengleich schwingen

ANMERKUNG **Reelle Modenformen** können als stehende Wellen mit stationären Knotenlinien betrachtet werden.

3.2.43

Reziprozität

das strukturelle Ansprechverhalten an einer gegebenen Stelle aufgrund einer Eingabe an einer anderen Stelle gleicht dem Ansprechverhalten an der Eingabestelle aufgrund einer an der gegebenen Ansprechstelle vorgenommenen, identischen Eingabe

ANMERKUNG Bekannt als Maxwells **Reziprozitätsprinzip**:

$$\alpha_{pq} = \alpha_{qp}$$

3.2.44

Resonanz

größtmögliche Verstärkung des Ansprechverhaltens eines mechanischen Systems unter **erzwungenen Schwingungen**

3.2.45

Resonanzfrequenz

Frequenz eines mechanischen Systems, bei der jede Änderung der Anregungsfrequenz, einschließlich der geringsten, eine Abnahme des systemischen Ansprechverhaltens zur Folge hat

3.2.46

Ansprechverhalten

Abgabe einer Struktur an einer gegebenen Stelle aufgrund einer Eingabe an einer anderen Stelle

ANMERKUNG Bei modalen Versuchsanalysen wird das strukturelle **Ansprechverhalten** im Allgemeinen in Form von Beschleunigungen gemessen.

3.2.47

RVAC-Kriterium (en: response vector assurance criterion)

Maß für die Ähnlichkeit von analytischem und experimentellem **Ansprechvektor** bei einer bestimmten Frequenz

ANMERKUNG 1 Das **RVAC-Kriterium** ist ein Hilfsmittel zur Vektoren-Korrelation. Es ist das **FRF**-Äquivalent zum **MAC** (siehe 3.2.26).

ANMERKUNG 2 Das RVAC-Kriterium wird definiert als:

$$RVAC(\omega_r, k) = \frac{\left| \{X H_k(\omega_r)\}^T \{A H_k(\omega_r)\} \right|^2}{\left(\{X H_k(\omega_r)\}^T \{X H_k(\omega_r)\} \right) \left(\{A H_k(\omega_r)\}^T \{A H_k(\omega_r)\} \right)}$$

Dabei ist

$A H_k(\omega_r)$ der analytische Vektor, der nur die **FRF**-Werte an allen **Ansprechstellen** aufgrund einer Anregung an DOF k für eine bestimmte Frequenz ω_r enthält;

$X H_k(\omega_r)$ der entsprechende experimentelle **Ansprechvektor**.

ANMERKUNG 2 **RVAC** = 1 kennzeichnet eine perfekte Korrelation der beiden **Ansprechvektoren**.

ANMERKUNG 3 **RVAC** = 0 zeigt an, dass die beiden **Ansprechvektoren** nicht korrelieren.

3.2.48

Signalanalyse

Verfahren zur Evaluation der Eingangs- und Ausgangssignale mechanischer Systeme mit dem Ziel, deren Merkmale in aussagekräftigen und einfach zu interpretierenden Begriffen des Zeit- oder Frequenzbereichs zu beschreiben

3.2.49

Signal-Rausch-Verhältnis

Verhältnis der Stärke des gewünschten Signals zur Stärke des koexistierenden **Rauschens** an einem festgelegten Punkt in einem Übertragungskanal unter festgelegten Bedingungen

ANMERKUNG 1 Das **Signal-Rausch-Verhältnis** ist ein Maß für die Signalqualität.

ANMERKUNG 2 Im Allgemeinen angegeben als Verhältnis der Spannung eines gewünschten Signals zum unerwünschten **Rauschanteil**, der in entsprechenden Einheiten gemessen wird.

3.2.50

Signalaufbereiter

Verstärker, der zwischen **Umformer** oder **Aufnehmer** und nachfolgenden Geräten platziert wird, um das Signal in eine für diese Geräte geeignete Form zu bringen

ANMERKUNG Zu nachfolgenden Geräte gehören z. B. Verstärker, Sender oder Anzeigeinstrumente.

3.2.51

Spektrumslenkung

Fähigkeit, die Anregung auf den relevanten Frequenzbereich begrenzt zu halten

ANMERKUNG Zum relevanten Frequenzbereich siehe 4.1.2.

3.2.52

stationäre Schwingung

Schwingung, bei der Amplitude und Frequenz über die gesamte Schwingungsdauer konstant bleiben

3.2.53

Versuchsanalyse-Modell (en: test analysis model)

TAM

Finite Elemente Modell des Versuchsaufbaus hinsichtlich Steifigkeit und Massenmatrix; zu Versuchszwecken auf Freiheitsgrade von Anregung und Abmessung reduziert

ANMERKUNG Der Versuchsaufbau kann auch die Prüfvorrichtung beinhalten.

3.2.54

Prüfgeräte

Geräte zur Unterstützung der Versuchsdurchführung

ANMERKUNG Beispiel: Prüfadapter.

3.2.55

Versuchsaufbau

Zusammenstellung von Prüfling, **Prüfgeräten** und Prüfinstrumenten

3.2.56

Umformer

Vorrichtung, mit der eine mechanische Größe in ein elektrisches Signal umgewandelt wird

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen sind diese mechanischen Größen z. B. Kraft und Beschleunigung.

ANMERKUNG 2 Der Umformer wird oft auch als Aufnehmer bezeichnet.

3.2.57

Umformerempfindlichkeit

Verhältnis zwischen dem elektrischen Signal (Ausgang) und der mechanischen Größe (Eingang) eines **Umformers** oder **Aufnehmers**, der mechanische Größen in elektrische Signale umwandelt

ANMERKUNG Die **Umformerempfindlichkeit** wird z. B. in (mV)/(m/s²) angegeben.

3.2.58

Transienten

zeitlich begrenzter Wechsel zwischen stationären Zuständen

ANMERKUNG Im Allgemeinen liegen der erste und der letzte stationäre Zustand bei null.

3.2.59

Schwingungsübertragung

relative Schwingungspegel derselben mechanischen Größe an zwei Stellen bezüglich dieser Größe im Frequenzbereich

ANMERKUNG Die Schwingungsübertragung erreicht ihren Höchstwert bei der Resonanzfrequenz.

3.3 Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Abkürzungen nach ECSS-S-ST-00-01 und die Folgenden.

Abkürzung	Bedeutung
-----------	-----------

AOC	Auto-Orthogonalitätsprüfung (en: auto orthogonality check)
ARMA	autoregressiver gleitender Durchschnitt (en: auto-regressive moving average)
CMIF	Indikatorfunktion bei komplexen Moden (en: complex mode indicator function)
COC	Orthogonalitäts-Kreuzprüfung (en: cross orthogonality check)
COG	Schwerkraftzentrum (en: centre of gravity)
CoMAC	CoMAC-Kriterium (en: coordinate modal assurance criterion)
DAS	Datenerfassungssystem (en: data acquisition system)
DOF	Freiheitsgrad (en: degree of freedom)

EI	effektive Unabhängigkeit (en: effective independence)
FEA	Finite Elemente Analyse (en: finite element analysis)
FEM	Finite Elemente Modell (en: finite element model)
FRAC	FRAC-Kriterium (en: frequency response assurance criterion)
FRF	Übertragungsfunktion (en: frequency response function)
H/W	Geräte (en: hardware)
IRS	verbessertes Reduktionssystem (en: improved reduction system)
KE	kinetische Energie (en: kinetic energy)
MAC	MAC-Kriterium (en: modal assurance criterion)
MCF	modale Aussagewahrscheinlichkeit (en: modal confidence factor)
MDOF	Mehrfreiheitsgrad (en: multiple degree of freedom)
MIF	Mode-Indikator-Funktion (en: mode indicator function)
MMIF	mehrdimensionale Mode-Indikator-Funktion (en: multi-variate MIF)
MIMO	Mehrgrößensystem (en: multiple input – multiple output system)
MST	modaler Prüfungstest (en: modal survey test)
MPP	Messstellen-Plan (en: measurement point plan)
POC	Pseudo-Orthogonalitätsprüfung (en: pseudo orthogonality check)
PDR	Eingangsresiduum (en: point drive residue)
RMS	quadratisches Mittel (en: root mean square)
RVAC	RVAC-Kriterium (en: response vector assurance criterion)
SDOF	einzelner Freiheitsgrad (en: single degree of freedom)
SEREP	SEREP-Reduktion (en: system equivalent reduction expansion process)
SISO	Eingrößensystem (en: single input – single output system)
S/W	Software (en: software)
TA	Prüfling (en: test article)
TAM	Versuchsanalysemodell (en: test analysis model)
TBD	(noch) zu definieren (en: to be defined)
TF	Prüfvorrichtung (en: test fixture)

3.4 Schreibweise

In dieser Norm wird in Übereinstimmung mit Ewins, 2000 (siehe Anhang D), die folgende Schreibweise verwendet:

— Matrizen, Vektoren und Skalare

$[\]$	Matrix
$\{ \}$	Vektor
$[]^T, \{ \}^T$	transponierte Matrix, transponierter Vektor
$ $	Modul einer komplexen Zahl

— räumliche Eigenschaften

$[C]$	viskose Dämpfungsmatrix
$[D]$	strukturelle Dämpfungsmatrix
$\{f(t)\}$	Kraftvektor (Zeitbereich)
$\{F(\omega)\}$	Kraftvektor (Frequenzbereich)
$h(t)$	Impulsantwortfunktion (IRF)
$H(\omega)$	Übertragungsfunktion (FRF)
$G(\omega)$	geschätzte Übertragungsfunktion
$[K]$	Steifigkeitsmatrix
M_{jj}	Masse, verbunden mit DOF j
$[M]$	Massenmatrix
$S(\omega)$	Kohärenzfunktion
$\{x(t)\}$	Verschiebungsvektor
$\left\{ \dot{x}(\omega) \right\}$	Geschwindigkeitsvektor
$\left\{ \ddot{x}(t) \right\}$	Beschleunigungsvektor
$\{X(\omega)\}$	Verschiebungsvektor (Frequenzbereich)
$\left\{ \dot{X}(\omega) \right\}$	Geschwindigkeitsvektor (Frequenzbereich)
$\left\{ \ddot{X}(t) \right\}$	Beschleunigungsvektor (Frequenzbereich)
x_j	komplexwertige Antwort von DOF j
x'_j	reeller Teil von x_j
x''_j	imaginärer Teil x_j
Δt	Zeitschrittlänge

— modale Eigenschaften

ω_r	Eigenfrequenz der r -ten Mode (rad/s)
λ_r	Eigenwert der r -ten Mode
$\{\Psi\}_r$	r -te Modenform oder Eigenvektor
$\{\Phi\}_r$	r -te normierte Modenform oder Eigenvektor (entweder normiert auf Masse oder Höchstverschiebung)
$\{\Phi_{PB}\}$	Starrkörper-Mode
ξ_r	modale viskose Dämpfung (Dämpfungsgrad) der r -ten Mode
m_r	(generalisierte) modale Masse der r -ten Mode
$m_{r,j}^E$	effektive modale Masse der r -ten Mode ($j = 1, \dots, 6$)
$m_{r,j}^P$	modaler Partizipationsfaktor der r -ten Mode ($j = 1, \dots, 6$)
$[m]$	(generalisierte) modale Massenmatrix
$[c]$	(generalisierte) modale viskose Dämpfungsmatrix
$[d]$	(generalisierte) modale Strukturdämpfungsmatrix
$[k]$	(generalisierte) modale Steifigkeitsmatrix

— Leerseite —

English version

Space engineering - Modal survey assessment

Ingénierie spatiale - Evaluation des modes vibratoires

Raumfahrttechnik - Modale Prüfungsbewertung

This European Standard was approved by CEN on 23 February 2014.

CEN and 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 CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN and CENELEC member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN and CENELEC member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN and CENELEC members are the national standards bodies and national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.



**CEN-CENELEC Management Centre:
Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels**

Table of contents

Foreword	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviated terms.....	8
3.1 Terms from other standards.....	8
3.2 Terms specific to the present standard	8
3.3 Abbreviated terms.....	22
3.4 Notation	23
4 General objectives and requirements.....	25
4.1 Modal survey test objectives	25
4.1.1 Overview	25
4.1.2 General	25
4.1.3 Verification of design frequency	25
4.1.4 Mathematical model validation	26
4.1.5 Troubleshooting vibration problems	26
4.1.6 Verification of design modifications	26
4.1.7 Failure detection	27
4.2 Modal survey test general requirements	27
4.2.1 Test set-up.....	27
4.2.2 Boundary conditions.....	28
4.2.3 Environmental conditions	28
4.2.4 Test facility certification	28
4.2.5 Safety.....	29
4.2.6 Test success criteria	29
5 Modal survey test procedures.....	31
5.1 General.....	31
5.2 Test planning	31
5.2.1 Test planning	31
5.2.2 Pre-test activities.....	33

5.2.3	Test activities	33
5.2.4	Post-test activities	34
5.3	Test set-up	34
5.3.1	Definition of the test set-up.....	34
5.3.2	Test boundary conditions	34
5.3.3	Test instrumentation.....	36
5.3.4	Excitation plan.....	37
5.3.5	Test hardware and software.....	38
5.4	Test performance.....	38
5.4.1	Test.....	38
5.4.2	Excitation system	38
5.4.3	Excitation signal	39
5.4.4	Linearity and structural integrity.....	40
5.4.5	Measurement errors.....	40
5.5	Modal identification methods	41
5.6	Modal parameter estimation methods.....	42
5.7	Test data	42
5.7.1	Quality checks.....	42
5.7.2	Generalized parameters.....	44
5.7.3	Effective masses.....	44
5.7.4	Data storage and delivery	45
5.8	Test-analysis correlation	46
5.8.1	Purpose	46
5.8.2	Criteria for mathematical model quality	47
6	Pre-test analysis	49
6.1	Purpose	49
6.2	Modal survey test FEM	49
6.2.1	Purpose	49
6.2.2	Reduction of the detailed FEM	50
6.3	Test analysis model (TAM)	52
6.3.1	Purpose	52
6.3.2	TAM accuracy.....	53
6.3.3	Measurement point plan (MPP).....	53
6.3.4	Test predictions.....	54
6.3.5	Test fixture participation	54
6.4	Documentation	55
6.4.1	FEM documentation	55

6.4.2	TAM documentation	55
Annex A	(informative) Excitation signals	57
A.1	Overview	57
A.2	Purpose and classification	57
A.3	Excitation methods	58
Annex B	(informative) Estimation methods for modal parameters	61
B.1	Overview	61
B.2	Theoretical background and overview	61
B.3	Frequency domain methods	67
B.4	Time domain methods	71
Annex C	(informative) Modal test - mathematical model verification checklist	74
Annex D	(informative) References	76
Bibliography		77
 Figures		
Figure 5-1:	Test planning activities	32
Figure 5-2:	Comparison of mode indicator functions (MIF) according to Breitbach and Hunt	43
Figure 6-1:	Modal survey pre-test analysis activities	50
 Tables		
Table 5-1:	Test objectives and associated requirements for the test boundary conditions	35
Table 5-2:	Most commonly used correlation techniques	46
Table 5-3:	Test-analysis correlation quality criteria	48
Table 5-4:	Reduced mathematical model quality criteria	48
Table 6-1:	Advantages and disadvantages of model reduction techniques	52
Table B-1 :	Overview and classification of commonly used modal parameter estimation methods	64
Table B-2 :	Advantages and disadvantages of the time and frequency domain methods	65
Table B-3 :	Advantages and disadvantages of single and multiple degree of freedom methods	66
Table B-4 :	Other aspects of selecting a modal parameter estimation method	67
Table C-1 :	Verification checklist for mathematical models supporting modal survey tests	75

Foreword

This document (EN 16603-32-11:2014) has been prepared by Technical Committee CEN/CLC/TC 5 "Space", the secretariat of which is held by DIN.

This standard (EN 16603-32-11:2014) originates from ECSS-E-ST-32-11C.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by February 2015, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by February 2015.

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

This document has been developed to cover specifically space systems and has therefore precedence over any EN covering the same scope but with a wider domain of applicability (e.g. : aerospace).

According to the CEN-CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and the United Kingdom.

1

Scope

This Standard specifies the basic requirements to be imposed on the performance and assessment of modal survey tests in space programmes. It defines the terminology for the activities involved and includes provisions for the requirement implementation.

This Standard specifies the tasks to be performed when preparing, executing and evaluating a modal survey test, in order to ensure that the objectives of the test are satisfied and valid data is obtained to identify the dynamic characteristics of the test article.

This standard may be tailored for the specific characteristics and constraints of a space project in conformance with ECSS-S-ST-00.

2

Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this ECSS Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revision of any of these publications, do not apply. However, parties to agreements based on this ECSS Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the more recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies.

EN reference	Reference in text	Title
EN 16601-00-01	ECSS-S-ST-00-01	ECSS system — Glossary of terms
EN 16603-10-03	ECSS-E-ST-10-03	Space engineering — Testing
EN 16603-32	ECSS-E-ST-32	Space engineering — Structural general requirements

Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms from other standards

For the purpose of this Standard, the terms and definitions from ECSS-S-ST-00-01 apply.

3.2 Terms specific to the present standard

3.2.1 **accelerance**

ratio of the output acceleration spectrum to the input force spectrum

NOTE 1 **Accelerance** is computed as follows:

$$A(\omega) = \frac{\ddot{X}(\omega)}{F(\omega)}$$

where

$\ddot{X}(\omega)$ is the output acceleration spectrum;

$F(\omega)$ is the input force spectrum.

NOTE 2 The **accelerance** is also called “inertance” and it is the inverse of the **apparent mass** (see 3.2.2).

3.2.2 **apparent mass**

ratio of the input force spectrum to the output acceleration spectrum

NOTE 1 **Apparent mass** is computed as follows:

$$M(\omega) = \frac{F(\omega)}{\ddot{X}(\omega)}$$

where

$F(\omega)$ is the input force spectrum;

$\ddot{X}(\omega)$ is the output acceleration spectrum.

NOTE 2 The **apparent mass** is also called “dynamic mass”, and it is the inverse of the **accelerance** (see 3.2.1).

3.2.3 auto modal assurance criterion AutoMAC

measure of the degree of correlation between two **mode shapes** of the same **mode shape** set

- NOTE 1 For example, test **mode shapes** or analysis **mode shapes**.
- NOTE 2 The **AutoMAC** is a specific case of the **MAC** (see 3.2.26); the **AutoMAC** matrix is symmetric.
- NOTE 3 The **AutoMAC** is particularly useful for assessing whether a given selection of DOFs is adequate for **MAC** evaluations employing two different sets of **mode shapes** (e.g. test and analysis).

3.2.4 coherence function

measure of the degree of linear, noise-free relationship between the measured system input and output signals at each frequency

- NOTE 1 The **coherence function** is defined as

$$\gamma^2(\omega) = \frac{|S_{xf}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega) S_{ff}(\omega)}$$

where

ω is the frequency;

$S_{ff}(\omega)$ is the power spectrum of the input signal;

$S_{xx}(\omega)$ is the power spectrum of the output signal;

$S_{xf}(\omega)$ is the input-output cross spectrum.

- NOTE 2 $\gamma^2(\omega)=1$ indicates a linear, noise-free relationship between input and output.
- NOTE 3 $\gamma^2(\omega)=0$ indicates a non causal relationship between input and output.

3.2.5 complex mode shape

modal vector of a non-proportionally damped system

- NOTE 1 For **complex mode shapes**, any phase relationship can exist between different parts of the structure.
- NOTE 2 **Complex mode shapes** can be considered to be propagating waves with no stationary node lines.

3.2.6 complex mode indicator function

indicator of the existence of real or complex modes and their relative magnitudes

- NOTE The **complex mode indicator function** has extended functionality to estimate approximate **modal parameters**.

3.2.7 co-ordinate modal assurance criterion CoMAC

measure of the correlation of the a given DOF of two different sets of **mode shapes** over a number of comparable-paired **mode shapes**

NOTE 1 The coordinate **modal assurance criterion** for DOF j is defined as:

$$CoMAC(j) = \frac{\left[\sum_{r=1}^m |\Phi_{jr}^X \Phi_{jr}^A| \right]^2}{\sum_{r=1}^m (\Phi_{jr}^X)^2 \sum_{r=1}^m (\Phi_{jr}^A)^2}$$

where

Φ_{jr}^A is the **mode shape** coefficient for DOF j for mode r of set A ;

Φ_{jr}^X is the **mode shape** coefficient for DOF j for mode r of set X ;

r is the index of the correlated mode pairs.

For example, **mode shapes** X and A are test and analysis **mode shapes**, respectively.

NOTE 2 **CoMAC** = 1 indicates perfect correlation.

NOTE 3 The results can be considered to be meaningful only when the **CoMAC** is applied to matched modes, i.e. for correlated mode pairs.

3.2.8 damping

dissipation of oscillatory or vibratory energy with motion or with time

3.2.9 damped natural frequency

frequency of **free vibrations** of a damped linear mechanical system

3.2.10 driving point residue

calculated quantity that defines the most appropriate exciter positions

NOTE The magnitude of the **driving point residue** for a location is defined as:

$$|r_{jr}| = \frac{v_{jr}^2}{2m_r \omega_{dr}}$$

where

r_{jr} is the **driving point residue** of DOF j for mode r ;

v_{jr} is the **mode shape** coefficient of DOF j for mode r ;

m_r is the modal mass for mode r ;

ω_{dr} is the damped natural frequency for mode r .