

292 | Mai 1973

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Sigismund Kastner

**Kenterversuche in der Eckernförder
Bucht im Jahre 1968**

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Kenterversuche in der Eckernförder Bucht im Jahre 1968

Sigismund Kastner, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1973

© Technische Universität Hamburg-Harburg

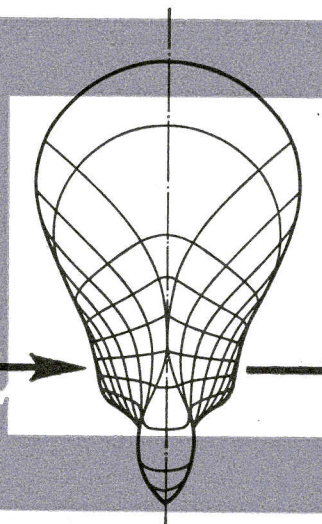
Schriftenreihe Schiffbau

Schwarzenbergstraße 95c

D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU
DER UNIVERSITÄT HAMBURG



Kenterversuche in der Eckernförder Bucht
im Jahre 1968

Sigismund Kastner

Mai 1973

Bericht Nr.292

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

Bericht Nr. 292

Kenterversuche
in der Eckernförder Bucht
im Jahre 1968

Abschlußbericht
an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Az.: We 112/68

Thema: Der Einfluß der Rolldämpfung
auf die Kentersicherheit von Schiffen

von

Sigismund Kastner

Hamburg, Mai 1973

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Anhänge	i
Verzeichnis der Bilder	ii
Verzeichnis der Tafeln	iv
1. Messungen	1
1.1 Allgemeine Übersicht über das Vorhaben	1
1.2 Durchgeführte Arbeiten	2
1.3 Eichwerte des Modells und der Meßwertaufnehmer	3
1.4 Filmaufnahmen	6
2. Auswertung der Meßdaten	6
2.1 Digitalisierung	6
2.2 Statistische Analyse und Amplituden- häufigkeit	9
3. Eingabedaten für Vergleichsrechnungen	13
3.1 Länge und Steilheit der Wellen	13
3.2 Passierfrequenz der Wellen	14
3.3 Hebel des aufrichtenden Momentes	18
3.4 Berechnung des Spektrums der aufrich- tenden Hebel	21
3.5 Dynamische Kennwerte des Modells	24
4. Rechenergebnisse und Vergleich	24
5. Schrifttum	27

Verzeichnis der Anhänge

- A Messung der Modellwerte im Tank
 bei glattem Wasser

- B Anpassung und Eichung der Meßwertaufnehmer

- C Spektralanalyse mit Rechenproben

- D Graphische Darstellung der gemessenen Spektren
 und Häufigkeitsverteilungen

- E Kenterrechnungen (TRAFO und KENTERN)

- F Meßwerte über der Zeit graphisch dargestellt

Am Schluß des Berichtes werden einige Beispielblätter aus den Anhängen beigefügt.

Die vollständige Zusammenstellung der Anhänge kann in der Bücherei des Instituts für Schiffbau eingesehen und entliehen werden.

Verzeichnis der Bilder

Nr.

- 1 Skizze des Versuchsgewässers Eckernförder Bucht
- 2 Modellform nach Series 60 No. 4212 W
- 3 Krängungsversuchsergebnisse bei verschiedenen Höhenlagen des Verschiebegewichtes
- 4 Aufrichtende Hebel in Glattwasser
- 5 Fahrtgeschwindigkeit des Modells
- 6 Rolleigenperiode in Glattwasser
- 7 Beispiel für Dämpfungsmaß D über der Rollamplitude, ungeglättet
- 8 Auftragung der Amplitudendifferenz über der mittleren Amplitude beim Ausschwingversuch
- 9 Eichfaktoren der Meßwertaufnehmer und Schleifenanordnung im Oszillographen
- 10 Amplituden der Ausschwingkurve für Modell ohne Schlingerkieler:
10 a : für Gewichtsstellung G 6 ($\overline{GM}_{GW} = 32 \text{ cm}$)
10 b : " " G 7 ($\overline{GM}_{GW} = 26 \text{ cm}$)
10 c : " " G 10 ($\overline{GM}_{GW} = 8 \text{ cm}$)
- 11 Amplituden der Ausschwingkurve für Modell mit Schlingerkielen, logarithmische Auftragung, für verschiedene \overline{GM}_{GW}

Nr.

- | | | |
|----|-----------|---|
| 12 | a, b, c : | Ausschwingkurven für fahrendes Modell
mit Anfangskrägung |
| 13 | 2.05 | |
| 14 | 2.06 | Vergleich der berechneten
und gemessenen Spektren |
| 15 | 2.17 | |
| 16 | 2.18 | |

Verzeichnis der Tafeln

Nr.

- I Hauptdaten des Schiffmodells
- II Aufrichtende Hebel in Glattwasser und
regelmäßiger Welle für verschiedene \overline{KG}
- III Versuchsprotokoll Eckernförde 1968
- IV Übersicht über die Bezeichnungen zur Dämpfung
- V Messung der Fahrtgeschwindigkeit des Modells
- VI Protokoll der Filmaufnahmen
- VII Mittlere Dämpfungsmaße und Trägheitsradien
für Modell ohne Fahrt in Glattwasser
- VIII Übersicht über Vergleichsfälle in achterlicher See

1. Messungen

1.1 Allgemeine Übersicht über das Vorhaben

Gegenstand dieses Berichtes ist ein umfangreiches Forschungsvorhaben zur experimentellen Untersuchung des Kenterns von Schiffen in unregelmäßigem Seegang, und zwar im besonderen Hinblick auf den Einfluß der Rolldämpfung.

Die Arbeiten wurden vorbereitet im Vorhaben We 112/38, der Meßaufbau im wesentlichen abgeschlossen im Vorhaben We 112/44 und die Messungen durchgeführt im Rahmen der Verlängerung We 112/53.

Im November 1966 ist ein erster Zwischenbericht [1] gegeben worden, der hauptsächlich den Bau und die Funktionsweise des freifahrenden Schiffsmodells beschreibt.

Das Modell wurde gebaut nach den Linien der Series 60 No 4212 W [2]. Es ist freifahrend und ferngesteuert ausgelegt, zwischen den Loten 2,80 m lang und wiegt voll ausgerüstet 125 kp.

Die Messungen selbst wurden im Herbst 1968 in der Eckernförder Bucht durchgeführt. Die Erprobungsstelle 71 der Bundeswehr stellte dort Liegeplatz und Arbeitsraum für diese Meßaufgabe kostenlos zur Verfügung.

Für ihre großzügige Unterstützung sei besonders den Herren Leitender Regierungsdirektor Thomsen und Oberregierungsrat Wegner sowie allen beteiligten Mitarbeitern der Erprobungsstelle gedankt.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft bewilligte die erforderlichen Reisemittel unter We 112/66. In einem Anschlußvorhaben DFG We 112/68 wurden schließlich Mittel zur Auswertung der Meßergebnisse zur Verfügung gestellt.

1.2 Durchgeführte Arbeiten

Bild 1 zeigt eine Karte des Versuchsgebietes in der Eckernförder Bucht. Je nach Windrichtung sind hier im inneren Teil der Bucht ca. 2 bis 4 km Windbahnlänge gegeben. Bei Winden um NO laufen jedoch die Wellen aus dem freien Meer auf, die dann kaum noch Messungen ermöglichen. Vor allem bei den im November einsetzenden Herbststürmen ergibt der Seegang keine Modellähnlichkeit mehr, auch sind bei so starker See diese Versuche technisch nicht mehr durchführbar. Für die häufig auftretenden westlichen Winde sind die Versuchsbedingungen dagegen ideal, desgleichen für Winde aus S und SO.

Tafel 3 enthält eine Übersicht über die gefahrenen Versuche mit den wichtigsten Protokollnotizen.

Es wurde mit zwei verschiedenen Höhenlagen des Gewichtschwerpunktes gefahren, die der Stellung 7 bzw. 10 der Verschiebegerichte im Modellinneren entsprechen:

$$G \ 7 \quad = \quad \overline{GM}_{GW} \quad = \quad 26 \text{ cm}$$

$$G \ 10 \quad = \quad \overline{GM}_{GW} \quad = \quad 8 \text{ cm}$$

Bild 4 enthält die zugehörigen Hebelkurven des aufrichtenden Momentes für Glattwasser (mit $\overline{GM}_{GW} = 25 \text{ cm}$ bzw. $\overline{GM}_{GW} = 10 \text{ cm}$) gezeichnet.

Alle Versuche wurden mit Vorkrägung gefahren, d.h. es wurde durch seitliche Gewichtsverschiebung (Akkumulatorgewichte am Deckelinneren) ein Krängungswinkel im Glattwassertank eingestellt. Er betrug jeweils 5,10 oder 15° nach Backbord.

1.3. Eichwerte des Modells und der Meßwertaufnehmer

a) Modell

Anlage A enthält eine Übersicht der angewandten Methoden zur Bestimmung der Modellkennwerte.

Die Schwimmelage des Modells in glattem Wasser wurde in einem wettergeschützten Raum (Halle) in einem kleinen Wassertrog auf die erforderlichen Werte justiert. Durch Ablesung an den vorderen und hinteren Ahmings wurde der gleichlastige Trimm kontrolliert. Die Vorkrängung wurde durch Ablesen der Backbord- und Steuerbordahming am Hauptspant ermittelt.

Ebenfalls im Wassertrog wurde der Krängungsversuch am Modell durchgeführt, Meßprinzip in Anlage A, die auch das Meßprotokoll enthält. Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde der Krängungsversuch für verschiedene Höhenlagen des eingebauten Verschiebegewichtes durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Bild 3 aufgetragen.

Die Rolldämpfung für zwei Versuchszustände - mit und ohne Schlingerkieler - wurden im geschützten und ruhigen Hafenbecken in Eckernförde durch Ausschwingversuche ermittelt.

Bei der Größe des Hafenbeckens sind keine Wandeinflüsse mehr zu erwarten. Zusätzlich sind vor der Abreise nach Eckernförde im großen Becken der HSVA in Hamburg Ausschwingversuche durchgeführt worden. Durch erforderliche kleine Umbauten am Modell ist der tatsächliche Versuchszustand geringfügig verschieden von dem Meßzustand in Hamburg, siehe hierzu auch die Ergebnisse des Krängungsversuches in Bild 3.

Zur Erfassung der nichtlinearen Anteile der Dämpfung bei größeren Rollamplituden wurde das Modell aus möglichst großen Neigungen heraus zum Ausschwingen freigegeben. Dabei ließen sich größere Anfangswinkel von mehr als 30° nicht realisieren, da das Modell dann kenterte.

Die Bilder 10 a, b, c und 11 enthalten die Auftragung der Einhüllenden der Ausschwingkurve für einige Versuchsfälle über der Zeit zur Veranschaulichung. In logarithmischer Auftragung (Bild 10 und 11) ergibt sich bei linearer Dämpfung eine Gerade:

$$D = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{\varphi_n}{\varphi_{n+1}}$$

Es ist zu erkennen, daß bei großen Winkeln eine stark überproportionale Dämpfung auftritt, und zwar schon ab 3 bis 4° Rollamplitude. Tafel VII enthält die mittleren linearen Dämpfungsmaße aus der Auswertung der Ausschwingversuche.

Der Anbau von Schlingerkielen beim Modell erhöht hier die Dämpfung auf etwa das Doppelte.

Der Trägheitsradius i_{yy} ergibt sich aus der gemessenen Rollperiode, graphisch dargestellt in Bild 6, zu:

$$i_{yy}, m = \frac{T_0}{2\pi} \sqrt{g \cdot GM_{GW}}$$

Werte siehe Tafel VII.

Bei der Anordnung der Einbauten im Modell wurde auf einen möglichst kleinen Trägheitsradius geachtet. Die Gewichtsverschiebung innerhalb des Modells zur \overline{KG} -Änderung erfolgte auf einer Kreisbahn, um die Änderung des Trägheitsradius möglichst gering zu halten. Allerdings erhöhen die Schlingerkielen den Trägheitsradius beträchtlich.

Der größere Wert für das Modell mit Schlingerkielen liegt in einem Bereich, der bei großen Schiffen häufiger anzutreffen ist, dagegen sind die Werte für das Modell ohne Schlingerkielen etwas niedrig (0.31 bis 0.34 gegenüber 0.27 bis 0.31). $\hat{i}_{pp}/B =$

Um über die Abhängigkeit der Rolldämpfung von der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes Aufschluß zu erhalten, wurden Ausschwingversuche bei fahrendem Modell im geschützten Hafenbecken von Eckernförde durchgeführt. Der Anfangswinkel wurde durch ein Gewicht an Seite Deck des Modells erzeugt. Hatte das Modell Fahrt aufgenommen, wurde das Krängungsgewicht vom Begleitboot aus mit einer Leine weggerissen, so daß das Modell frei ausschlagen konnte.

Bild 12 a, b, c enthält eine Zusammenstellung der Rollschriebe. Eine grobe Abschätzung zeigt, daß diese Meßwerte keine signifikanten Unterschiede in der Dämpfung ermitteln lassen. Auf eine Auswertung wird daher verzichtet.

Während der Versuche wurden folgende Werte gemessen:

Scheinlotwinkel	$\varphi - \vartheta$	(virtual roll)
Winkelbeschleunigung	$\ddot{\varphi}$	(angular roll acceleration)
Rollwinkel	φ gegen Horizont	(roll with gyro)
Stampfwinkel	ψ gegen Horizont	(pitch with gyro)

Parallel wurden Kurs- und Ruderwinkel gemessen.

Diese Werte wurden mit einem Lichtstrahloszillographen im Modell aufgezeichnet. Vorherige Eichungen wurden z.T. mit einem X-Y-Schreiber durchgeführt.

Anlage B enthält Unterlagen für die elektrische Anpassung der Aufnehmer und die Eichung. Bild 9 gibt eine Übersicht der Schleifenbelegung und der Anordnung der Meßspuren auf dem Oszillographenpapier. Hier sind auch die für die Auswertung zu verwendenden Maßstäbe zusammengefaßt.

1.4 Filmaufnahmen

Die Versuchsfahrten wurden mit einer 16 mm-Filmkamera vom Begleitboot aus gefilmt. Das Filmen gestaltete sich z.T. sehr schwierig, da als Begleitboot ein relativ kleines Boot von 4 m Länge verwendet wurde, das im Seegang starke Bewegungen machte.

Aus dem Versuchsprotokoll in Tafel III sind die zum Film gehörigen Übersichtsdaten noch einmal gesondert herausgezogen und in Tafel VI zusammengestellt. Aus diesem Filmmaterial ist ein kurzer Ausschnitt als Vorführfilm zusammengestellt, der etwa 10 Minuten läuft.

Vom 16 mm-Film wurde eine 8 mm-Positiv-Kopie (in Normalspur) hergestellt, die für Vorführzwecke zur Verfügung steht.

2. Auswertung der Meßdaten

2.1 Digitalisierung

Wegen der Unregelmäßigkeit des erregenden Seegangs ist es zweckmäßig, die gewonnenen Meßdaten statistisch auszuwerten. Das bedeutet bei digitaler Berechnung Auflösung der Funktionsschriebe in eine diskrete Folge von Meßwerten (time series) und die Berechnung von Spektren und Häufigkeitsverteilungen. Da die Werte nur auf Papierschrift vorliegen,

ist ein Umsetzen in digitale Daten mühsam und zeitraubend. (Man sollte grundsätzlich schon im Modell elektronische Speicher verwenden, wie z.B. Magnetbänder !). Um die gesammelten Daten trotzdem digital verwerten zu können, wurden die Schriebe einzeln aufgemessen und auf Lochkarten übertragen. Neben der anfänglichen Zu-Fuß-Prozedur wurde später eine Auswerteanlage des Deutschen Hydrographischen Instituts eingesetzt. Trotzdem sind starke Beanspruchung der Mitarbeiter und viele Fehlerquellen seitens der Apparatur unvermeidlich. Ein spezielles Prüfprogramm für die auf digitales Band gespielten Daten gestattet allerdings ein Ausmerzen dieser Fehler und gewährleistet die erforderliche Zuverlässigkeit der digitalen Meßdaten.

Die Meßwerte werden auf der Abszisse im Abstand von 2 mm aufgemessen, das entspricht bei einem Maßstab von 1 cm/sec einem Nyquist-Intervall von 0.2 sec, d.h. pro Sekunde Echtzeit werden 5 Werte aufgemessen.

Die obere Grenzfrequenz, die von einer Analyse noch erfaßt werden kann, ist dann nach dem Sampling-Theorem

$$f_N = \frac{1}{2\Delta t} = 2.5 \text{ Hz}$$

Diese Grenzfrequenz ist ausreichend, andererseits aber wegen der relativ zum großen Schiff höheren Modellfrequenzen auch erforderlich.

Das Auswertegerät löst jeweils 25 cm Schrieblänge in 1250 Einheiten auf, so daß sich für den aufgemessenen Abszissenwert (Ziffer in der Lochkarte) folgender Maßstab ergibt:

$$\Delta t \hat{=} 2 \text{ mm} \hat{=} 10 \text{ Einheiten} \hat{=} 0,2 \text{ sec}$$

$$1 \text{ Einheit} \times \hat{=} 0,2 \text{ mm} \hat{=} 0,02 \text{ sec}$$

In der Ordinate werden die 88,5 mm Schriebbweite mit 500 Einheiten aufgelöst, das ergibt einen Maßstab von

$$1 \text{ Einheit } Y \hat{=} \frac{88,5 \text{ mm}}{500} \hat{=} 0,177 \text{ mm}$$

Aufgemessen wurde bezogen auf die Papierunterkante.

Je nach Maßstab des Meßwertes y_i auf dem Oszillogramm ergeben sich damit verschiedene Maßstäbe für die digitalen Einheiten:

$$(EM)_i = 0,177 \frac{\text{mm}}{\text{Einheit}} \cdot (y_i\text{-Maßstab}) \frac{\text{Dimension der Größe } y_i}{\text{mm}}$$

Tafel VIII enthält die zugehörigen Zahlenwerte der Maßstäbe für die vier aufgemessenen Größen, Rollwinkel gegen Lot und Scheinlot, Winkelbeschleunigung beim Rollen und Stampfwinkel.

Die auf Lochkarten umgesetzten Meßwerte enthalten z.T. fehlerhafte Lochungen infolge von Übertragungsfehlern. Ein normales Einlesen in den Digitalrechner führt deshalb bei jeder Fehllochung zu einem Abbruch (Dump). Da die Fehlerrate zu hoch ist, mußte eine andere Methode zur Fehlerbeseitigung angewendet werden. Dafür wurde ein Prüfprogramm eingesetzt, das von Dipl.-Phys. Sell entwickelt worden ist (Institut für Theoretische Geophysik der Universität Hamburg - Prof. Hasselmann).

Es ist in FORTRAN und ASSEMBLER-Sprache geschrieben und besteht aus drei Teilen:

1. Einlesen der Karten auf Band
2. Ausdrucken der Werte vom Band mit Fehlerkennzeichnung
3. Einlesen der korrigierten Werte und Korrektur der Fehler

Diese Programme sind für die Anlage IBM 360/75 von DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron Hamburg) geschrieben, wo auch die zugehörigen Rechenläufe mit Unterstützung von Dr. Brunnstein (DESY) durchgeführt werden konnten.

Durch den Einsatz von zwei verschiedenen Rechenanlagen (IBM 360/75 bei DESY und TR 4 des Rechenzentrums der Universität Hamburg) entstanden Kompatibilitätsschwierigkeiten. Nachdem die Fehlerkorrektur bei DESY erfolgreich abgeschlossen war, wurde versucht, ein dort vorhandenes elegantes Programmsystem zur statistischen Auswertung anzuwenden, SEL, Series Evaluating Language, [3]. Dies gelang jedoch nicht in angemessener Zeit.

Der Fehlerausdruck von DESY wurde nun benutzt, um die Lochkarten zu korrigieren. Die Daten konnten damit in die TR 4 eingelesen und in der LFD (langfristigen Datenhaltung) zur weiteren Analyse gespeichert werden. Ein selbstentwickeltes Programm zur Spektralanalyse und zur Berechnung der relativen Häufigkeit von Ordinaten und Amplituden konnte damit an der TR 4 verwendet werden. Allerdings ergaben sich abermals Schwierigkeiten durch die Umstellung auf die neue, wenn auch bessere und schnellere Anlage TR 440 am Rechenzentrum der Universität Hamburg. Die Anwendung des eigenen Programmsystems hatte aber den Vorteil, es den speziellen Bedürfnissen der Auswertung besser anpassen zu können. Da das Rechenzentrum nun auch über einen digitalen Plotter verfügte, wurde für die Ergebnisse auch eine graphische Darstellung in übersichtlicher Form erarbeitet (Anhang F).

2.2 Statistische Analyse und Amplitudenhäufigkeit

a) Analyse

Das Spektrum der Zeitfunktion wird aus Fouriertransformation der Autokorrelationsfunktion berechnet. Besonderer Wert wurde auf die Angabe des statistischen Vertrauens-

bereiches des Spektrums gelegt. Die zugehörigen Werte, wie Schrieblänge, Auflösung etc. sind für jede Analyse übersichtlich ausgedruckt. Die graphische Darstellung des Spektrums enthält auch den Vertrauensbereich.

Anhang C enthält Definitionen mit Skizzen und Erklärungen sowie Rechenbeispiele, Anhang D die Ergebnisse der Messungen.

Ein Maßstab von $\frac{L_S}{L_M} = 1$ bedeutet, daß die Eingabedaten schon Modellmaßstab haben, d.h. am Modell gemessen sind. In der graphischen Darstellung für das Spektrum stimmen dann Schiffs- und Modellmaßstab überein. Jeder größere Maßstab deutet an, daß es sich um Rechen- (oder Meß-)ergebnisse im Schiffsmaßstab handelt. Der Maßstabsfaktor wird angegeben, um auf die ähnliche Modellfrequenz umrechnen zu können. In der graphischen Darstellung der Spektren sind die Frequenzen für Modell und Schiff angegeben.

Gewählte Parameter zur Spektralanalyse:

Frequenzauflösung und statistische Sicherheit (Stabilität, Vertrauensbereich) sind gegenläufig. Es muß daher ein Kompromiß zwischen beiden gewählt werden.

Beispiele:

1) Modellmessungen Eckernförde 1968

$$\Delta t = 0.20 \text{ sec} \quad h = 1 \quad \Delta \tau = h \cdot \Delta t = 0.20 \text{ sec}$$

$$f_N = \frac{1}{2 \Delta \tau} = 2.5 \text{ Hz}$$

$$m = 100 \quad T_m = m \cdot \Delta \tau = 20 \text{ sec}$$

$$\Delta f = \frac{1}{2 T_m} = 25 \text{ } \mu\text{Hz}$$

$$F = 2 \frac{T_m}{T_m} - \frac{1}{3} = 35 \text{ für } T_m = 356 \text{ sec}$$

$$\begin{aligned} \bar{c}_{0.90} &= 1.558 \\ \underline{c}_{0.90} &= 0.703 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{c}_{0.90} \\ \underline{c}_{0.90} \end{aligned}} \right\} \text{ abhängig von Messdauer } T_m$$

2) Vergleichsrechnungen im Schiffsmaßstab

$$\Delta t = 0.25 \text{ sec} \quad h = 4 \quad \Delta \tau = 1 \text{ sec}$$

$$f_N = 0.5 \text{ Hz} \quad f_{N \text{ Modell}} = 3 \text{ Hz}$$

$$m = 100 \quad T_m = m \Delta \tau = 100 \text{ sec}$$

$$\Delta f = \frac{1}{2T_m} = 5 \text{ \mu Hz} \quad \Delta f_{\text{Modell}} = 30 \text{ \mu Hz}$$

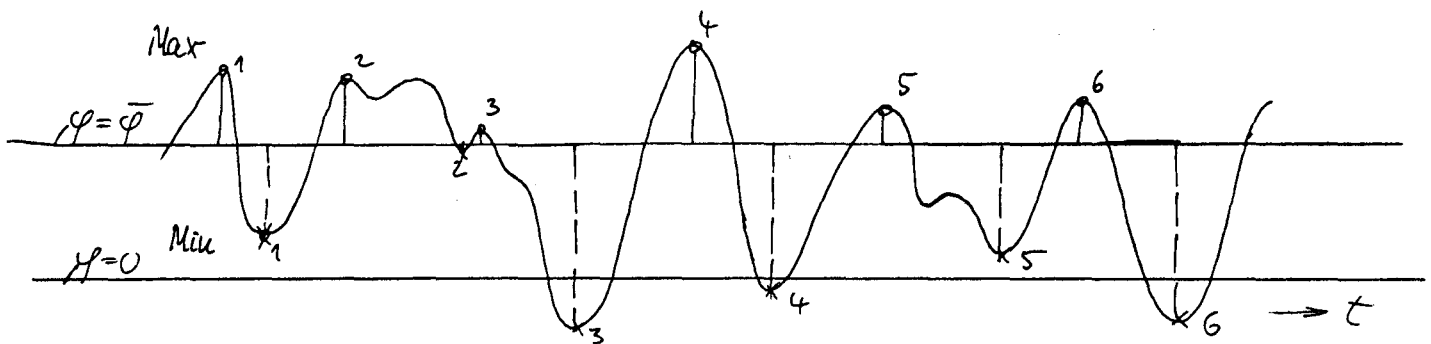
$$F = 2 \frac{T_n}{T_m} - \frac{1}{3} = 71 \quad \text{für } T_n = 3600 \text{ sec} \\ T_{mM} = 600 \text{ sec}$$

$$\bar{c}(1-\alpha=0.90) = 1.35$$

$$\underline{c}(1-\alpha=0.90) = 0.775$$

2.2 b) Amplitudenhäufigkeit

Es werden alle Maxima und Minima für die Nulldurchgänge (zero crossings), bezogen auf den linearen Mittelwert der Ordinaten, bestimmt.



Es wird in Maxima und Minima unterteilt, da die Rollbewegung im nichtlinearen Bereich unsymmetrisch ist. Dann werden durch Ordnen der Amplituden dem Betrag das Mittel der $\frac{1}{M}$ höchsten Werte ausgedrückt.

Das Verhältnis dieser Werte zum quadratischen Mittelwert der Ordinaten, der sogenannten Streuung $s = \sqrt{m_0} = \sqrt{\text{Varianz}}$ wurde graphisch dargestellt und verglichen mit den Werten nach Rayleighverteilung:

$$c_{\left(\frac{1}{M}\right)} = \frac{\bar{a}^{\left(\frac{1}{M}\right)}}{\sqrt{m_0}}$$

$$c_R = \frac{a_R}{\sqrt{m_0}}$$

M	1	2	3	5	10	20	100	1000
c_R	1.25	1.76	2.0	2.25	2.55	2.81	3.34	3.96

Ferner wurde die zur jeweiligen Varianz m_0 des Zeitvorganges gehörige Verteilungsdichte nach Rayleigh aufgezeichnet:

$$p(a) = \frac{a}{2m_0} \exp\left(-\frac{a^2}{2m_0}\right), \quad a \geq 0$$

$$\text{wo } a = |a_{\max}| \quad \text{oder} \quad a = |a_{\min}|$$

In das gleiche Bild wurden die Häufigkeitsdichten, die sich aus Klassierung der gemessenen Maxima und Minima ergeben, eingezeichnet, um so einen anschaulichen Vergleich zu ermöglichen.

Die Ergebnisse sind zusammen mit den Spektren in Anhang F graphisch dargestellt.

3. Eingabedaten für Vergleichsrechnungen

Der numerische Ansatz zur Lösung der Rollbewegung bei großen Amplituden in unregelmäßiger See beschränkt sich vorerst auf längslaufenden Seegang. Es werden daher zuerst die Versuchsfahrten in achterlicher See näher betrachtet, und zwar die Versuche Nr. 1.5 und 1.6 ohne Schlingerkieler, und die Versuche Nr. 1.17, 1.18 und 1.19 mit Schlingerkielen, siehe Tafel III.

Die wesentlichen Parameter sind in Tafel VIII noch einmal zusammengestellt.

Die Erregung stellt der Seegang in Passierfrequenz und Amplitude dar. Lösungen der Bewegungsgleichung, die gut mit Messungen übereinstimmen sollen, erfordern naturgemäß eine entsprechend genaue Eingabe der Erregung in die Rechnung. Erst dann kann auf die Gültigkeit oder Güte des Rechenverfahrens durch Vergleich mit dem Experiment geschlossen werden. Hinreichend genaue Meßdaten der Seegangserregung beim Experiment liegen jedoch nicht vor. Dies hat mehrere Gründe, siehe im folgenden 3.1 und 3.2.

3.1 Länge und Steilheit der Wellen

Es ist bei Versuchen im freien Gewässer schwierig, eine Seegangsmessung direkt im Fahrtgebiet des Modells zur Zeit der Modellfahrt durchzuführen. Jedenfalls ist dies in Eckernförde nicht gelungen, obwohl es bei etwas mehr meßtechnischem Aufwand sicher möglich sein würde. Es liegen daher nur qualitative Anhaltswerte für kennzeichnende Wellenlänge und Wellenhöhe aufgrund von Schätzungen während der Versuche vor. Für erste experimentelle Untersuchungen des Kentergeschehens schien eine so grobe qualitative Erfassung ausreichend, d.h., wenn man nur eine Statistik von extremen Situationen im Modell sammeln will. Bedenkt man, daß noch heute umfangreiche Seegangsstatistiken nur auf Beobachtungen von Wetterschiffen beruhen, so ist auch für den Modellversuch das Schätzen durch-

aus angemessen. Zudem ergibt sich durch die bekannten Maße des Modells eine gute Vergleichsbasis für den geübten Beobachter. Man kann so pauschale Mittelwerte des Seegangs angeben, die etwa die Seegangsstärke relativ zum Modell grob klassifizieren.

Für eine numerische Auswertung dieser Schätzwerte als Eingabedaten in eine Bewegungsrechnung ist die Genauigkeit sicher nicht ausreichend. Wenn trotzdem mangels besserer Daten dieser Weg beschritten wird, so nur in der Hoffnung, daß die Tendenz im Rechenergebnis durch zu ungenaue Erfassung des Seegangs nicht verfälscht wird.

Bei jüngeren Versuchen ähnlicher Art in den USA [4, 5], bei denen die gleiche Meßmethode, jedoch mit größeren, etwa 6 m langen Modellen angewendet wird, sind häufige Seegangsmessungen durchgeführt, die eine Relation zu statistischen Kennwerten des Seegangs herstellen lassen, wie Energie und Richtungsverteilung des Seegangs, oder die Häufigkeit steiler Wellen. Eine direkte Korrelation zu der jeweiligen Wellenfolge am Schiff ist damit jedoch auch noch nicht möglich.

3.2 Passierfrequenz der Wellen

Wegen der je nach Seegangsstärke und dem Kurs des Schiffes (oder Schiffsmodells) verschiedenen relativen Passiergeschwindigkeit der Einzelwellen kommt selbst bei genauer Messung des Seegangsspektrums an einem festen Punkt im Meßgebiet eine weitere Ungenauigkeit hinzu. Da sich in achterlicher und schräg achterlicher See die Relativgeschwindigkeit der Wellen zum Schiff als kleine Differenz großer Zahlen ergibt, ist die Berechnung aus gemessener Wellen- und Schiffsgeschwindigkeit sehr ungenau. Die zu erwartenden Fehler hat Behn 1965 [6] näher untersucht.

Zu lösen wäre dieses Problem durch Messung der Wellen direkt am Schiffmodell. Diese wurde zwar in diesem Vorhaben versucht, das Problem ließ sich aber meßtechnisch nicht befrie-

digend lösen, jedenfalls nicht mit angemessenem Aufwand. Als Ausweg wäre eine Druckmessung im Modellboden vorzuschlagen, die wenigstens die Verteilung der Begegnungsfrequenzen richtig wiedergeben würde.

Da nun für Eckernförde keinerlei Ergebnisse von Wellenmessungen vorliegen, kann hilfsweise das Spektrum der Rollwinkelbeschleunigung verwendet werden, da es die passierenden Wellen als Erregungsstöße registriert. Auch das gemessene Stampfspektrum ist als Maß für die Passierfrequenzen des Seegangs geeignet, da das Modell vor allem bei den interessierenden langen und steilen Wellen der Wellenschräge folgen wird.

Die Fahrtgeschwindigkeit des Modells wurde ferner durch Abfahren einer Meßstrecke geeicht. Die resultierenden Froudeschen Zahlen in Bild 5 haben vermutlich eine Ungenauigkeit von ± 0.02 bis ± 0.03 . Kennt man die aufgrund der Meilenfahrten in Bild 5 ermittelten Froude-Zahlen, so läßt sich das Begegnungsspektrum aus dem ortsfesten Spektrum berechnen. Ein Vergleich mit dem gemessenen Stampfspektrum erlaubt dann eine Kontrolle des gewählten Eingabespektrums. Berechnung und graphische Darstellung des Begegnungsspektrums erfolgt im Programm STETIGE TRAF0. Die Darstellung aller Spektren erfolgt normiert, d.h. ihre Fläche ist zu 1 gesetzt.

Zur diskreten Darstellung des transformierten Spektrums wird das Programm DISKRETE TRAF0 verwendet. Es liefert die Folge diskreter Amplituden und Frequenzen, die zusammen mit gleichverteilter Phase ϵ_i^* die unregelmäßige Erregung für das Programm KENTERN SPLINE liefern, gemäß der Beziehung

$$H_n(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2 S_{ni} \Delta f_i} \cdot \cos(2\pi f_i^* t + \epsilon_i^*)$$

Alle Modellwerte werden auf das 100 m lange Schiff umgerechnet.

Das Programm STETIGE TRAF0 liefert, ausgehend vom Hebelspektrum für das Schiff ohne Fahrt, (angenähert durch eine Log-Normal-Verteilung der Frequenzen) das auf das Schiff transformierte kontinuierliche Spektrum S_{nm} in Abhängigkeit von der Schiffsgeschwindigkeit V und dem Kurswinkel χ , zusammen mit einer graphischen Darstellung. Diese Darstellung wird dazu benutzt, die Übereinstimmung mit einem gemessenen Begegnungsspektrum zu prüfen, etwa durch Vergleich mit einem gemessenen Stampfspektrum, wenn die Fahrtgeschwindigkeit in den Wellen in freiem Gewässer im Modellversuch nicht gemessen werden konnte.

Die eingegebene Wellenlänge $L_w = \frac{L_{pp}}{\lambda}$ wird im Programm TRAF0 als Median eines Lognormal-Spektrums verwendet. Die Breite des Spektrums wird über die Werte f_u , f_o und t_R eingegeben. Sie wird hier in Anlehnung an Berechnungen der Hebelspektren mit dieser Schiffsförm und einem Seegangsspektrum nach Moskowitz und Pierson gewählt. Danach sind die Hebelspektren schmäler als der erregende Seegang.

Die Werte f_u , f_o und t_R ergeben sich aus dem Programm STETIGE TRAF0. Hierin ist die Lage des Spektrums über Eingabe der medianen Wellenlänge L_{med} definiert, das zugehörige f_{med} wird ausgegeben (für SIGLF = TRUE, wo nur die Kennwerte berechnet werden). Ferner sind drei verschiedene Breiten fest programmiert, die den Bereich zwischen schmalstem Hebelspektrum und breiterem Seegangsspektrum überdecken. Damit ist sichergestellt, daß vorerst, solange keine spezielleren Angaben über die Spektralbreite vorliegen, ein realistischer Bereich ohne viel Mühe ausgewählt werden kann.

STETIGE TRAFO enthält folgende Werte:

Spektralform Log NV:

$$S(f) = \frac{M}{f \cdot \sigma} \cdot \varphi(\bar{u})$$

$$M = \log e = 0.4343$$

$$\bar{u} = \frac{\log f - \log f_{med}}{\sigma_{\log f}}$$

$$f_{med} = \left(\frac{g}{2\pi L_{med}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{über Einlesen von } L_{med}$$

$$\sigma_{\log f} = \frac{\log f_0 - \log f_{med}}{t_R} = \frac{\log f_{\bar{u}} - \log f_{med}}{t_R}$$

Fest programmiert sind:

Bezeichnung	B (breit)	M (mittel)	S (schmal)
$\sigma_{\log f}$, -	0.11439	0.08580	0.05720
einzugebendes t_R	1	1.5	2

Dies gilt für den Programmteil, der bei SIGLF = TRUE im Programm STETIGE TRAFO aufgerufen wird. Dann werden die zugehörigen f_u , f_o , t_R und f_{uD} , f_{oD} , als Eingabedaten für die Ausführung der gewünschten stetigen Transformation erforderlich, berechnet und ausgedruckt. (Natürlich lassen sich, wenn bekannt oder gewünscht, auch beliebige andere Daten eingeben).

Das Programm liefert dann die zugehörigen diskreten Werte, die zur Beschreibung des Erregungsspektrums im Programm KENTERN SPLINE gebraucht werden. STETIGE TRAFO liefert außerdem eine graphische Darstellung für die transformierten Spektren, was

eine Beurteilung erleichtert.

Das Programm DISKRETE TRAF0 berechnet die diskreten Komponenten c_{pn}^* und f_p^* für die gewünschte Anzahl M von Komponenten durch bereichsweise Integration des Spektrums S_{nm}^* . Da die Intervallteilung der Frequenzachse verschieden je nach Spektralform gewählt werden kann, ist es sinnvoll, die Teilung anhand des Ausdrucks von STETIGE TRAF0 zu wählen.

Dies ist allerdings nur eine Maßnahme, um mit geringstem Rechenaufwand, d.h. wenig Komponenten, eine gute Annäherung an das Spektrum zu erreichen.

3.3 Hebel des aufrichtenden Momentes

Hydrostatische Berechnung der aufrichtenden Hebel im Seegang

Verfahren I:

Näherung aus Hebeln in regelmäßiger Welle:

entweder

$$\text{Wellenlänge} = \text{Schiffslänge} : L_W = L_{pp} ,$$

oder

$$\text{Wellenlänge} = \frac{\text{Länge der Welle maximaler Energiedichte im Spektrum}}{\text{}} : L_W = L_{Wmod} ,$$

$$\text{Wellenhöhe } H_W = \frac{1}{10 + 0.05 L_W, m}$$

Die Formel für die Wellenhöhe wird in der Bauvorschrift der Deutschen Bundesmarine angewendet (Arndt 1965). Sie entspricht etwa den 1/1000 steilsten Wellen im Nordatlantik nach einer Statistik von Wetterschiffen (Roll 1953).

Die Formel hat den Vorzug, kurze Schiffe steileren Wellen aussetzen als lange Schiffe, gemäß dem im statistischen Mittel häufigeren Auftreten kurzer steiler Wellen. Damit wird der stärkeren Gefährdung kleinerer Schiffe Rechnung getragen, die ja

bei gleichem Operationsgebiet dem gleichen Seegang ausgesetzt sind wie große Schiffe. Setzt man gleiche Häufigkeit voraus, sind aber kurze Wellen steiler als lange Wellen, und damit ist das Schiff stärker gefährdet.

- a) Mittelkurve im Seegang $h_z(\varphi) = M 8$, bestimmt als Mittel aus 8 äquidistanten Phasenlagen in der Welle.
- b) Die Streuung der Hebelschwankungen um die Mittelkurve wird angenähert durch $1/3$ der halben Schwankungsbreite der Hebel zwischen Berg- und Tallage:

$$s_h = \frac{1}{3} \Delta h \quad \text{mit} \quad \Delta h = \frac{1}{2} (C + T)$$

C Wellenberg T Wellental

Das Verhältnis $t_h = \frac{s_h}{\Delta h} = \frac{1}{3}$ ist gewählt gemäß der Annahme, daß Δh den 3σ -Bereich der Hebelschwankungen darstellt, der bei Annahme einer Normalverteilung nur noch von 0.27 % aller Werte überschritten wird.

Dieser Wert von $t_h = \frac{1}{3}$ entspricht einer plausiblen Abschätzung. Bei genauerer Kenntnis des Seegangs kann ein anderer Faktor t_h eingeführt werden. Bei Normalverteilung fallen für verschiedene t_h nur noch folgende Reste außerhalb der $\pm \Delta h$ -Bereiche (aus Tabellen):

α	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$4.653 \cdot 10^{-4}$	$6.334 \cdot 10^{-5}$
$h - \bar{h}$	3σ	3.5σ	4.0σ
$t_h = \frac{\sigma}{h - \bar{h}} = \frac{s_h}{\Delta h}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3.5}$	$\frac{1}{4}$

Die Normalverteilung wird angenommen, um von den extremen Hebelschwankungen zwischen Berg und Tal auf die Streuung der Hebelschwankungen schließen zu können. Dagegen wird die Häufigkeit der Hebeextremwerte durch das Spektrum der Hebelschwankungen bestimmt. Da wir jeweils mit dem Spektrum direkt rechnen,

benötigen wir keine Annahmen über die Spektralbreite und eine davon abhängige Amplitudenverteilung, oder die Annahme einer Rayleighverteilung, sondern wir erhalten die "richtig" verteilten Amplituden aus der Zeitfunktion gemäß der Diskretisierung des Spektrums.

Allerdings wird bei diesem Ansatz die Schiefe der Hebelverteilung nicht berücksichtigt, d.h. die größere Verringerung der Hebel im Wellenberg gegenüber der Erhöhung der Hebel im Wellental.

Die Schiefe wäre leicht durch Multiplikation mit einem "Schiefefaktor" α_s zu erreichen (was aber ins Programm z.Z. noch nicht eingefügt ist), etwa so:

Für Rollwinkel $\varphi > 25^\circ$

wenn $H_n(t) \leq 0$,

$$H_n^{(s)}(t) = \alpha_s \cdot H_n(t)$$

wenn $H_n(t) > 0$,

$$H_n^{(s)}(t) = \frac{1}{\alpha_s} \cdot H_n(t)$$

$\alpha_s = 1.15$ für das untersuchte Schiff.

Dies gibt im Tal eine Verminderung der Hebelschwankungen, im Berg eine Erhöhung.

Verfahren II:

Die Hebel in unregelmäßiger See werden direkt berechnet, und aus einer solchen Hebelstatistik werden Mittelwert \bar{h}_z und Streuung s_h über dem Neigungswinkel φ bestimmt. Parameter für das Seegangsspektrum sind die Seegangsennergie m_0 und die

Wellenlänge maximaler Spektraldichte L_{Wmod} , wobei für die modale Frequenz die Formel für eine regelmäßige Welle verwendet wird:

$$f_{mod} = \left(\frac{g}{2 \pi L_{Wmod}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Verwendet wird ein Spektrum nach Moskowitz und Pierson. Über die Durchführung der Rechnung und Ergebnisse siehe Kastner 1970 [7]. Werden nur Mittelwert und Streuung nach Verfahren II in die Bewegungsgleichung eingegeben, wird ebenfalls der Schiefeffekt der Hebelschwankungen vernachlässigt.

3.4 Berechnung des Spektrums der aufrichtenden Hebel

Die zeitlichen Schwankungen der aufrichtenden Hebel im unregelmäßigen Seegang werden wie folgt dargestellt, Kastner 1970 [8]:

$$h(\varphi, t) = \bar{h}_z(\varphi) + GM_{SEE} \sin \varphi + \int h(\varphi, t) \quad (3.4.1)$$

Die Mittelkurve im Seegang wird immer für $\overline{GM}_{GW} = 0$ eingegeben:

$$\bar{h}_z = \bar{h} (\overline{GM}_{GW} = 0) \quad (3.4.2)$$

Abweichungen von $\overline{GM}_{GW} = 0$ infolge einer anderen Lage des Gewichtsschwerpunktes $\overline{KG} \neq \overline{KM}_{GM}$ und eines vom Glattwasserwert abweichenden Mittelwertes des Metazentrums im Seegang werden durch Eingabe eines mittleren \overline{GM} im Seegang erfaßt, \overline{GM}_{SEE} :

$$\overline{GM}_{SEE} = \overline{GM}_{GW} + \int \overline{GM}_z \quad (3.4.3)$$

$$\int \overline{GM}_z = \overline{GM}_{SEE} - \overline{GM}_{GW}$$

\overline{GM}_z ist unabhängig von \overline{KG} und kann näherungsweise aus der graphischen Darstellung der Mittelkurve im Seegang $\bar{h}_z(\varphi)$ als Tangente bei $\varphi = 0$ bestimmt werden.

Zur einfacheren Erfassung der zeitlich unregelmäßigen Hebelschwankungen $\delta h(\varphi, t)$ werden diese näherungsweise zerlegt in die rein neigungsabhängige Funktion s_h und die rein zeitabhängige Funktion H_n , und zwar:

$$\delta h(\varphi, t) = s_h(\varphi) \cdot H_n(t) \quad (3.4.4)$$

Die Größe der Hebelschwankungen um die Mittelkurve \bar{h} in Abhängigkeit vom Neigungswinkel wird durch Eingabe der Streuung $s_h(\varphi)$ erfaßt. Die Berechnung von \bar{h}_z und s_h ist in Abschnitt 1 erläutert.

In Gleichung (3.3.4) ist H_n eine Zeitfunktion, die durch Diskretisierung mit N Komponenten eines über dem betrachteten Neigungswinkelbereich $\{0, \varphi_k\}$ gemittelten normierten Hebelspektrums S_{nm}^* realisiert wird¹⁾:

$$H_n(t) = \sum_{p=1}^M c_{pn}^* \sin(2\pi f_p^* t + \epsilon_p^*) \quad (3.4.5)$$

$$c_{pn}^* = \sqrt{2 S_{nm}^*(f_p^*) \Delta f_p^*} \quad (3.4.6)$$

mit

$$S_{nm}^*(f) = \frac{1}{\varphi_k} \int_0^{\varphi_k} \frac{S_h^*(f, \varphi)}{m_{oh}(\varphi)} d\varphi = \frac{1}{\varphi_k} \int_0^{\varphi_k} S_m^*(f, \varphi) d\varphi \quad (3.4.7)$$

und

$$m_{oh}(\varphi) = \int_0^{\infty} S_h(f, \varphi) df \quad (3.4.8)$$

1) * bedeutet Orientierung im schiffsfesten Koordinatensystem.

Zur Kontrolle ist

$$\int_0^{\infty} S_{mm}^*(f) df = 1 \quad (3.4.9)$$

Damit ergibt sich aus (3.4.6)

$$\sum_{i=1}^M c_{pn}^{*2} = \sum_{p=1}^M 2 S_{mm}^*(f_p^*) \Delta f_p^* = 2 \quad (3.4.10)$$

Diese Darstellung erscheint hinreichend genau, erleichtert andererseits die numerische Behandlung beträchtlich, da nur noch mit einem einzigen normierter Spektrum für alle Neigungswinkel gearbeitet werden kann.

Das Programm KENTERN zur Lösung der Bewegungsgleichung ist so aufgebaut, daß für Gleichung (3.3.1) folgende Größen eingegeben werden müssen:

$\bar{h}_z(\varphi)$, $s_h(\varphi)$ an N Stützstellen (einschl. für $\varphi = 0$), \overline{GM}_{SEE} ,

ferner M Komponenten c_{pn}^* und f_p^* .

Die gleichverteilten Phasen ϵ_p^* werden programmintern erzeugt.

Der zeitabhängige Term $H_n(t)$ in (3.3.4) ist also durch Eingabe der diskreten Sinusamplituden c_{pn}^* und der zugehörigen Frequenzen f_p^* definiert. (Zur Kontrolle wird ausgedrückt $\overline{H_n^2}$, theoretisch gleich 1).

3.5 Dynamische Kennwerte des Modells

Die Bilder 10 und 11 enthalten die Ausschwingamplituden über der Zeit zur Bestimmung der Dämpfung.

Die lineare Abklingkonstante wurde im Mittel für das Modell ohne Schlingerkielen und mit Schlingerkielen bestimmt, umgerechnet auf das 100 m-Schiff zu 0.06 sec bzw. 0.12 sec, gemäß der Beziehung

$$\sigma_{0,S} = \sigma_{0,M} \left(\frac{L_M}{L_S} \right)^{-\frac{1}{2}} = D_0 \cdot \omega_{0,S} = \frac{1}{T_{0,S}} \cdot \ln \frac{\varphi_{n+1}}{\varphi_n}$$

Der Trägheitsradius wurde aus Roll- und Krängungsversuch ermittelt, alle Werte in Tafel VII. Er lag für diese Messungen zwischen 0.30 und 0.34 B, B = Schiffsbreite.

4. Rechenergebnisse und Vergleich

Es werden hier zwei Fälle in achterlicher See ohne Schlingerkielen und zwei mit Schlingerkielen verglichen, Tafel VIII. In Anhang E sind die Hebelarme und die Ergebnisse der Spektral- und Häufigkeitsanalyse graphisch dargestellt. Die Bilder 13, 14, 15, 16 zeigen die berechneten und gemessenen Rollspektren zum Vergleich. Für jeden Vergleichsfall sind das gemessene Stampfspektrum sowie ein berechnetes Begegnungsspektrum je nach Kurswinkel und Geschwindigkeit des Modells eingetragen. Alle Spektren sind normiert dargestellt, d.h. ihre Fläche ist zu eins gesetzt.

a) Die Geschwindigkeit wurde anhand der Meilenfahrten, Werte in Tafel V und in Bild 5, angenommen. Dies ist für den tatsächlichen Einzelfall recht ungenau, da die Seegangsverhältnisse auch starken Schwankungen unterworfen waren.

Durch Korrektur des rechnerischen Begegnungsspektrums über Vergleich mit dem gemessenen Stampfspektrum läßt sich eine Verbesserung erzielen.

Damit wäre also eine bessere Übereinstimmung mit den wirklichen Verhältnissen für einen Teil der Eingabedaten in das Programm KENTERN zu erzielen. Dieser Schritt wurde nicht weitergeführt, da noch eine andere wesentliche Größe nicht genügend erfaßt wurde, für die es aber keine so gute Kontrollgröße gibt:

b) Der Seegang

Für einzelne Vergleichsrechnungen muß der Seegang nach Frequenz, Wellenhöhe und Laufrichtung näher definiert sein.

Dies war zu Beginn der Versuche durchaus bekannt, und es wurde einiger Aufwand in die Messung des Seegangs gesteckt. Die Ergebnisse reichen aber in der Genauigkeit nicht zur quantitativen Beschreibung des Seegangs für den Einzelversuch aus. Bei neueren Messungen in der Bucht von San Francisco mit der im wesentlichen gleichen Versuchsmethode wie hier beschrieben, wird der Seegang durch eine verankerte Meßboje genauer gemessen, und eine häufige Messung erlaubt eine Interpolation auf den Seegang zur Fahrtzeit des Schiffes [4, 5]. Vergleichsrechnungen mit diesen neueren Versuchen erscheinen daher aussichtsreicher.

c) Die nichtlineare Dämpfung bei großen Rollausschlägen wurde zwar experimentell im Rollversuch ermittelt, in die gezeigten Vergleichsrechnungen aber noch nicht einbezogen (obwohl das Programm rechentechnisch schon dazu in der Lage ist).

Eine spezielle Untersuchung nur der Rolldämpfung im Seegang bei großen Amplituden steht noch aus, um auch hier besser fundierte Werte für den numerischen Ansatz einzugeben.

Allgemein wäre es sicher möglich, durch Variation der einzelnen Einflußparameter eine bessere Übereinstimmung zwischen Versuch und Experiment zu erzielen.

Dieses kann aber nicht als sinnvoll angesehen werden.

Vielmehr ist es an den Ergebnissen deutlich geworden, daß naturgemäß die Versuchsbedingungen exakt erfaßt werden müssen, um dem rechnerischen Vergleich zugänglich zu sein. Viel experimentelle Grundlagenarbeit war allein schon für den Ausbau des Schiffsmodells zu leisten, und die in diesem Bericht beschriebene langjährige Versuchsarbeit hat sicher nicht unbeträchtlich zur Weiterentwicklung der Versuchstechnik und der Erkenntnis auf dem Gebiet der extremen Bewegungen von Schiffen beigetragen.

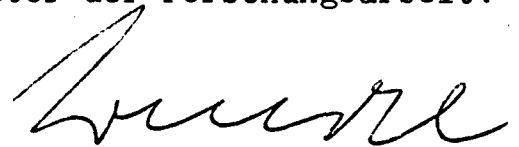
Hamburg, im Mai 1973

Bearbeiter:



(Dr.-Ing. S. Kastner)

Leiter der Forschungsarbeit:



(Prof. Dr.-Ing. K. Wendel)

5. Schrifttum

- 1 Kastner, S.:
 Bau eines freifahrenden Schiffsmodells
 für Kenterversuche
 Zwischenbericht an die DFG, Hamburg 1966,
 IfS-Schrift Nr. 2116

- 2 Todd, F.H.:
 Some Further Experiments on Single-Screw
 Merchant Ship Forms - Series 60
 Transactions of SNAME, Vol. 61, 1953,
 S. 516/589

- 3 Brunnstein, K. und K.F. Holzhausen DESY Hamburg,
 E.C. Bullard, F.E. Oglebay, W.H. Munk,
 G.R. Miller, La Jolla, USA :
 Interner Bericht DESY R1-69/1
 August 1969

- 4 Paulling et al.:
 Capsizing Experiments with the Model of a
 Fast Cargo Liner in S.F. Bay
 Bericht an die U.S. Coast Guard,
 Berkeley, Dezember 1971

- 5 Paulling, Kastner, Schaffran:
 Experimental Studies of Capsizing of Intact
 Ships in Heavy Seas
 Bericht an die U.S. Coast Guard,
 Berkeley, November 1972

- 6 Behn, F.W.:
- Diplomarbeit am Lehrstuhl für Entwerfen
von Schiffen, Universität Hamburg, 1965
(unveröffentlicht)
- 7 Kastner, S.:
- Hebelkurven in unregelmäßigem Seegang
Schiffstechnik 17 (1970), Nr. 88, S. 65/76
- 8 Kastner, S.:
- Das Kentern von Schiffen in unregelmäßiger
längslaufender See
Schiffstechnik 16 (1969), Nr. 84, S. 121/132
Schiffstechnik 17 (1970), Nr. 85, S. 11/20

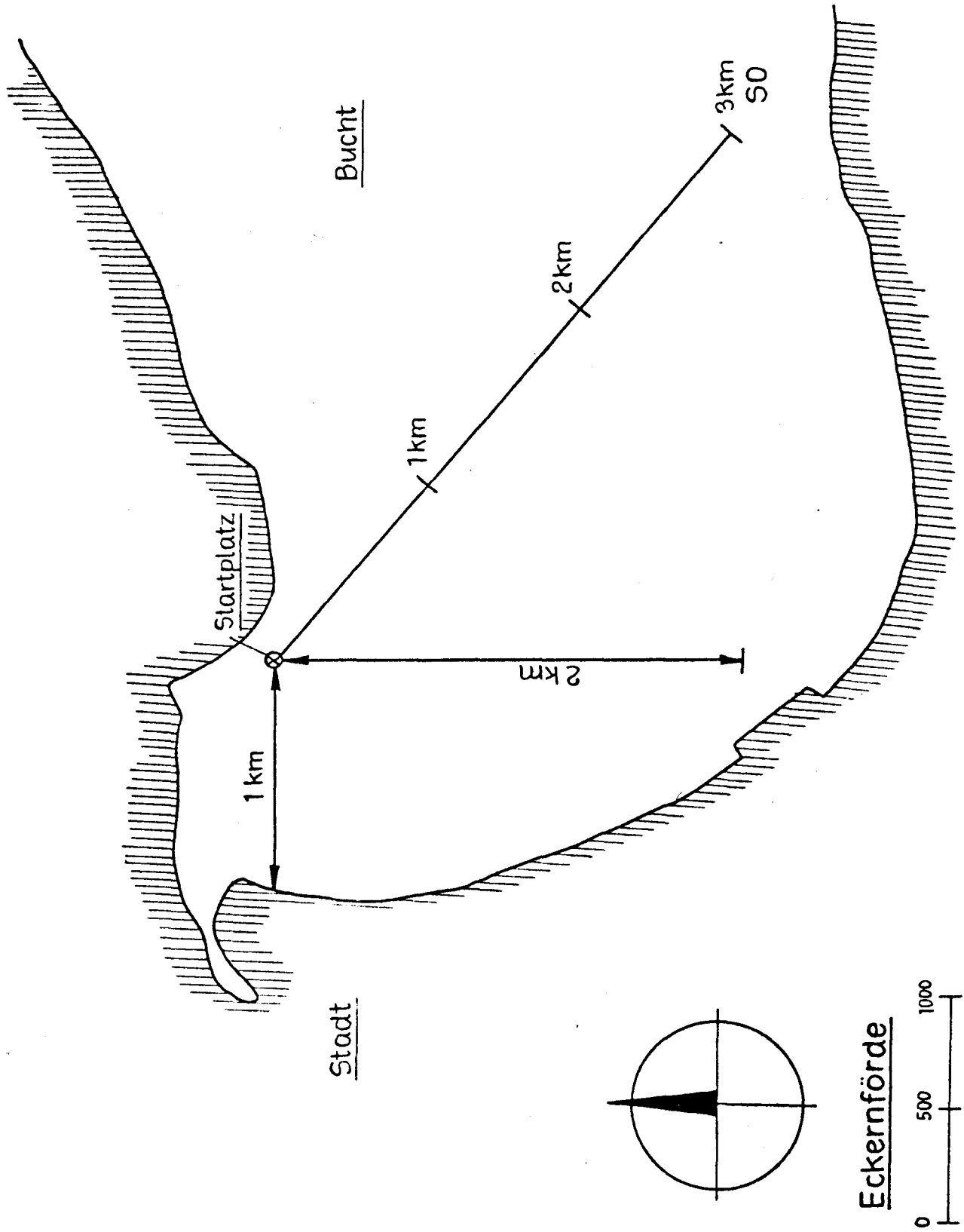


Bild 2

Modellform nach Series 60 No 4212 W

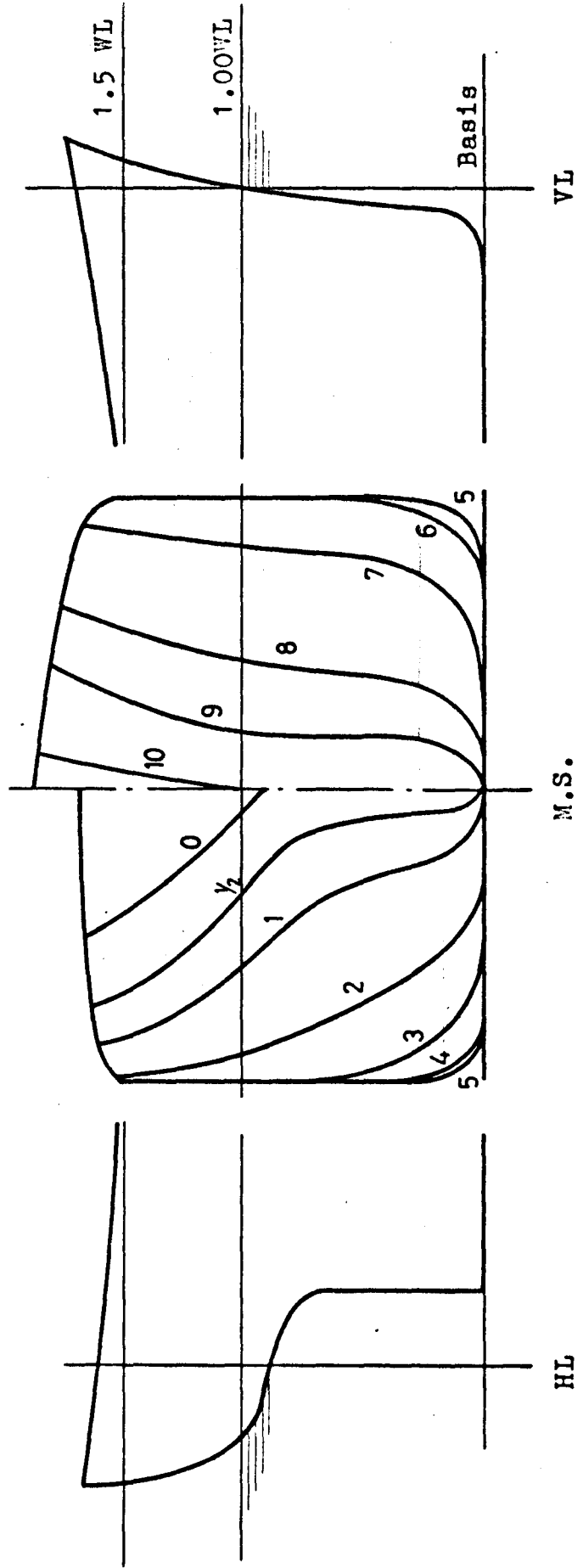


Bild 3

--- Werte aus Krängungsversuch 28.8.68
 Modell naß
 vor dem Ausfüllen des Deckelspaltes mit Gummi
 ohne Schlingerkieler
 durchgeführt in Hamburg

— Werte aus Krängungsversuch 10.9.68
 Modell trocken
 mit Schlingerkieler
 durchgeführt in Eckernförde

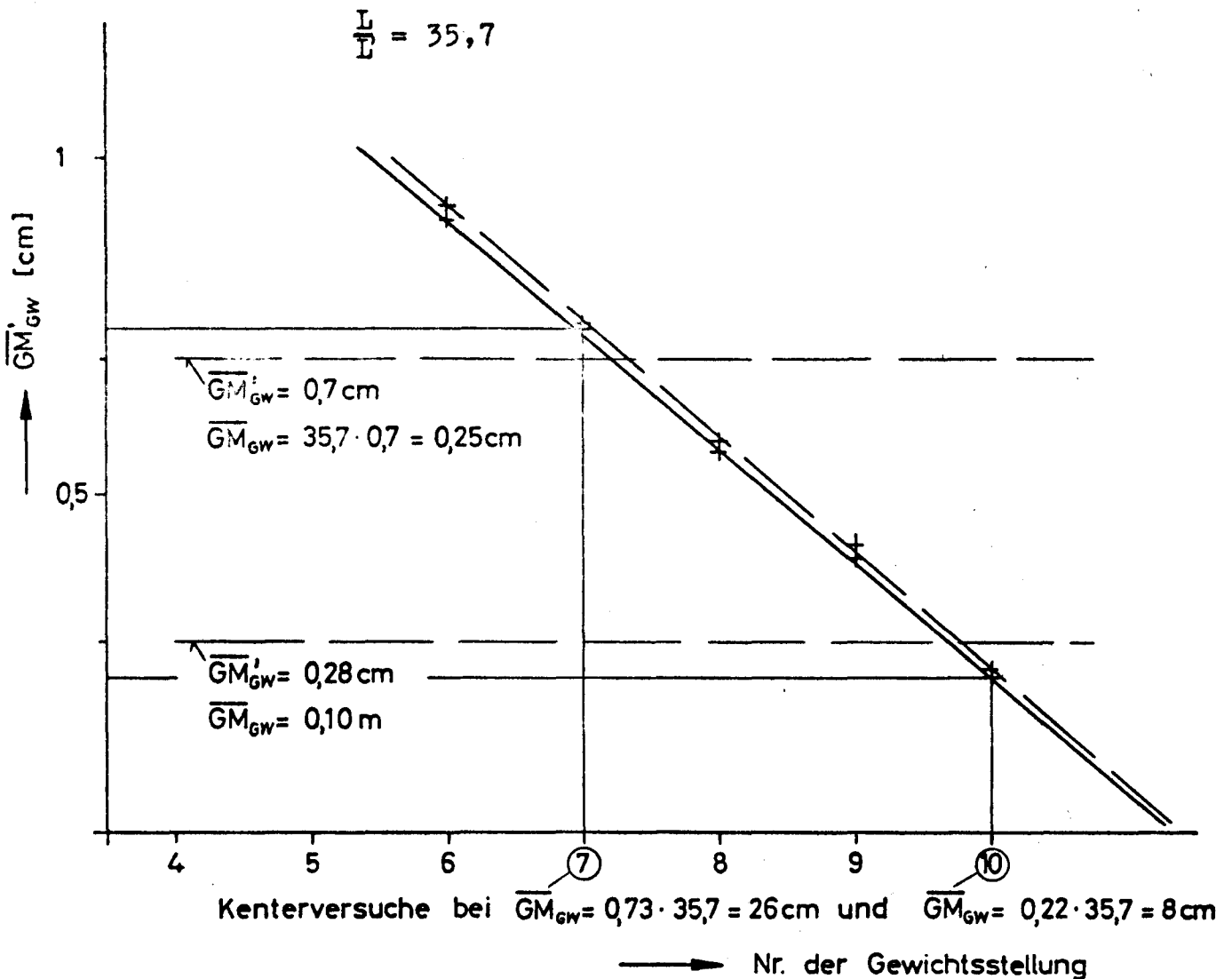


Bild 4: Aufrichtende Hebel in Glattwasser

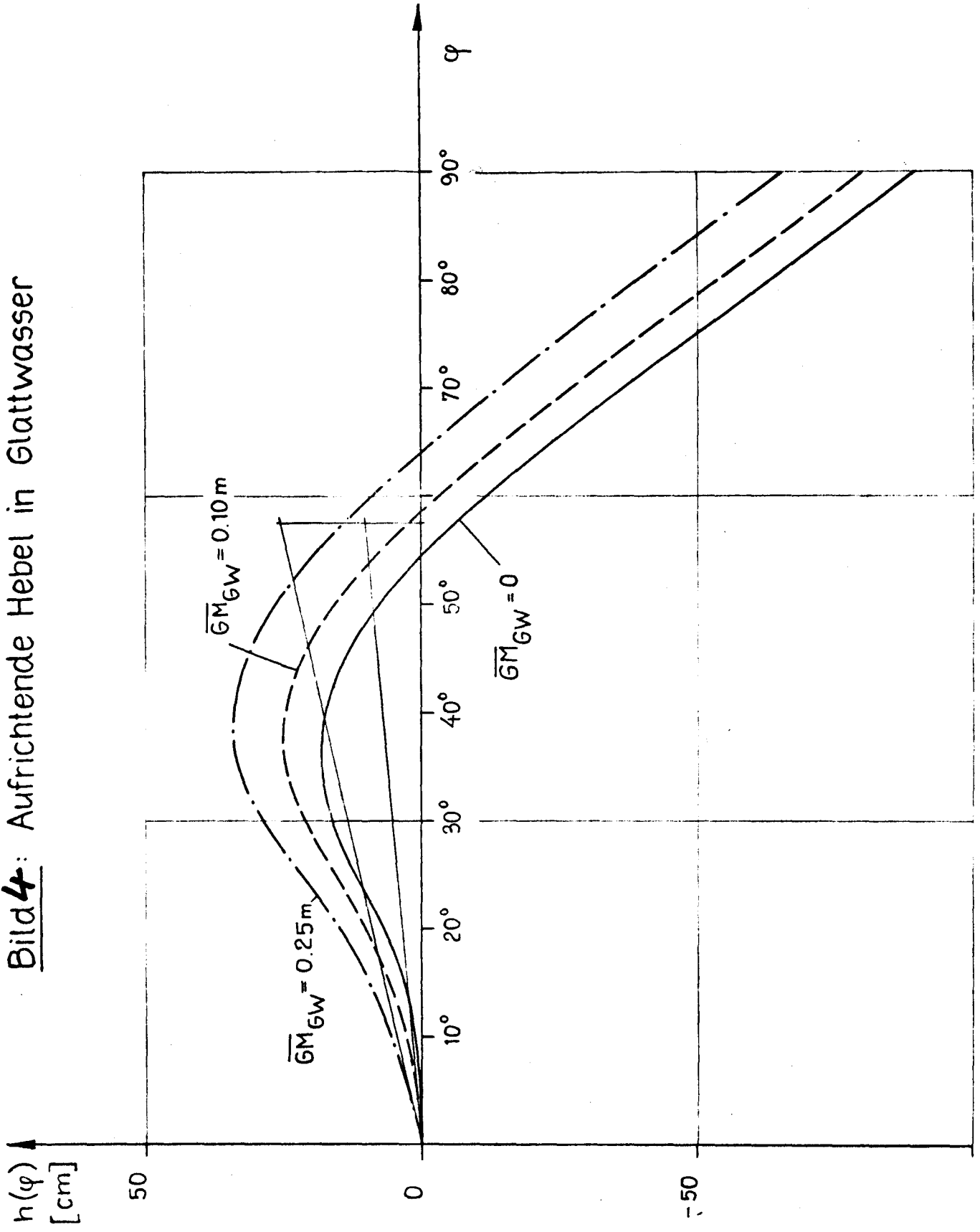


Bild 5

Meilenfahrt

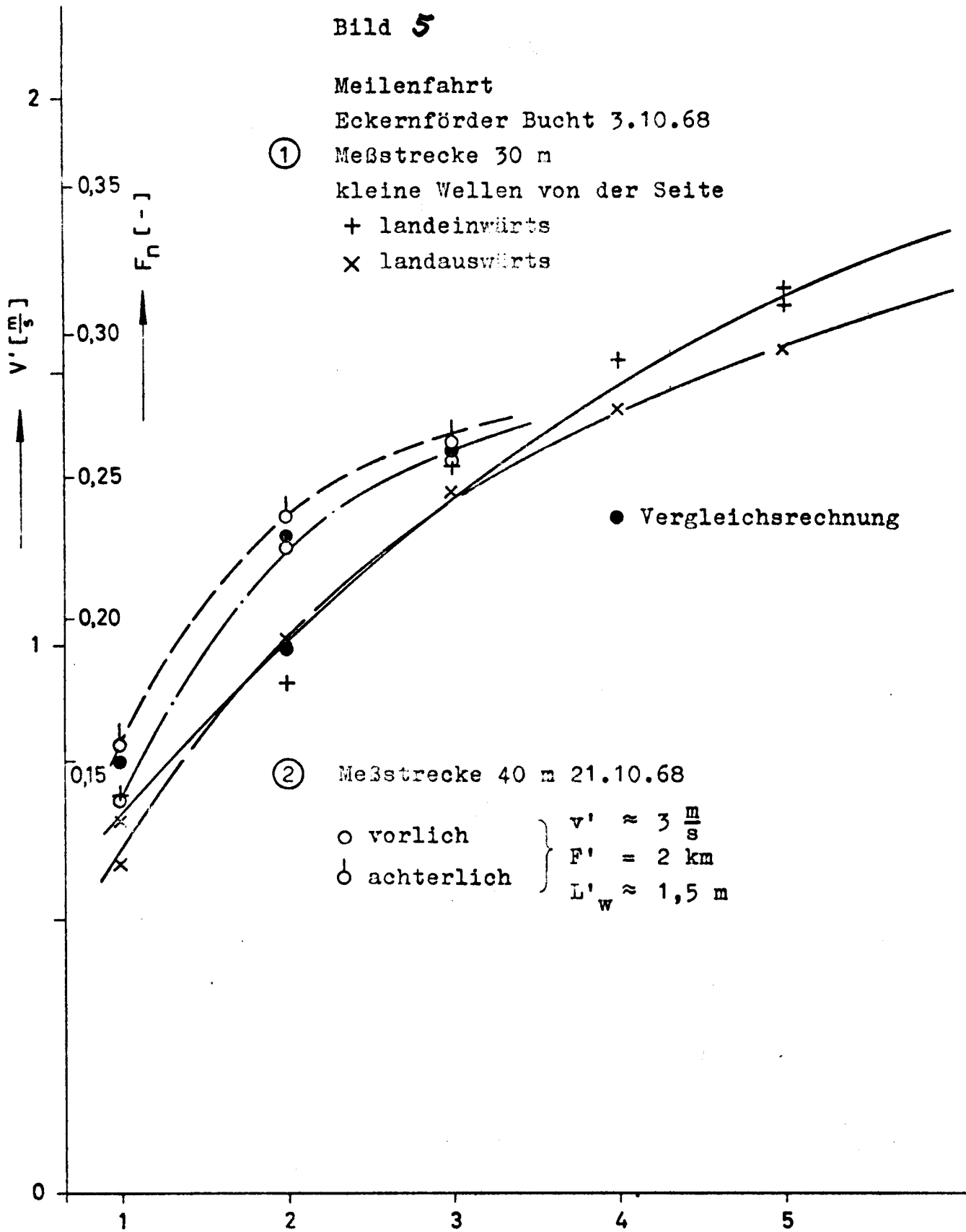
Eckernförder Bucht 3.10.68

① Meßstrecke 30 m

kleine Wellen von der Seite

+ landeinwärts

x landauswärts



Schalterstellung
zur Drehzahlwahl

Bild 6

Ergebnisse der Rollversuche am
Schiffsmodell Eckernförde 1968

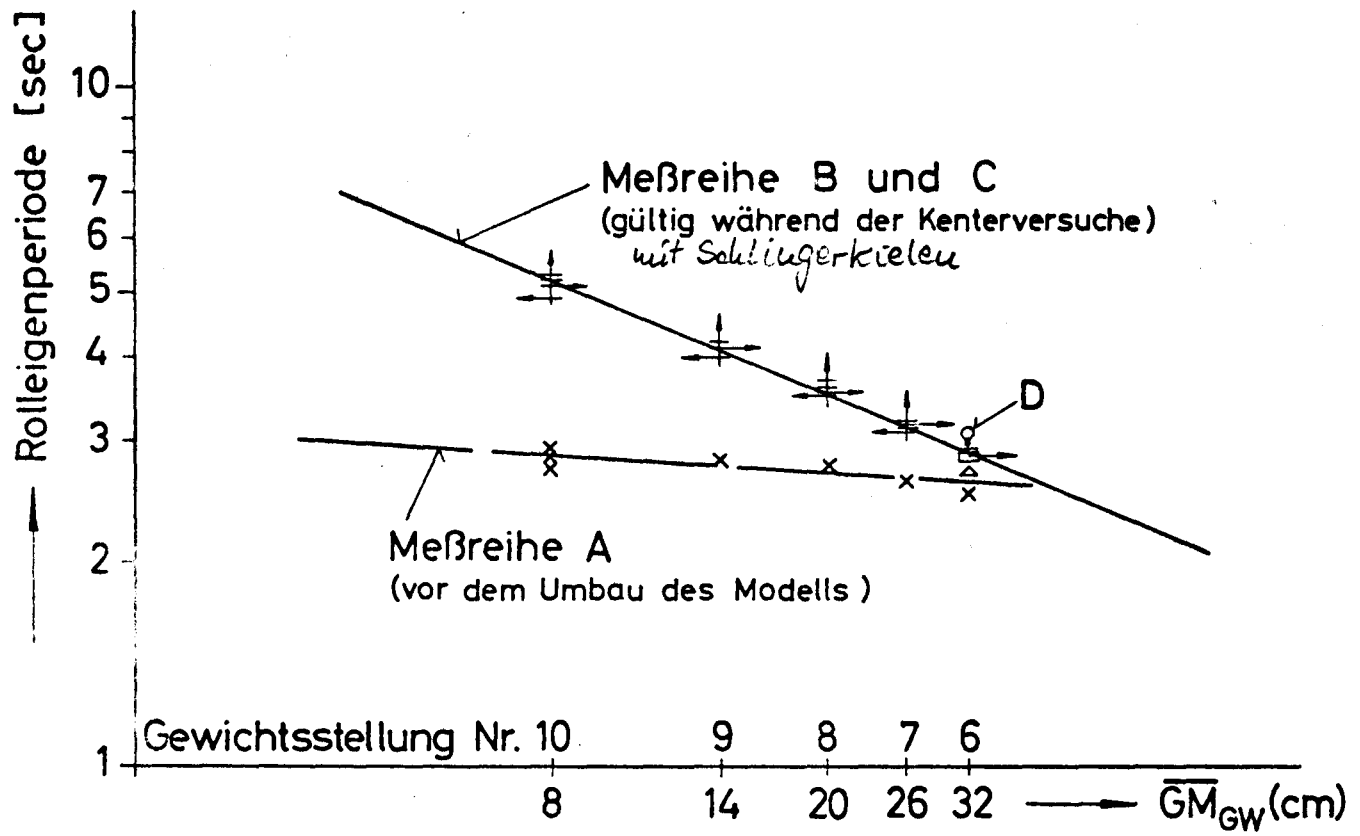


Bild 7

Dämpfungsmaß D über der Rollamplitude

Gewichtsstellung G6, ohne Schlingerkiele

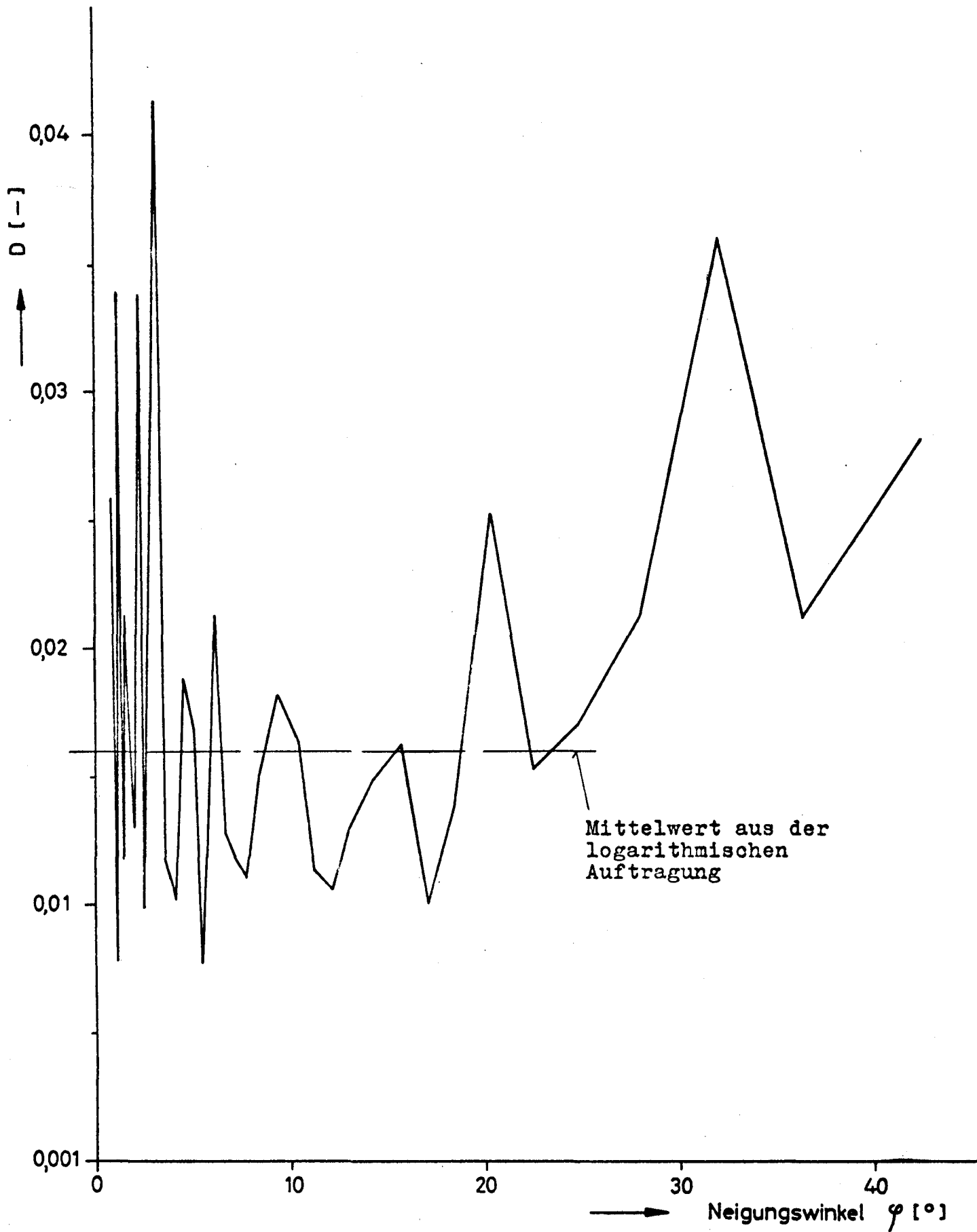
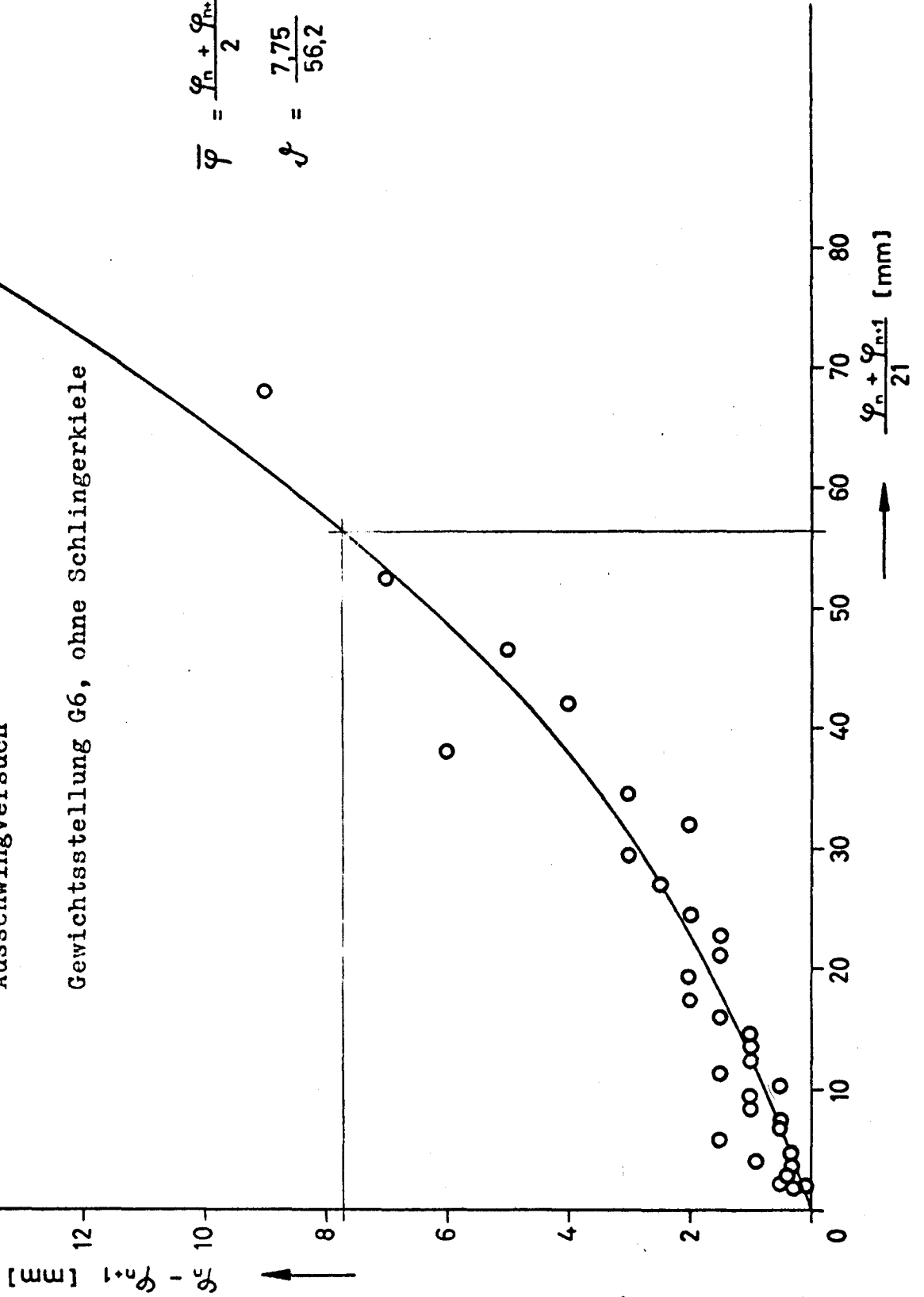


Bild 8 Amplitudendifferenz über der
mittleren Amplitude beim
Ausschwingversuch

Gewichtsstellung G6, ohne Schlingerkiele

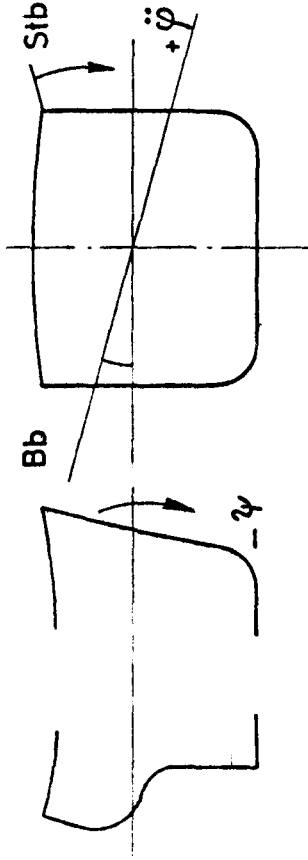


$$\bar{\varphi} = \frac{\varphi_n + \varphi_{n+1}}{2} = 30^\circ$$

$$f = \frac{7,75}{56,2} = 0,138$$

Schleifenbelegung des CEC - Oszillographen
 seit dem 18.10.1968, Eckernförde
 Schleifen - Typ: 7-339

Schiff v. hinten
 gesehen



Schleifen - Nr.	Größe	Meßbereich
4	Ruderwinkel α	$\pm 50^\circ$
8	Kursabweichung vom mittleren Kurs δ	$\pm 50^\circ$
6	Rollwinkel gegen Horizont φ	$\pm 30^\circ$
7	Rollwinkelbeschleunigung $\ddot{\varphi}$	$20 \sim / \text{sec}^2$
5	Scheinlotwinkel $\varphi - \dot{\varphi}$	$\pm 70^\circ$
9	Stampfwinkel gegen Horizont ψ	$\pm 20^\circ$
0	Bezugslinie	

$$\alpha - M = \delta M = 3 \frac{1}{3} \frac{0}{\text{mm}}$$

$$\varphi M = 1,5 \frac{0}{\text{mm}} \pm 15 \%$$

bei 15° und 30°

$$\ddot{\varphi} - M = 1,0 \frac{\sim / \text{sec}}{\text{cm}} - 0,6 \%$$

$$(\varphi - \dot{\varphi}) M = 1,91 \frac{0}{\text{mm}}$$

$$\psi - M = 0,77 \frac{0}{\text{mm}} \text{ bei } 10^\circ$$

$$0,65 \frac{0}{\text{mm}} \text{ bei } 20^\circ$$

BILD 9

Zeit t : Papiervorschub $1 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \pm 1 \%$

Bild 10 a: Amplituden der Ausschwingkurve
 für Modell ohne Schlingerkiele,
 logarithmische Auftragung,
 GM in Glattwasser = 32 cm (G 6)

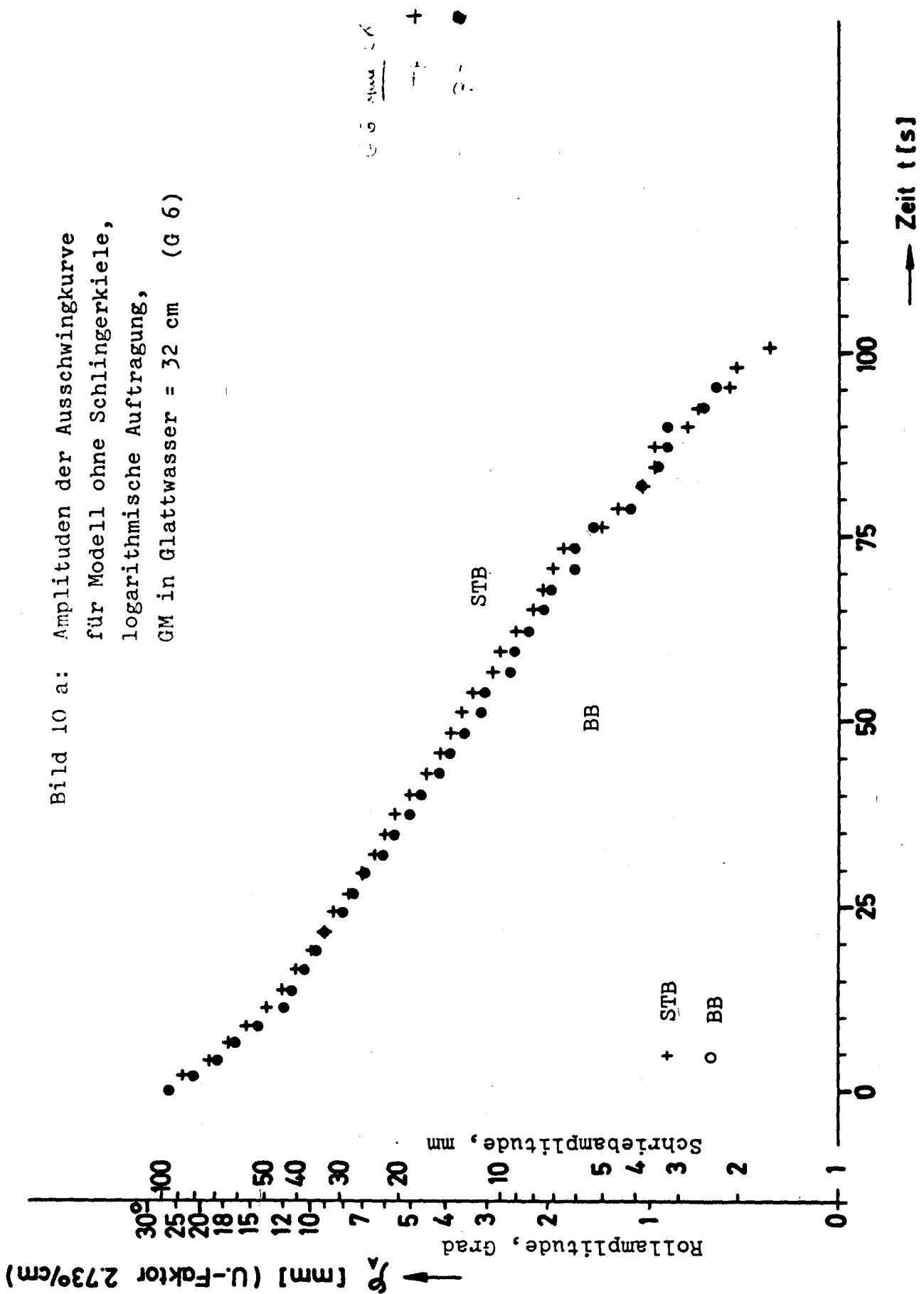


Bild 10 b: Amplituden der Ausschwingkurve
 für Modell ohne Schlingerkiele,
 logarithmische Auftragung,
 GM in Glattwasser = 26 cm (G 7)

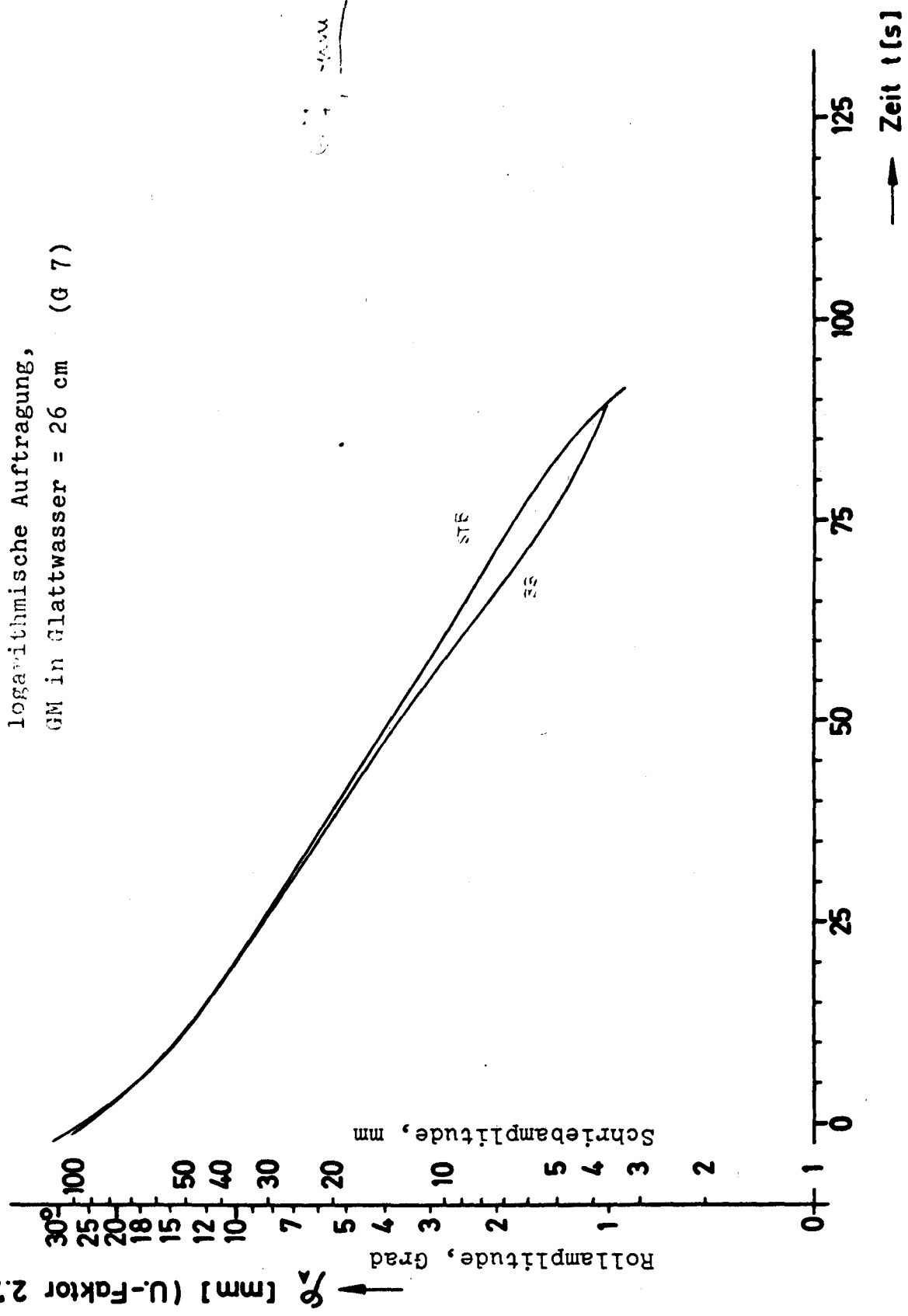
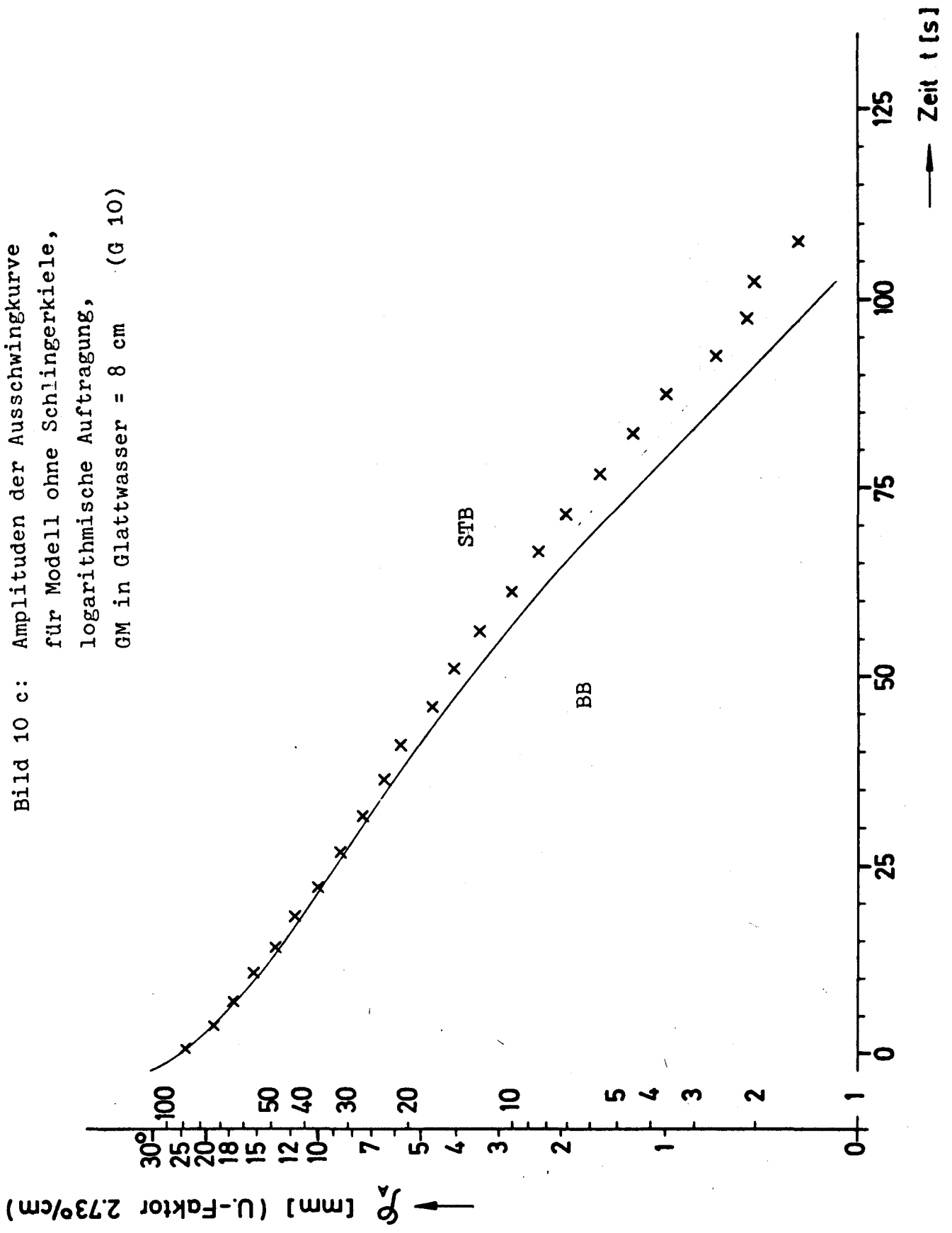


Bild 10 c: Amplituden der Ausschwingkurve für Modell ohne Schlingerkiele, logarithmische Auftragung, GM in Glattwasser = 8 cm (G 10)



→ ϕ [mm] (U.-Faktor 2.73/cm)

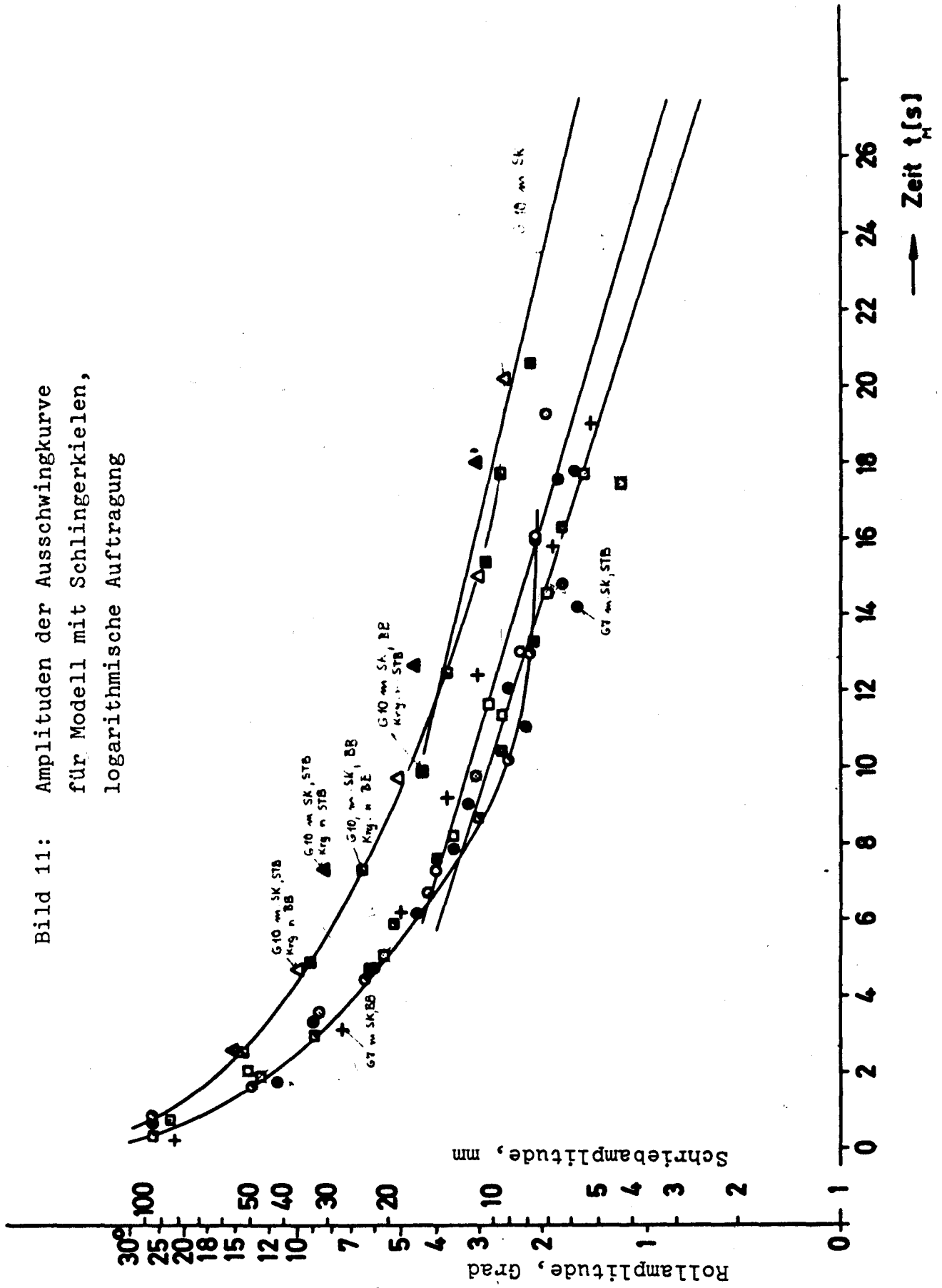


Bild 11: Amplituden der Ausschwingkurve für Modell mit Schlingerkielen, logarithmische Auftragung

→ Zeit t [s]

Rollwinkel über der Zeit

Modell ohne Schlingerkiele

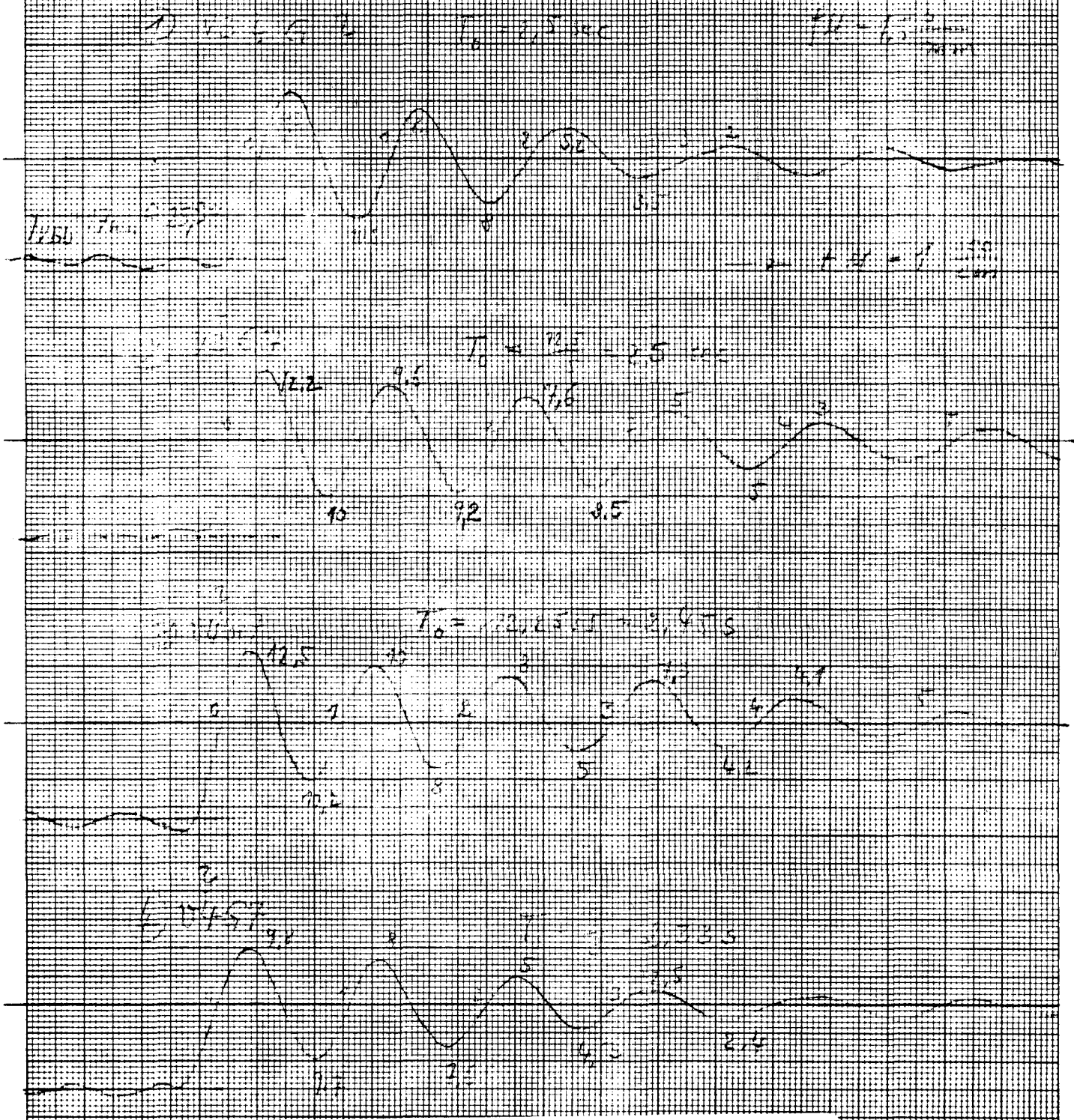
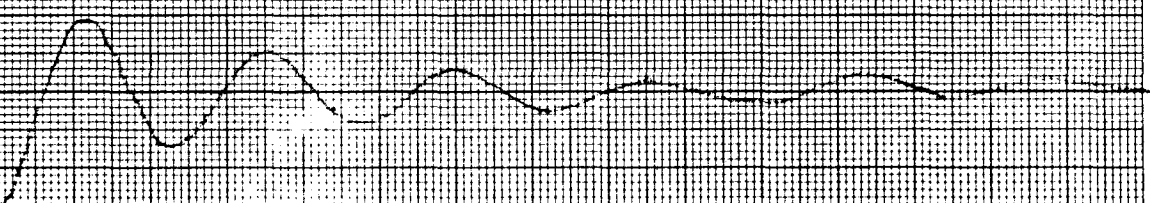
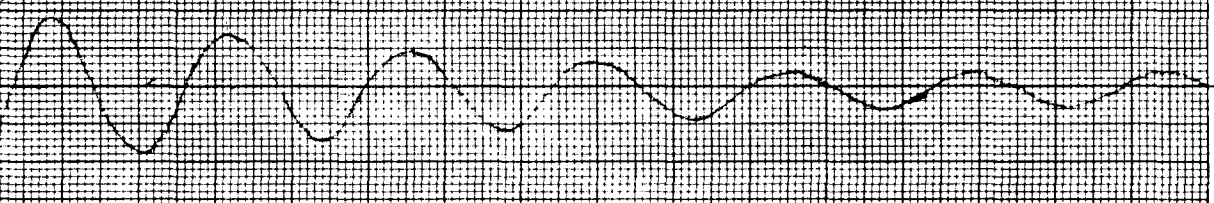


Bild 12 a: Ausschwingkurven für fahrendes Modell mit Anfangskrägung

② V10r



④ V4r



⑥ V4s



Bld 12.5

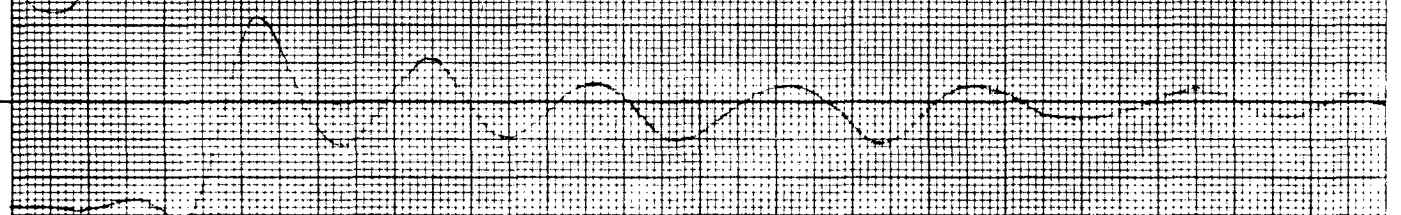
5) V4E7



5) V3E7



2) V5E7



8) V5E7



Bild 12 c

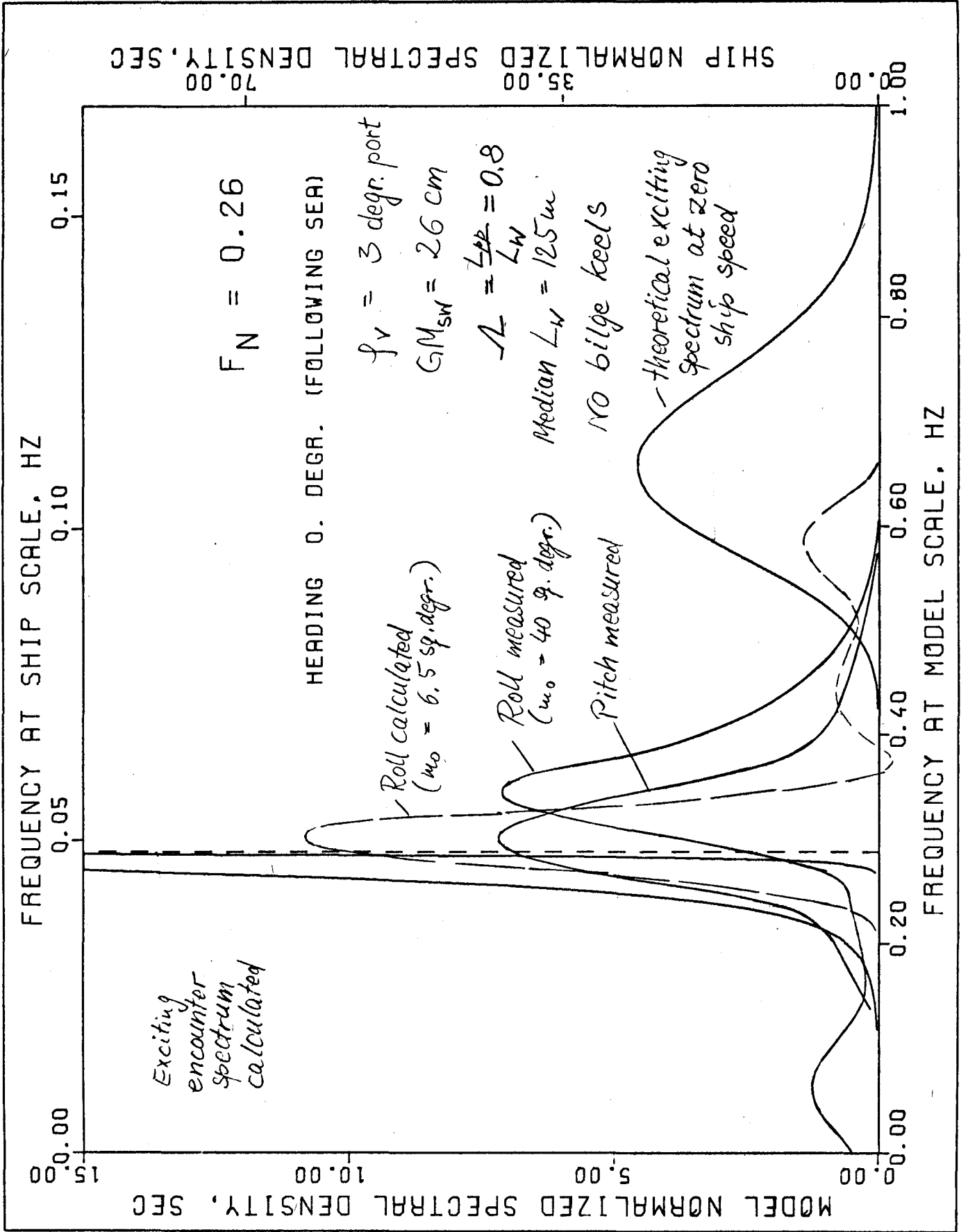


Fig. 13 : Comparison Run 1.05 with Calculation 2.05

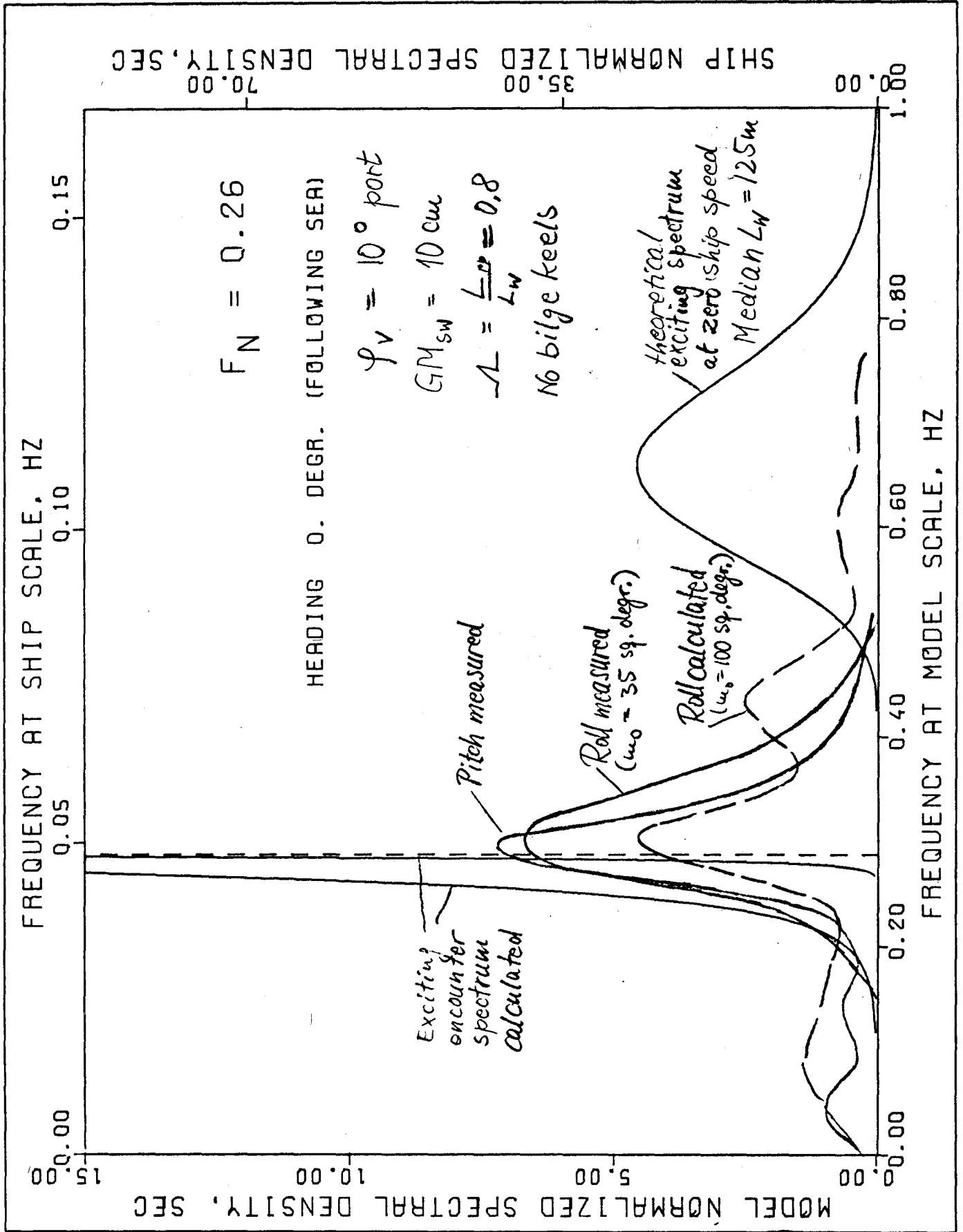


FIG. 14 : Comparison Run 1.06 with Calculation 2.06

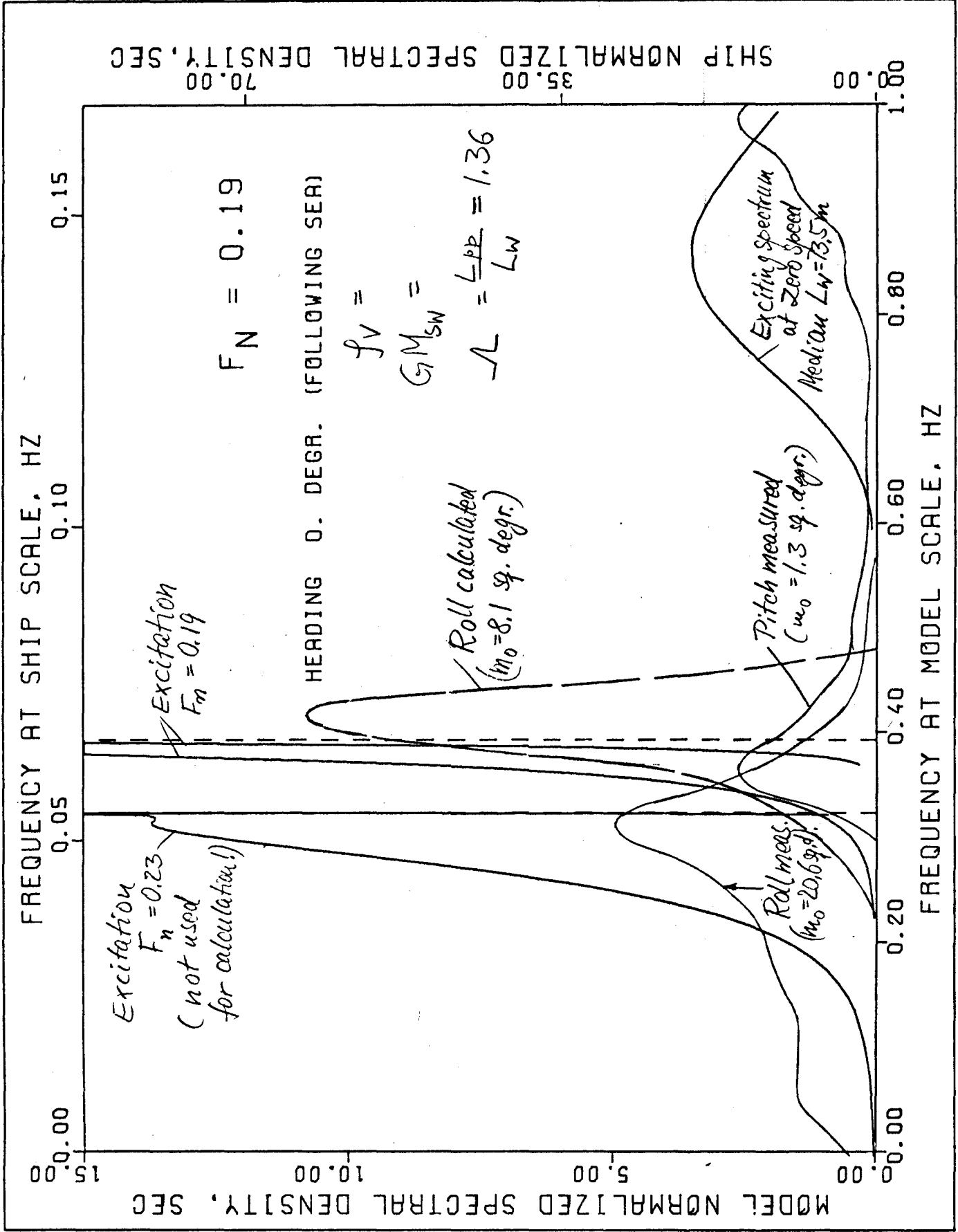


Fig. 15: Comparison of Run 1.17 with Calculation 2.17

Tafel 1

Meßprogramm Eckernförder Bucht

Modell : Series 60 No.4212W

Modellmaßstab $L/L' = 100/2.8 = 35.7$

L_{pp}	2,80 m	100 m
B	0,40 m	14,3 m
D	0,24 m	8,571 m
T	0,16 m	5,714 m
unvertrimmt		
$\Delta = \rho \cdot g \cdot V$	125 kp (gemessen 124,8kp)	5 709 Mp
\overline{KM}	16,14 cm	5,777 m
\overline{KB}	8,40 cm	3,001 m
\overline{BM}	7,74 cm	2,776 m
c_B	0,7	
B/T	2,5	
D/T	1,5	

Tafel 2: Tabelle der aufrichtenden Hebel
Schiff Series 60 No.4212 W (Schiff 54 Archimedes)

φ°		10	20	30	45	60	75	90
$\sin \varphi$		0.173	0.342	0.500	0.707	0.866	0.966	1.000
$0.1 \sin \varphi$	m	0.017	0.034	0.050	0.071	0.087	0.097	0.100
$0.25 \sin \varphi$	m	0.043	0.085	0.125	0.176	0.216	0.241	0.250

1.) Glattwasser Tiefgang $T=5,714$ m vor Krängung

Fb	m	1.585	0.286	-1.036	-3.144	-5.167	-6.862	-8.135
W	m	1.010	2.036	3.051	4.226	4.883	5.078	4.875
KM $\sin \varphi$	m	0.999	1.975	2.889	4.084	5.002	5.580	5.777
hz	m	0.011	0.061	0.162	0.143	-0.119	-0.502	-0.902

2.) Regelmäßiger Seegang

Berg w_a	m	0.987	1.906	2.735	3.783	4.514	4.831	4.725
h. Berg w_b	m	1.056	2.106	3.085	4.231	4.868	5.072	4.886
Tal w_c	m	1.144	2.256	3.285	4.453	5.068	5.235	5.019
v. Berg w_d	m	1.028	2.051	3.029	4.190	4.840	5.098	4.840

$\overline{GM}_{GW} = 0$ m	a_0	m	-0.012	-0.069	-0.154	-0.301	-0.488	-0.749	-1.052
	b_0	m	0.057	0.131	0.196	0.147	-0.134	-0.508	-0.891
	c_0	m	0.145	0.281	0.287	0.369	0.066	-0.345	-0.758
	d_0	m	0.029	0.076	0.140	0.106	-0.162	-0.543	-0.937

$\overline{GM}_{GW} = 0.10$ m	a_{10}	m	0.005	-0.035	-0.104	-0.230	-0.401	-0.652	-0.952
	b_{10}	m	0.074	0.165	0.246	0.218	-0.047	-0.411	-0.791
	c_{10}	m	0.162	0.315	0.337	0.440	0.153	-0.248	-0.658
	d_{10}	m	0.046	0.110	0.190	0.177	-0.078	-0.446	-0.837

$\overline{GM}_{GW} = 0.25$ m	a_{25}	m	0.031	0.016	-0.029	-0.125	-0.272	-0.508	-0.802
	b_{25}	m	0.100	0.216	0.321	0.323	0.139	-0.267	-0.641
	c_{25}	m	0.188	0.366	0.412	0.545	0.282	-0.104	-0.508
	d_{25}	m	0.072	0.161	0.265	0.182	0.054	-0.302	-0.687

$\Delta h = \frac{1}{2}(h_T - h_B)$	cm	7.850	17.500	22.050	33.500	27.700	20.200	14.700
$\frac{1}{3} \Delta h$	cm	2.616	5.833	7.350	11.160	9.230	6.733	4.900
s_h	cm	1.675	4.550	6.900	6.400	3.300	1.300	—

Tafel III: Übersicht über die Modellmessungen in Eckernförde 1958

Stand 25.3.70

Gruppen-Nr.	V	G	D	D	X	F _n	δ ₀	D ₀	ρ _v	Tag	Datum	Uhrzeit	Protokoll-Nr.	W	F'	L _w	H _w	Med.-dauer	Film		Auswerte-Nr.	Zeitmaßstab d. Schreibes (cm/s)	ρ _{max}	Bemerkungen
																			Nr.	m				
7	2	10	10D	100	10	10	10	10	100	Montag I	21.10.		1	5	2	1,5	10	4	3'30"	1	0/17	11		wenig See
7	2	10	10B	0	10	10	10	10	100				2					3'30"			12			
5	2	7	5B	0	25	25	25	25	100				3					3			13			
5	3	7	5B	0	25	25	25	25	100				4					3			14			
3	3	7	3B	0	25	25	25	25	100	Freitag I	25.10.		1	6	4	3,5	20	4'2"	6	1	0/17	15		starke See
3	3	10	10B	0	10	10	10	10	100				2					6			16			
4	4	10	10D	315	10	10	10	10	100				3					6			17			
4	4	7	5B	315	25	25	25	25	100				4					6			18			
4	4	7	10B	315	25	25	25	25	100	Montag II	28.10.		1	4	25	3	20	6	6'45"	2	0/14,5	19		nur schräg achtbarlich gefahren, bei gut!
3	3	10	15B	315	10	10	10	10	100				2					5	5'15"		110			großer Vorkrängung und mäßiger See
3	3	10	15B	315	10	10	10	10	100				3					—			111			kein Papiertransport (6' gemessen)
3	3	7	10B	315	25	25	25	25	100				4					—			112			
3	3	7	10B	315	25	25	25	25	100	Montag	29.10.	15:30	1	14	2	4	35	—	—	—		113		Abbruch wegen Sturm
4	4	7	5B	315	25	25	25	25	100	Montag II	30.10.	15:00	1	10	15	3	20	2	2	2	635/97	114		mäßige See
4	4	10	10B	315	10	10	10	10	100				2	8	15	3	20	5	1'10"		115			Wind nicht Modell auf
4	4	10	10B	45	10	10	10	10	100	Mittwoch	30.10.	15:30	3	6	15	3	20	1'10"			116			Abbruch wegen Halennabe, Wind krängt
2	2	10	10B	0	10	10	10	10	100				4	5	15	2	15	4'40"			117			Film transportiert zu langsam
2	2	7	5B	0	25	25	25	25	100				5	4	2	2	15	5			118			Wind schläft ein
1	1	7	5B	0	25	25	25	25	100				6	4	2	2	15	3			119			
4	4	7	10B	45	25	25	25	25	100	Donnerstag II	31.10.	14:00	1	4	3	3	20	4	4	0/12	120			gute See!
4	4	7	10D	315	25	25	25	25	100				2	4	3	3	20	4	23"		121			
4	4	10	15B	45	10	10	10	10	100				3	4	3	3	20	4	23"		122			90°
4	4	10	15B	45	10	10	10	10	100				3b	4	3	3	20	1'48"			123			90°
4	4	10	15D	45	10	10	10	10	100				3c	4	3	3	20	28"			124			90°
4	4	10	15B	315	10	10	10	10	100				4	2	3	3	20	4			125			groß
2	2	10	15B	0	10	10	10	10	100				5	4	3	2	15	3			126			Wind schläft ein
2	2	7	10B	0	25	25	25	25	100				6	2	3	2	15	4'50"			127			
4	4	7	10B	45	25	25	25	25	100	Montag I	4.11.	14:00	2	2	3	2	10	6			128			mäßige See
4	4	10	15B	45	10	10	10	10	100				3	2	3	2	10	10			129			Film transportierte nicht!
4	4	10	15B	0	10	10	10	10	100				4	2	3	2	10	3			130			Film 4 verdorben, nicht entwickelt!
5	5	10	15B	100	10	10	10	10	100				4	2	2	2	10	6			131			

X Die rot umrandeten Nummern sind ausgenutzt

Tafel 4

Übersicht über die Bezeichnungen zur Dämpfung

Begriff	Bezeichnung		
	Hütte	Blagoveshchensky	Vossers
DGL der freien Schwingung			
a) lineare Dämpfung	$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = 0$	$A_1\ddot{\theta} + 2N\dot{\theta} + D(r-a)\theta = 0$	$M_{rr}\ddot{\varphi} + N_{rr}\dot{\varphi} + B_{rr}\varphi = 0$
b) nichtlineare D.	$a\ddot{q} + b_2 \operatorname{sgn}\dot{q} \cdot \dot{q}^2 + cq = 0$	$A_1\ddot{\theta} + 2N\dot{\theta} \pm W\dot{\theta}^2 + D(r-a)\theta = 0$	$M_{rr}\ddot{\varphi} + N_{rr}^{(w)}\dot{\varphi} + N_{rr}^{(a)} \dot{\varphi} + B_{rr}\varphi = 0$
Kreisfrequenz	$\omega = \sqrt{\frac{c}{a}}$	$\omega = \sqrt{\frac{D(r-a)}{A_1}}$	$\omega = \sqrt{\frac{B_{rr}}{M_{rr}}}$
Dämpfungsmaß der linearen Dämpfung	$D = \frac{b}{2\sqrt{a \cdot c}} = \frac{b}{2a \cdot \omega}$	$\mu = \frac{N}{\sqrt{A_1 D(r-a)}} = \frac{N}{A_1 \cdot \omega}$	$\nu_{\varphi} = \frac{N_{rr}}{\sqrt{B_{rr} M_{rr}}} = \frac{N_{rr}}{M_{rr} \cdot \omega}$
		$D = \mu = \frac{\nu_{\varphi}}{2}$	
	$\frac{b}{a} = 2\delta = 2D \cdot \omega$		$\nu_{\varphi}^0 = \frac{N_{rr} \sqrt{g \cdot B}}{\rho \cdot g \cdot B^2 \cdot \nabla}$ $\nu_{\varphi}^0 = \nu_{\varphi} \cdot \kappa_{\varphi} \sqrt{\frac{B_{rr}}{B}}$ $\kappa_{\varphi} = \frac{M_{rr}}{g B^2 \nabla}$
Logarithmisches Dekrement	$\vartheta = 2\pi D$	$\frac{\nu T_c}{2} = \pi \mu$ $\nu = \frac{N}{A_1}, T_c = \frac{2\pi}{\omega}$	$\delta = \frac{\pi N_{rr}}{\omega \cdot M_{rr}} = \pi \nu_{\varphi}$
	$\vartheta = \nu T_c = \delta$		
	$\vartheta = \ln \left \frac{Q_n}{Q_{n+1}} \right $	$\frac{\nu T_c}{2} = \ln \left \frac{\theta_n}{\theta_{n+1}} \right $	$\delta = \ln \left \frac{\varphi_n}{\varphi_{n+1}} \right $

Tafel 5

Meilenfahrt

Meßstrecke ① 30m

3.10.1968

(kleine Wellen in
Molenrichtung)

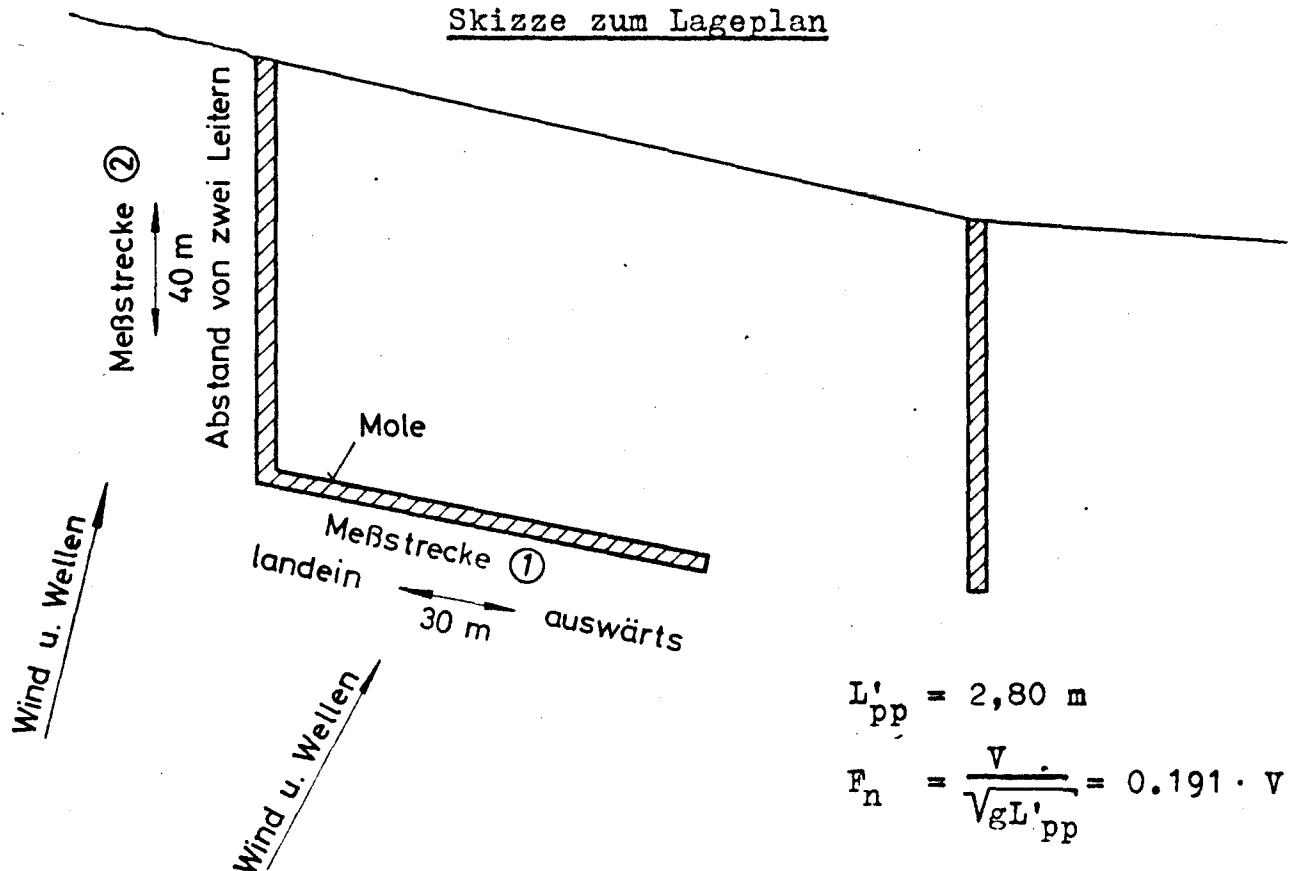
Meßstrecke ② 40m

21.10.1968

Regen

Fahrtstufe	auswärts		landein		(auswärts) vorlich		(landein) achterlich	
	sec	m/sec	sec	m/sec	sec	m/sec	sec	m/sec
1	41,4	0,725	50 44	0,6 0,68	56	0,714	49	0,82
2	29	1,03	27	1,11	34,1	1,18	32,2	1,24
3	22,5	1,33	23,5	1,28	29,7 29,8	1,34 1,35	29,2 29,0	1,37 1,38
4	19,7	1,52	21	1,43				
5	18,5 18,2	1,62 1,65	19,5	1,54				

Skizze zum Lageplan



$$L'_{pp} = 2,80 \text{ m}$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL'_{pp}}} = 0.191 \cdot V$$

Mittlere Dämpfungsmaße und Trägheitsradien
in Glattwasser bei Modell ohne Fahrt

Bez. im Programm	DKG						F1	KAPPA
Nr. der Gew. Stellung	$GM_{GW,S}$ m	$T_{0,M}$ sec	$T_{0,S}$ sec	$\omega_{0,S} = \frac{2\pi}{T_{0,S}}$ sec ⁻¹	$\delta_{0,M} = D_0 \omega_{0,M} = \frac{1}{T_{0,M}} \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$	$\delta_{0,S}, \text{sec}$ $= \delta_{0,M} / \left(\frac{L_S}{L_M}\right)^{\frac{1}{2}}$	i_{yp} / B	-
a) Modell ohne Schlingerkielen								
6	0,32	2,80	16,7	0,376	0,0377	0,0063	0,306	
7	0,26	3,05	18,2	0,346	0,0303	0,0051	0,298	
10	0,08	4,65	27,7	0,227	0,0393	0,0066	0,273	
						Mittelwert für Rechnung:	<u>F1 = 0,0060</u>	
b) Modell mit Schlingerkielen								
						aus Bild 11: $\delta_{0,S}$		
6	0,32	2,90	17,3	0,363	0,0838	0,0141	0,341	
7	0,26	3,20	19,1	0,329	0,0745	0,0125	0,340	
10	0,08	5,27	31,4	0,200	0,060	0,0101	0,316	
						Mittelwert für Rechnung:	<u>F1 = 0,0122</u>	
		$L_S / L_M = 35,7$				$L_S = 100 \text{ m}$		
		$(L_S / L_M)^{\frac{1}{2}} = 5,96$				$B_S = 14,3 \text{ m}$		
		$i_{yp} = \frac{T_{0,S}}{2\pi} \sqrt{g GM_{GW}}$						

Übersicht über Versuche in achterlicher See

Eckernförde 1968

ohne Schlingerkieler

V. Nr.	Datum	Zeit/Dauer	G ^M /GW Nr. / m	Nr. / Fm	Vorkrängg.	W _{min} / F ₂ / K ₂ sec	L _w / H _w m	Film Nr. - Länge
1.5	25.10.	12,09/6 min	7/0.26	3/0.26	3° Bb.	6/4	3,5 0,20	1-0/17 m 32 B/sec
Rollmo, sydegr.		J ₀ , sec						
40,0		0,06						
1.6	25.10.	12,40/6 min	10/0.10	3/0.26	10° Bb.	6/4	3,5 0,20	1-17/39,5 32 B/sec
Rollmo, sydegr.		J ₀ , sec						
35,3		0,06						

mit Schlingerkielen

1.17	30.10.	15,40/5 min	10/0.10	2/0.19	10° Bb	5/1.5	2/0.75	2-97/105 24 B/sec
Rollmo		J ₀ , sec						
		0,12						
1.18	30.10.	15,50/5 min	7/0.26	2/0.19	5° Bb	4/2	2/0.75	2-105/120 24 B/sec
		J ₀ , sec						
		0,12						

T_n	total length of record
Δt	sampling interval
n	total amount of sampling intervals
$n+1$	total amount of samples
T_m	maximum time lag
$\Delta \tau$	minimum time lag
m	ratio $\frac{T_n}{T_m}$, number of record pieces to be analyzed
p	ratio $\frac{T_m}{\Delta \tau}$, total number of time lags used
q	total number of spectral estimates plotted
h	ratio $\frac{\Delta \tau}{\Delta t}$, minimum time lag - sampling interval ratio
F	equivalent degree of freedom
$1 - \alpha$	confidence level
f_{\max}	maximal frequency without aliasing
f_N	Nyquist frequency (folding frequency)
f_k	mean frequency in frequency band
Δf_k	frequency band
Δf_{\min}	frequency resolution

Frequency Resolution at Different Projects

DFT Discrete Fourier Transformation FFT Fast Fourier Tr.

	Eckern- förde 1968	Berkeley 1972	M.I.T. RTD (Loukakis)	Stochastic right arms Hmb. 1968	Program KENTERN Hmb. 1972	
SERIES NO.	1. XX				2. XX	
L_s/L_M	1.0	1.0	1.0			
Δt , sec	0.20	0.2048	0.10	0.167	0.04	
h , -	1	1	1	1	8	
$\Delta \tau$, sec	0.20	0.2048	0.10	0.167	0.33	
f_N , Hz	2.50	2.44	5.0	3.0	1.50	
m , -	100	32 by blocking	60	50	200	
T_m , sec	20.0	6.55	6.0	8.3	33.3	
Δf , mHz	25.0	153.6	83.4	120.0	30.0	
T_n , sec	120... 600	417.0	3600?	167.6	600.0	
METHOD USED	DFT	FFT	DFT	DFT	DFT	
L_s/L_M	35.7	30.189	96.0	35.7	35.7	
$(L_s/L_M)^{1/2}$	5.98	5.5	9.8	5.98	5.98	
Δt , sec	1.20	1.13	0.98	1.00	0.25	
$\Delta \tau$, sec	1.20	1.13	0.98	1.00	1.00	
f_N , Hz	0.42	0.44	0.51	0.50	0.50	
T_m , sec	120	36	59	50	200	
Δf , mHz	4.2	28.0	8.5	20.0	5.0	
T_n , sec	120... ...3600	2300	36000?	1000	3600	
$F \approx 2 \frac{T_n}{T_m}$	12... 60	128	600?	40	36	
$\bar{C} (\alpha = 0.95)$		1.31		$1-\alpha$	1.35	
$\underline{C} (\alpha = 0.95)$		0.80		= 0.90	0.775	

0400*S80040/46/KREIMANN

-HH RZ UNI HAMBURG

25.01

NO. = 1.05 RECORD NUMBER
N = 1780 SAMPLE SIZE
TN = 356.00 SEC TOTAL LENGTH OF RECORD
DT = 0.20 SEC SAMPLE SPACING
TAU/DT = 1.000
TAU = 0.20 SEC MINIMUM TIME LAG
FN = 2.5000 CPS (HERTZ) NYQUIST FREQUENCY

FMAX = 1.6675 CPS
M = 100 UPPER NUMBER OF TIME LAGS
TM = 20.00 SEC MAXIMUM TIME LAG M*TAU
DF = 25.00 MCPS FREQUENCY RESOLUTION
TN/TM = 17.800 RATIO RECORD LENGTH VERSUS MAX. LAG
F = 35 EQUIVALENT DEGREE OF FREEDOM

CONFIDENCE RANGE BASED ON APPROXIMATION
OF THE INVERSE CHISQUARE - DISTRIBUTION FOR
F LARGER THAN 30

CUP = 1.558 UPPER CONFIDENCE LIMIT
CLOW = 0.703 LOWER CONFIDENCE LIMIT
CLEVEL = 0.900 (1-ALPHA) CONFIDENCE LEVEL

TIME SERIES ORDINATES NOT NORMALIZED

VARIANCE =	39.9746	0.1002	53.3154	3.43
SPECTRAL AREA =	0.9921	0.9870	0.9960	1.0011
	Roll	Acc.	Virt. Roll	Pitch

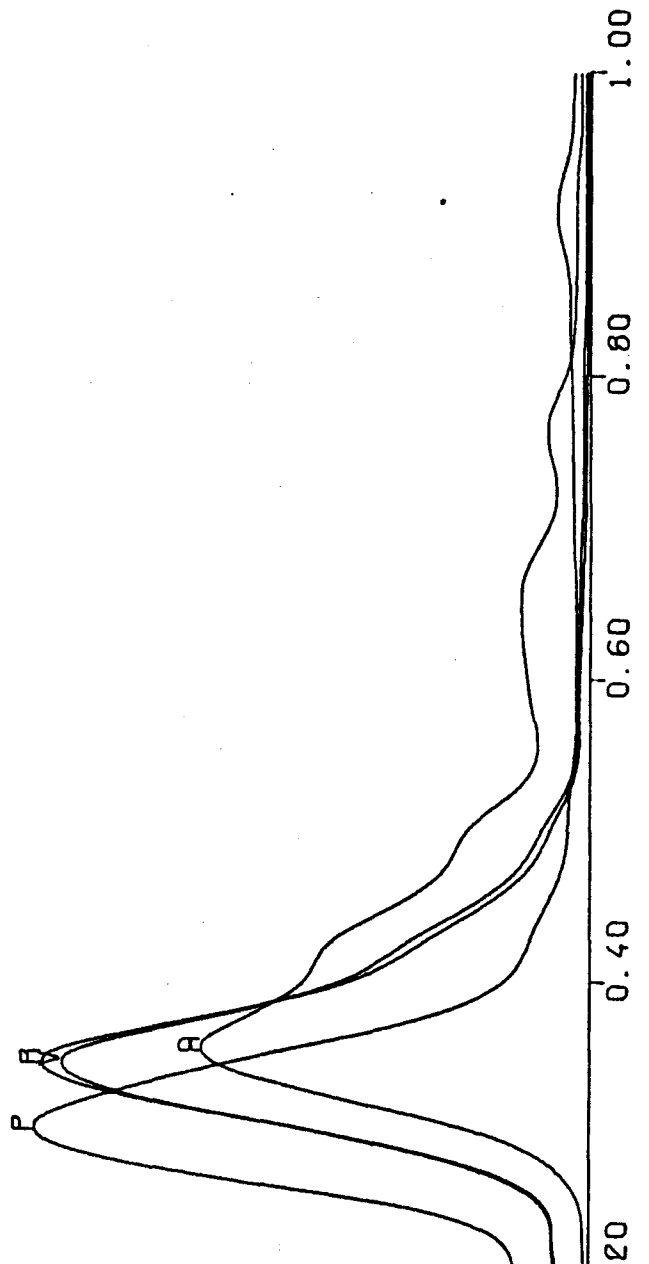
FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

SERIES NO. 1.05

<u>KEY</u>	<u>VARIANCE</u>
A ROLL	39.97
A ROLL ACCELERATION	0.10
V VIRT. ROLL	53.32
P PITCH	3.43

15.00
10.00
5.00
0.00

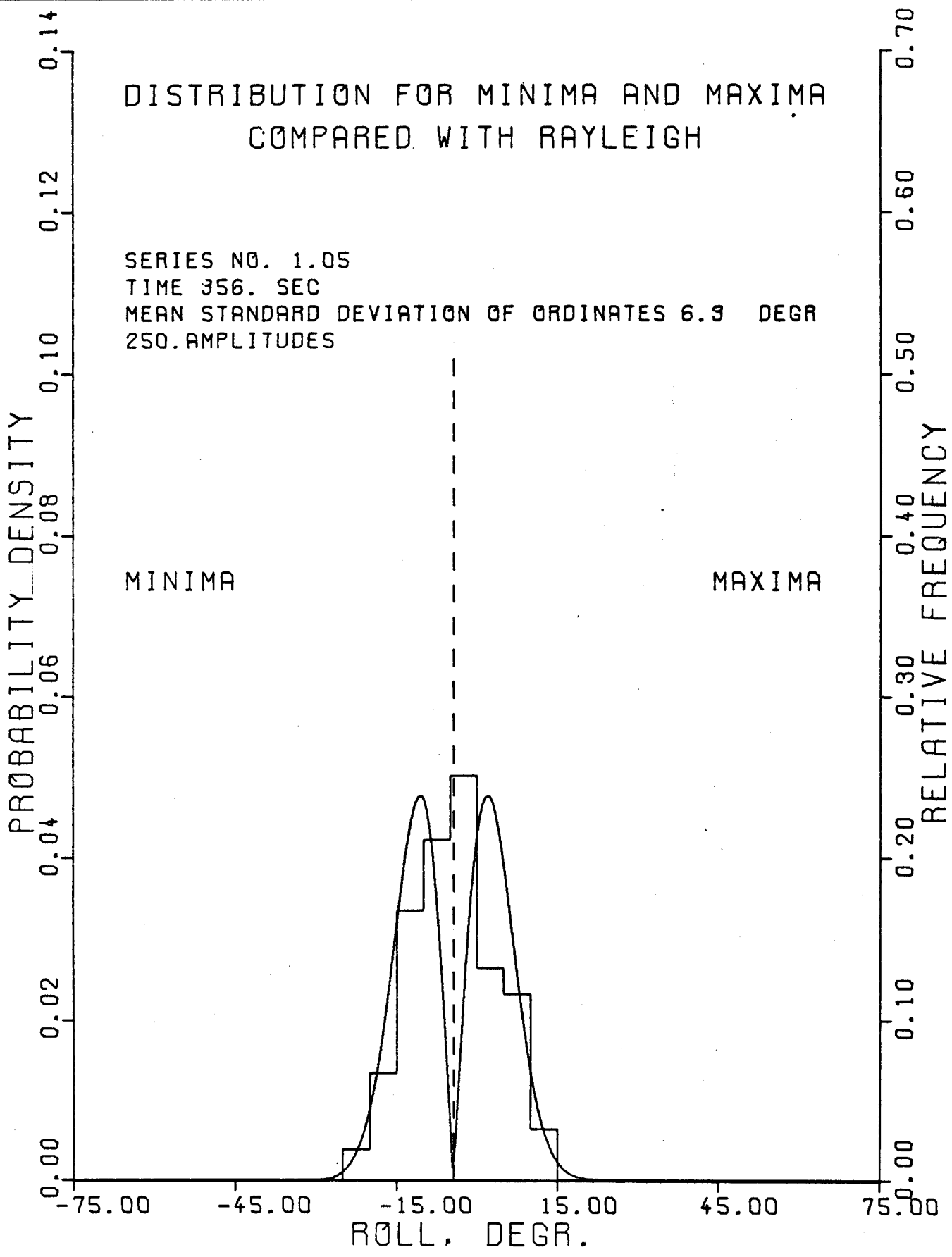
NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC



FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

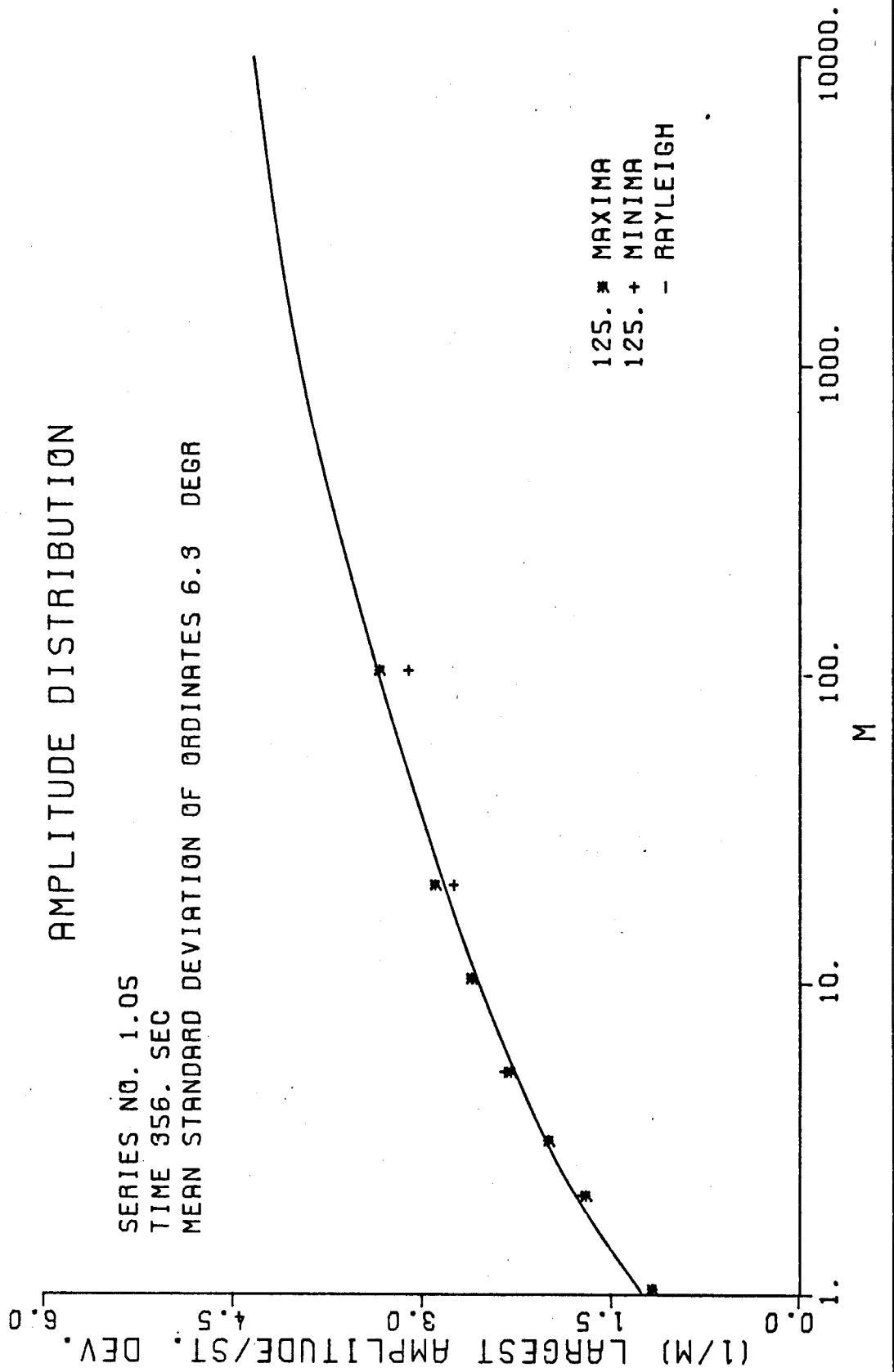
DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA
COMPARED WITH RAYLEIGH

SERIES NO. 1.05
TIME 356. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 6.9 DEGR
250. AMPLITUDES



AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.05
TIME 356. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 6.3 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.05
VARIANCE = 39.97 SQ. DEGR.

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

15.00
10.00
5.00
0.00

1.00

0.80

0.60

0.40

0.20

0.00

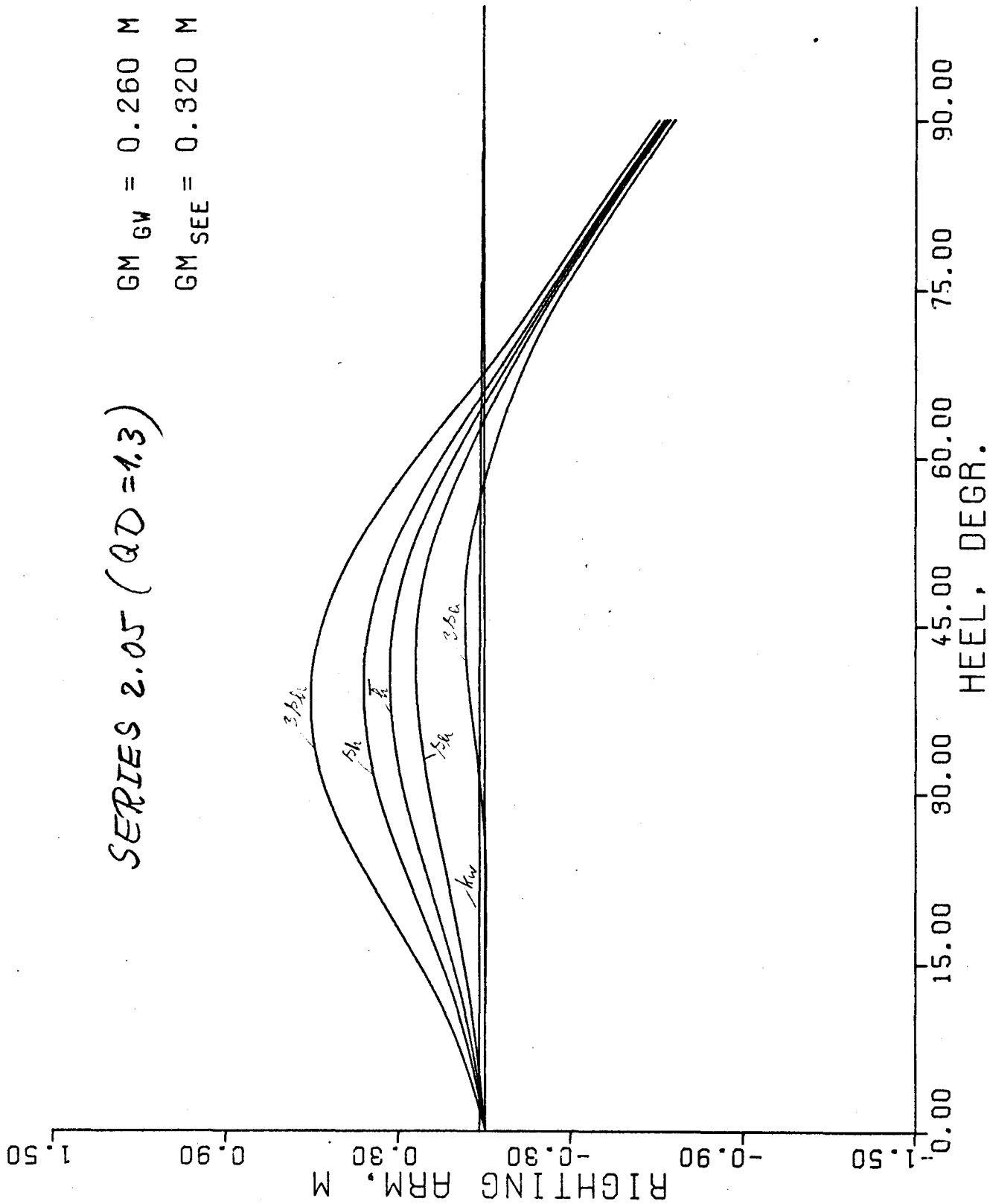
FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



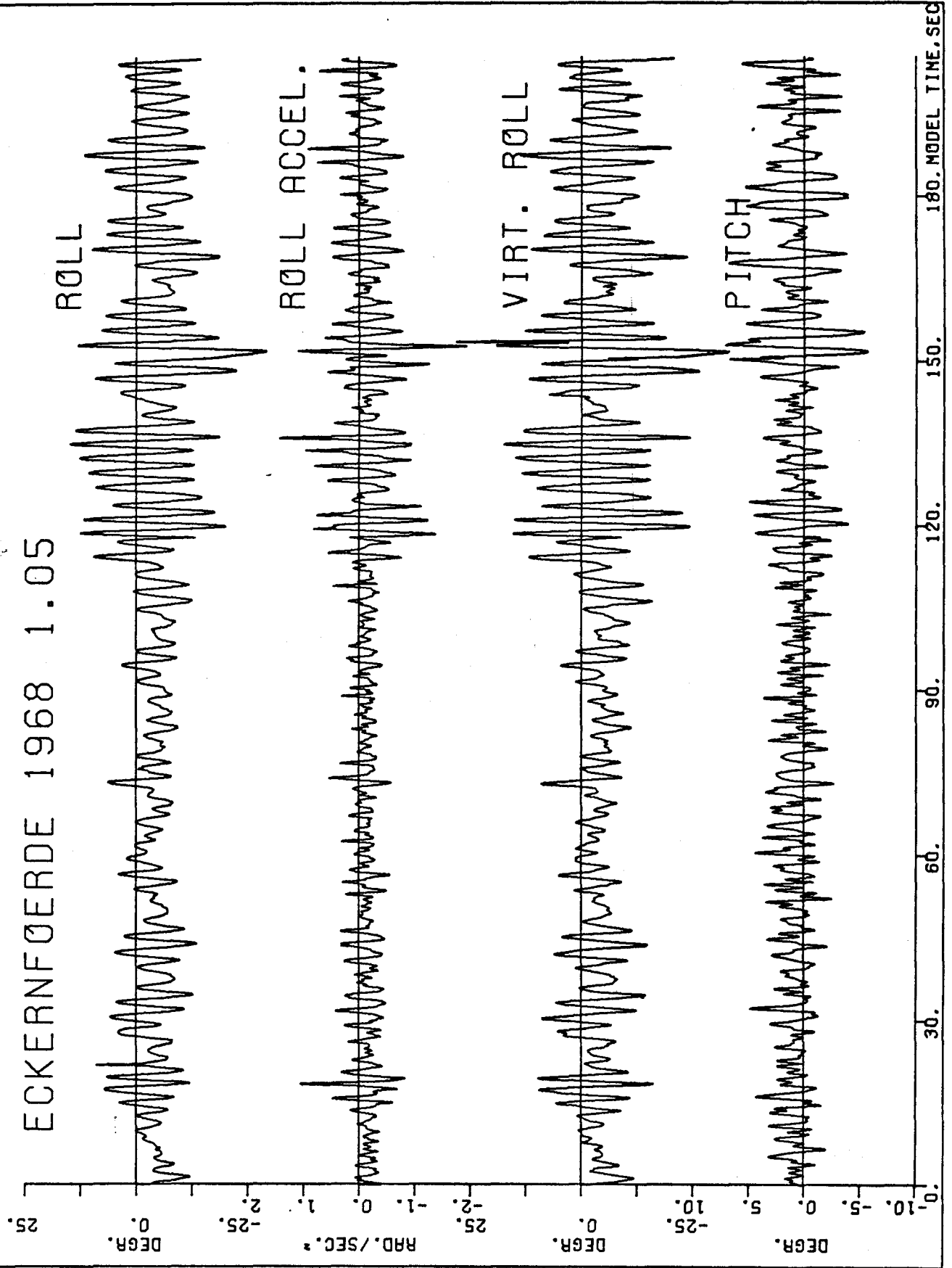
SERIES 2.05 (GD = 1.3)

GM_{GW} = 0.260 M

GM_{SEE} = 0.320 M



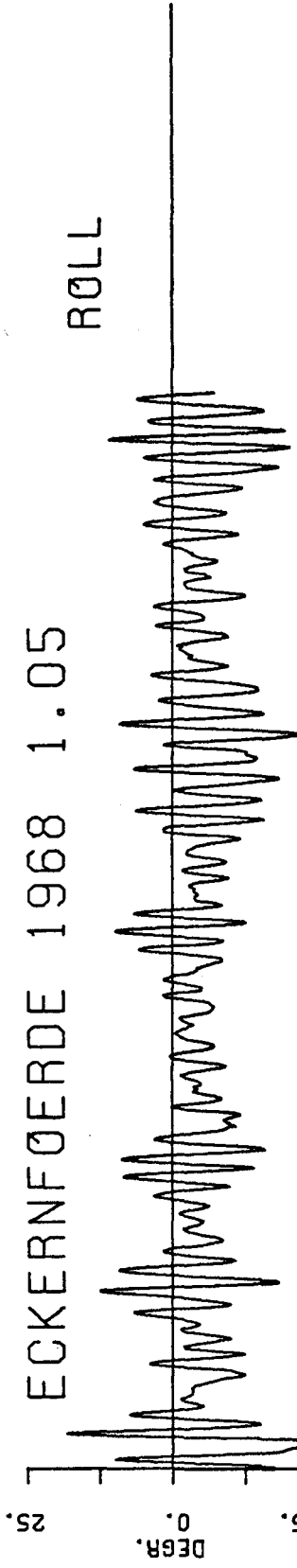
ECKERNFØRDE 1968 1.05



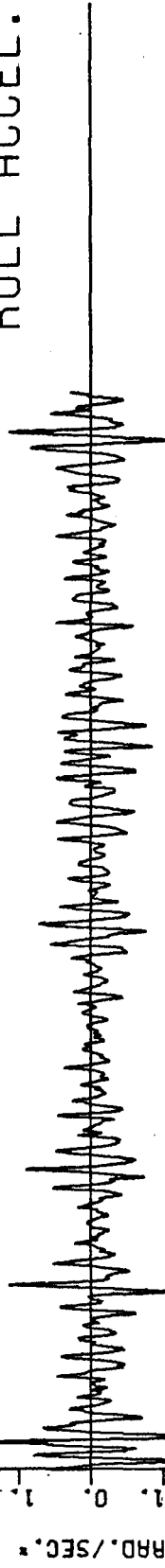
0. 10. -5. 0. 5. -25. 0. DEGR. 0. 1. -1. 0. -25. 2. RAD./SEC.² 0. 10. -25. 0. DEGR. 0. 5. -10. 0. DEGR. 30. 60. 90. 120. 150. 180. MODEL TIME, SEC

ECKERNFØERDE 1968 1.05

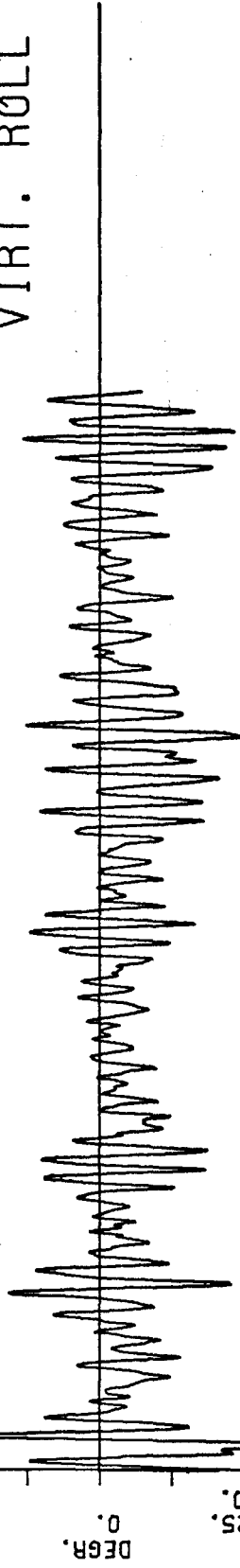
RØLL



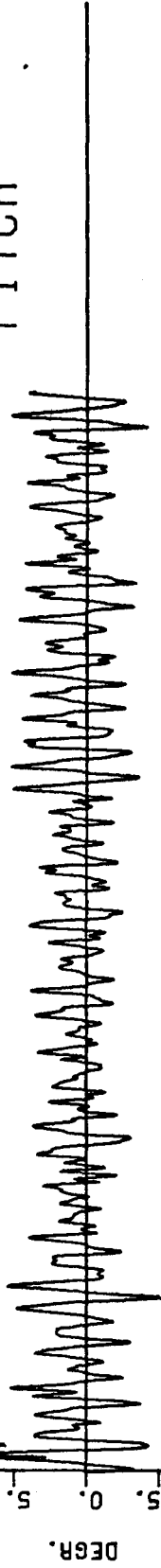
RØLL ACCEL.



VIRT. RØLL



PITCH



180. MODEL TIME, SEC

NU. = 1.22 RECORD NUMBER
 N = 101 SAMPLE SIZE
 TN = 20.20 SEC TOTAL LENGTH OF RECORD
 DT = 0.20 SEC SAMPLE SPACING
 TAU/DT = 1.000
 TAU = 0.20 SEC MINIMUM TIME LAG
 FN = 2.5000 CPS (HERTZ) NYQUIST FREQUENCY

FMAX = 1.6675 CPS
 M = 100 UPPER NUMBER OF TIME LAGS
 TM = 20.00 SEC MAXIMUM TIME LAG M*TAU
 DF = 25.00 MCPS FREQUENCY RESOLUTION
 TN/TM = 1.010 RATIO RECORD LENGTH VERSUS MAX. LAG
 F = 1 EQUIVALENT DEGREE OF FREEDOM

CONFIDENCE RANGE BASED ON APPROXIMATION
 OF THE INVERSE CHISQUARE - DISTRIBUTION FOR
 F LARGER THAN 30

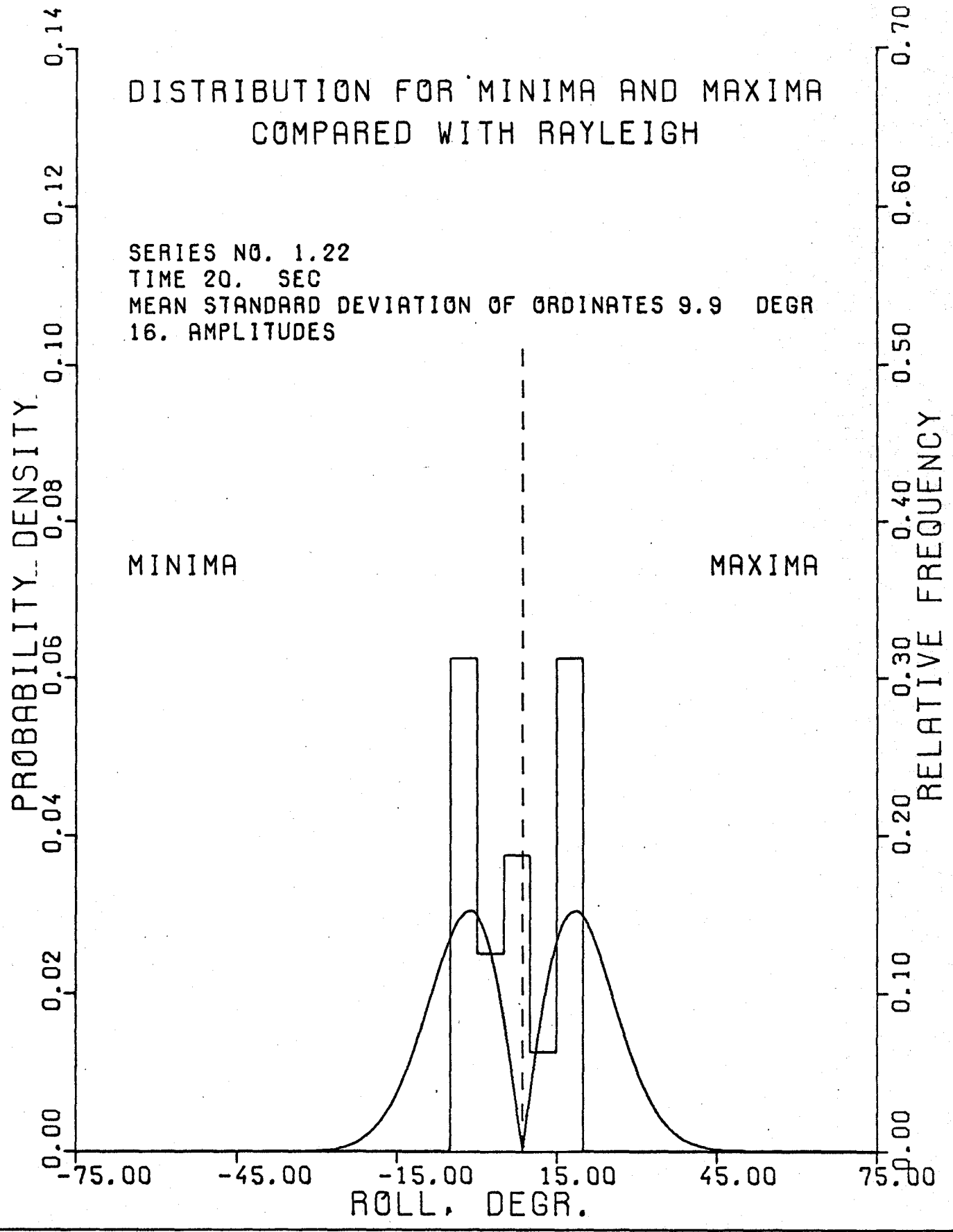
CUP = 7.564709001081+007 UPPER CONFIDENCE LIMIT
 CLW = 0.267 LOWER CONFIDENCE LIMIT
 CLEVEL = 0.900 (1-ALPHA) CONFIDENCE LEVEL

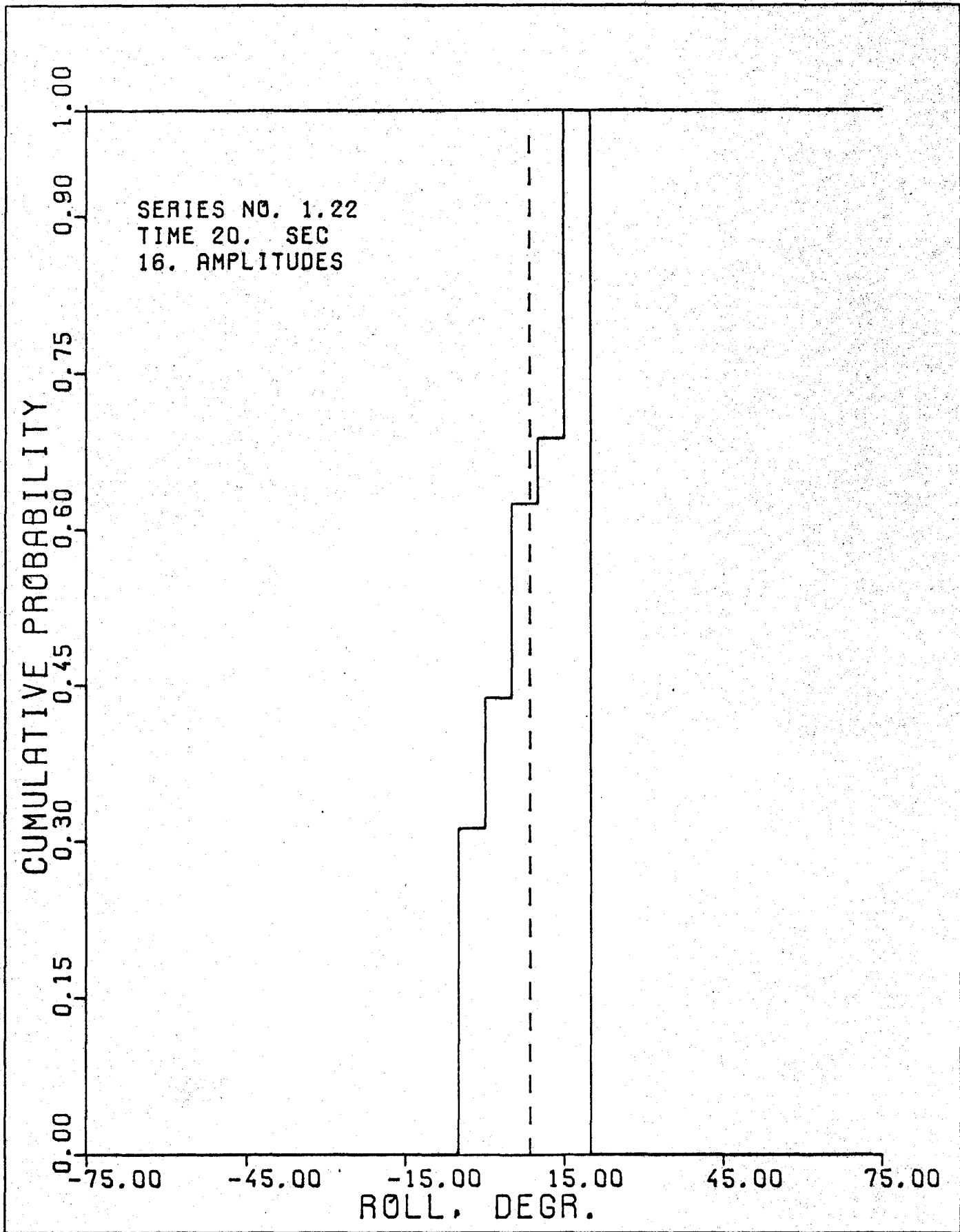
TIME SERIES ORDINATES NOT NORMALIZED

VARIANCE =	98.5589	0.0586	372.47	2.12
SPECTRAL AREA =	1.1936	1.7184	1.254	1.422
		Roll	Acc. Virt. Roll	Pitch

DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

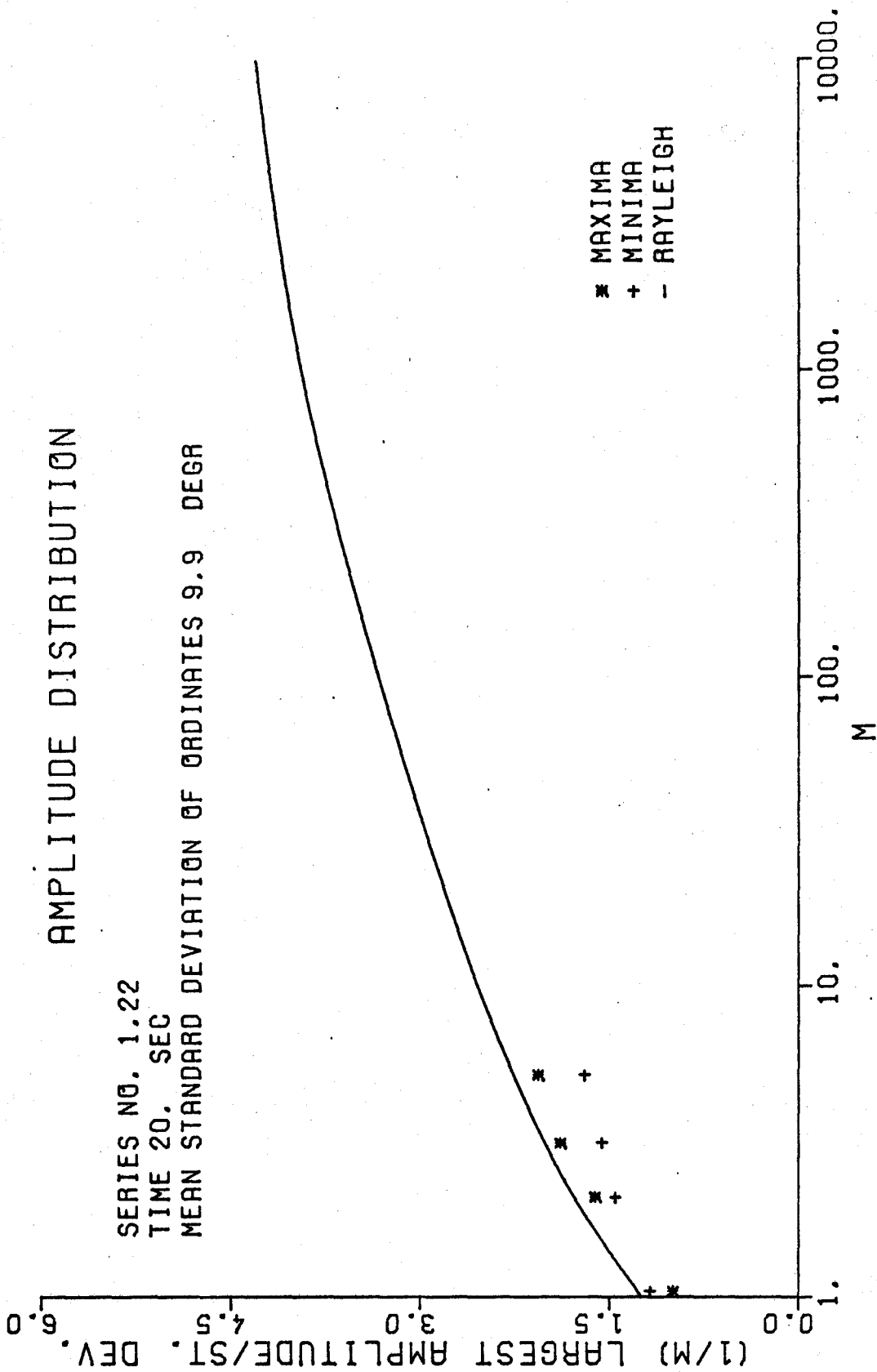
SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 9.9 DEGR
16. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 9.9 DEGR



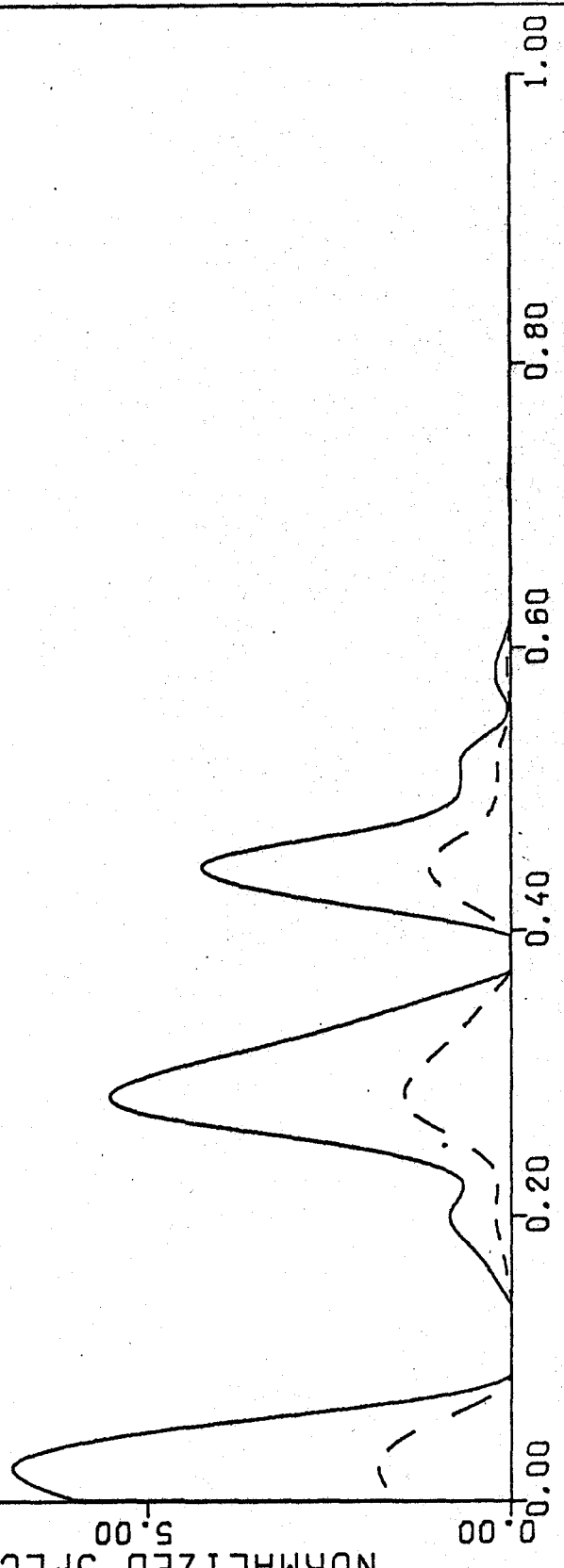
FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.22
VARIANCE = 98.72 SQ. DEGR.

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

15.00
10.00
5.00
0.00



FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

1.00

0.80

0.60

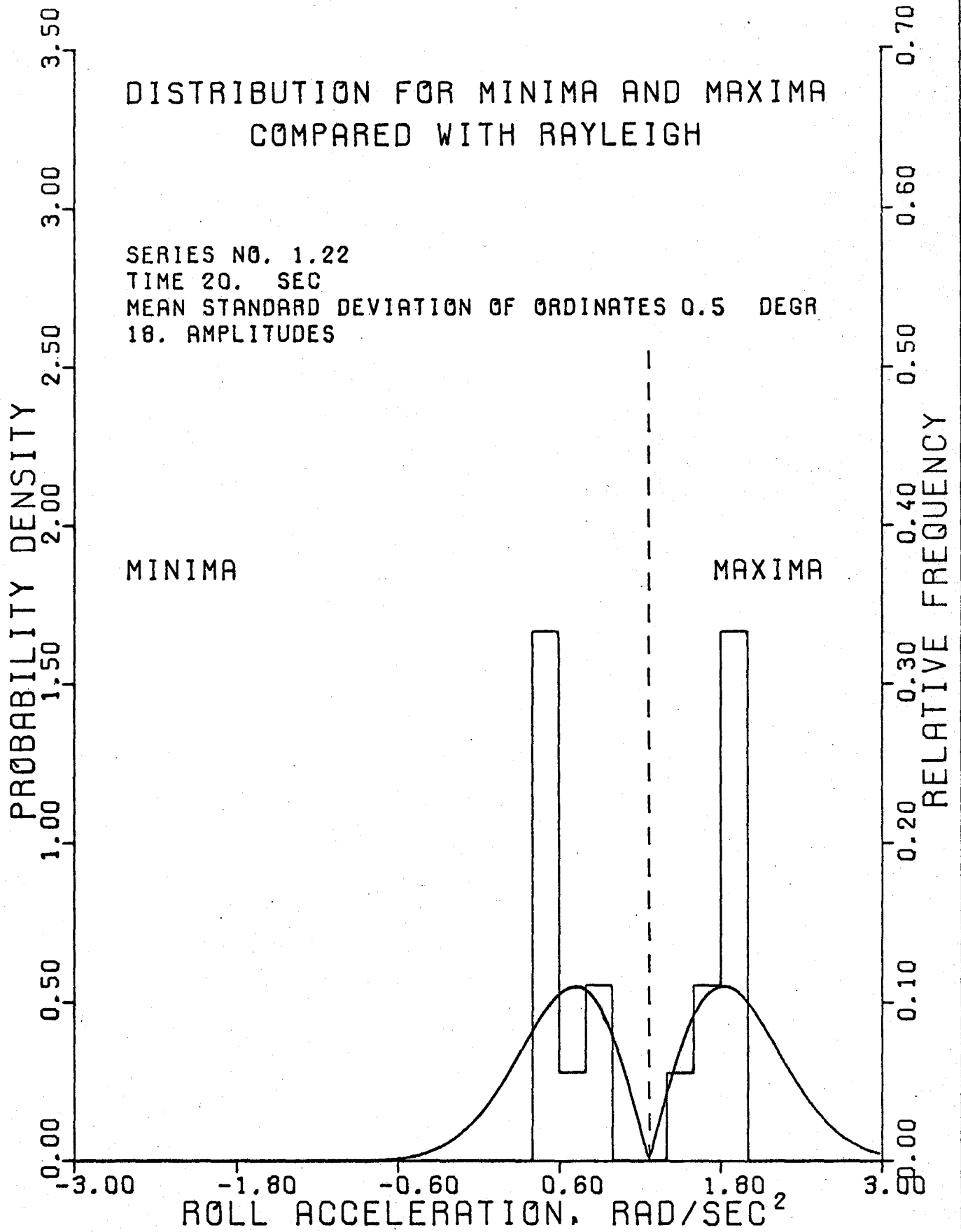
0.40

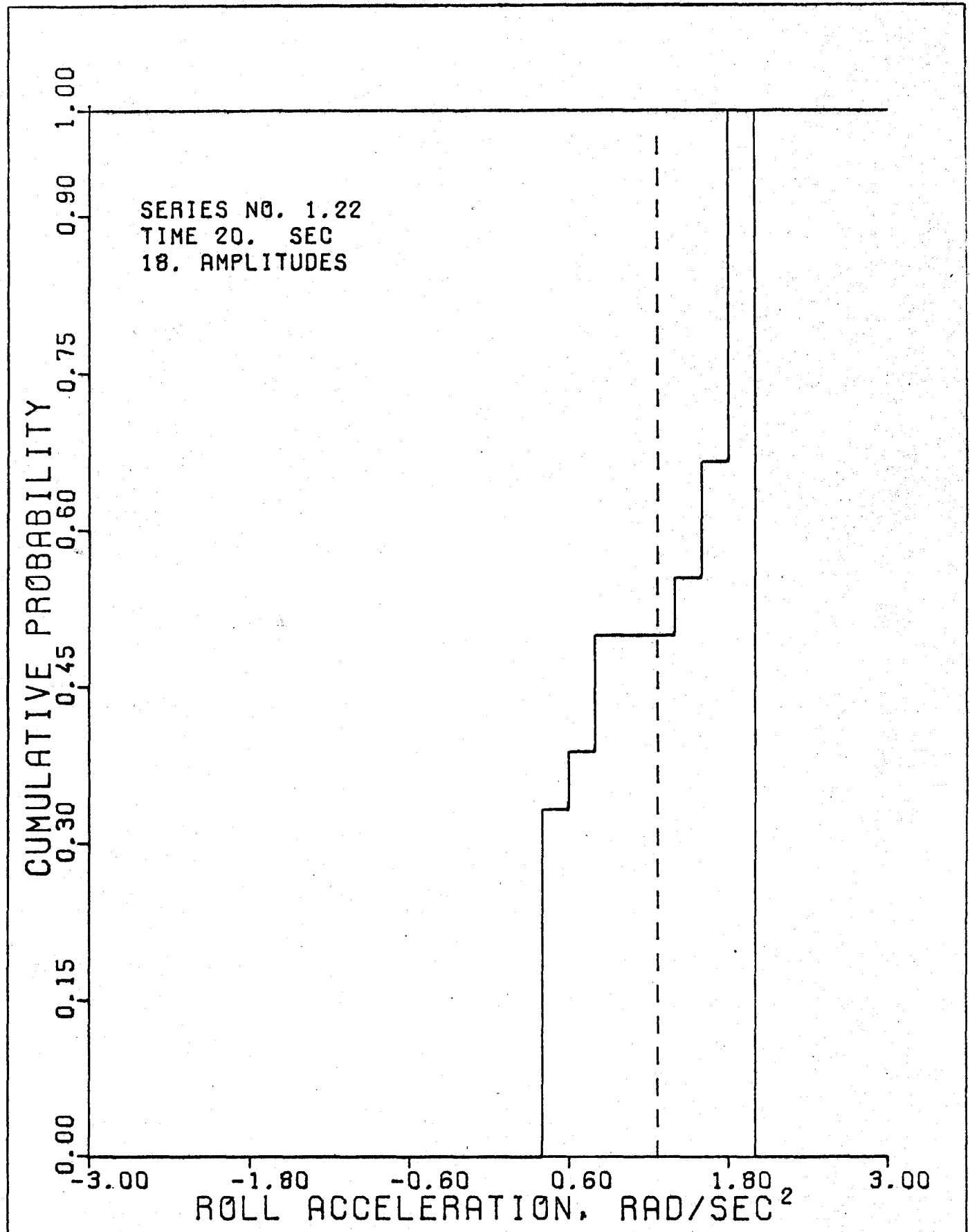
0.20

0.00

DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.5 DEGR
18. AMPLITUDES



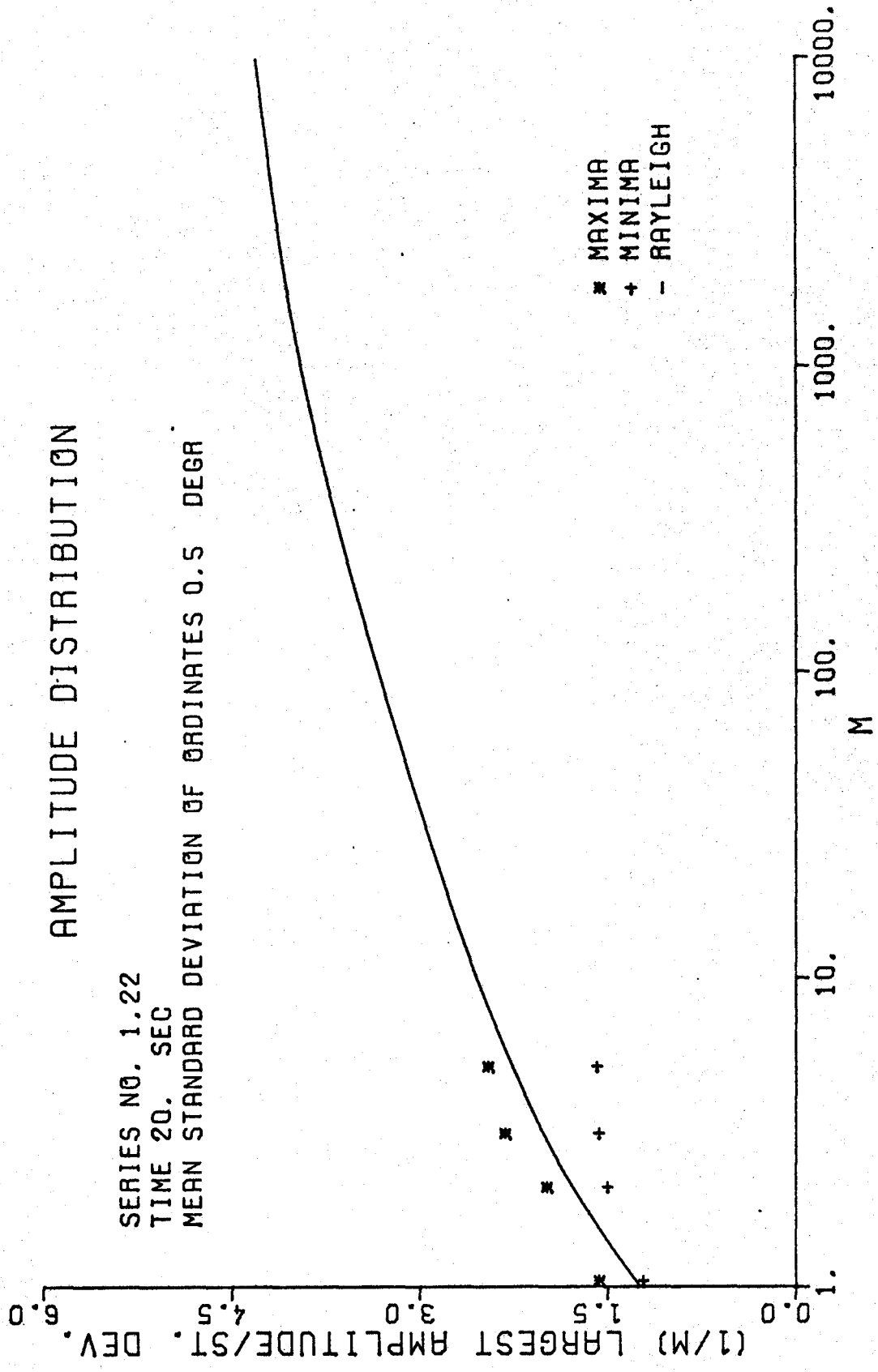


AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.22

TIME 20. SEC

MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.5 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.22
VARIANCE = 0.30 SQ. DEGR.

15.00

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

10.00

5.00

0.00

0.40

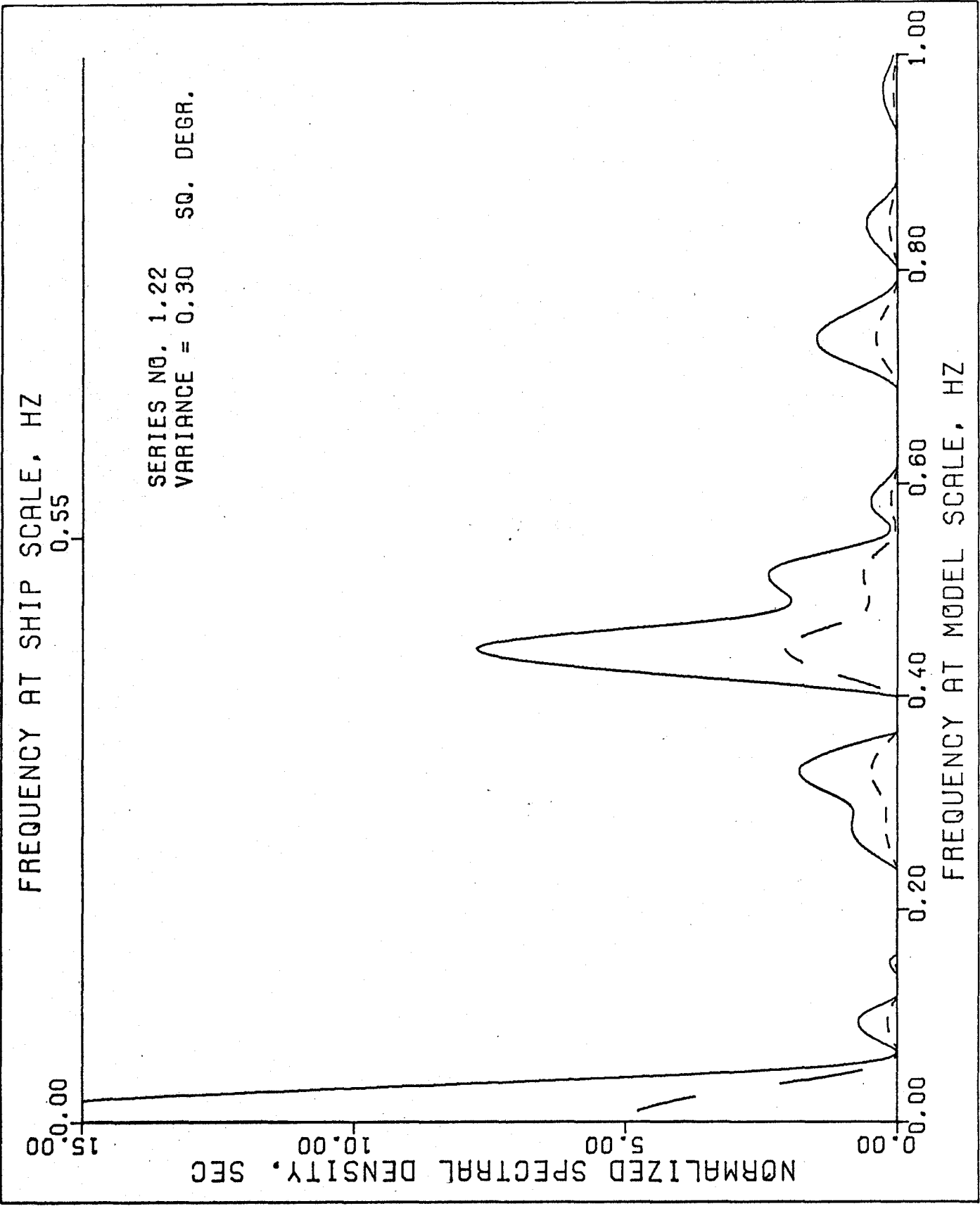
0.20

0.60

0.80

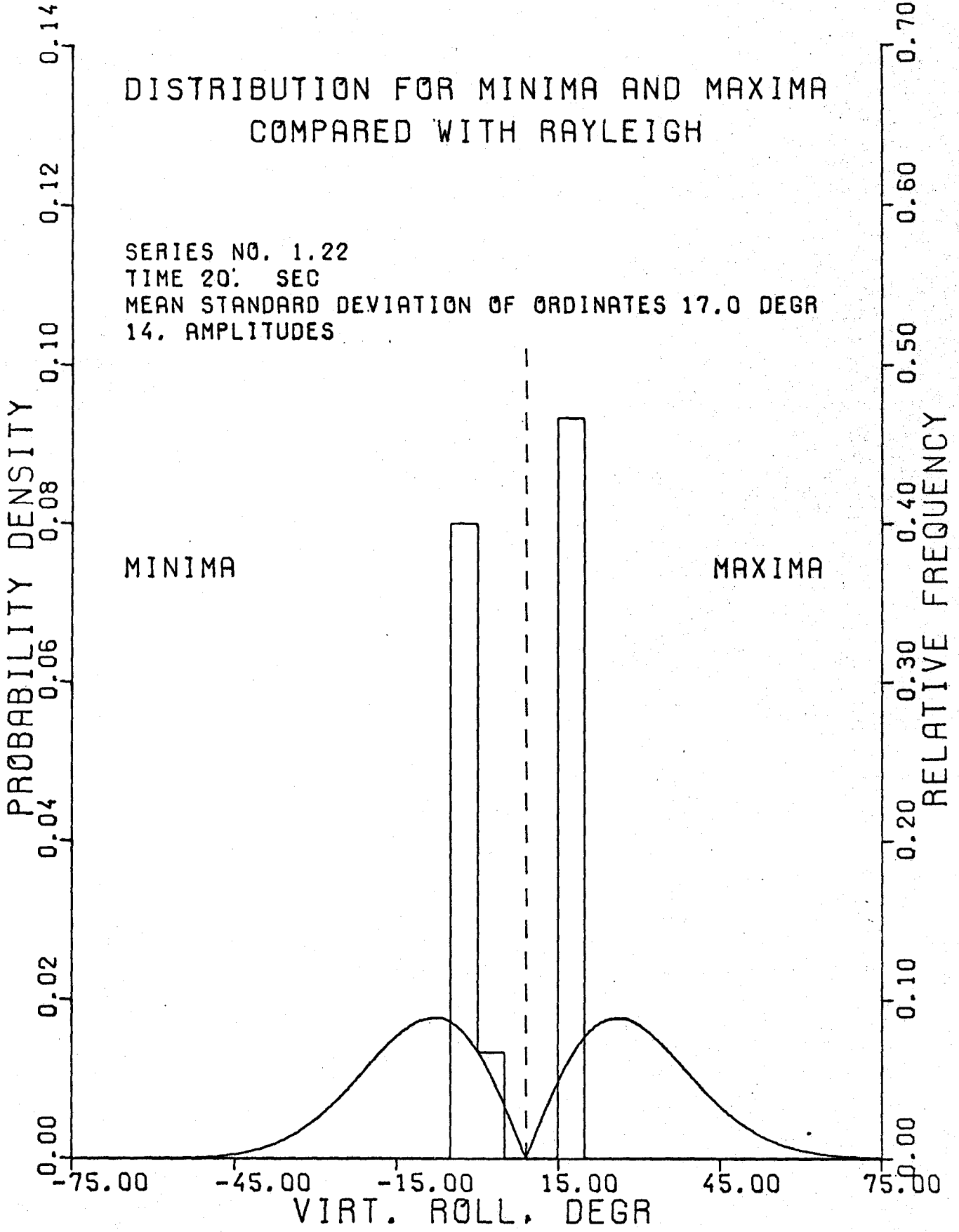
1.00

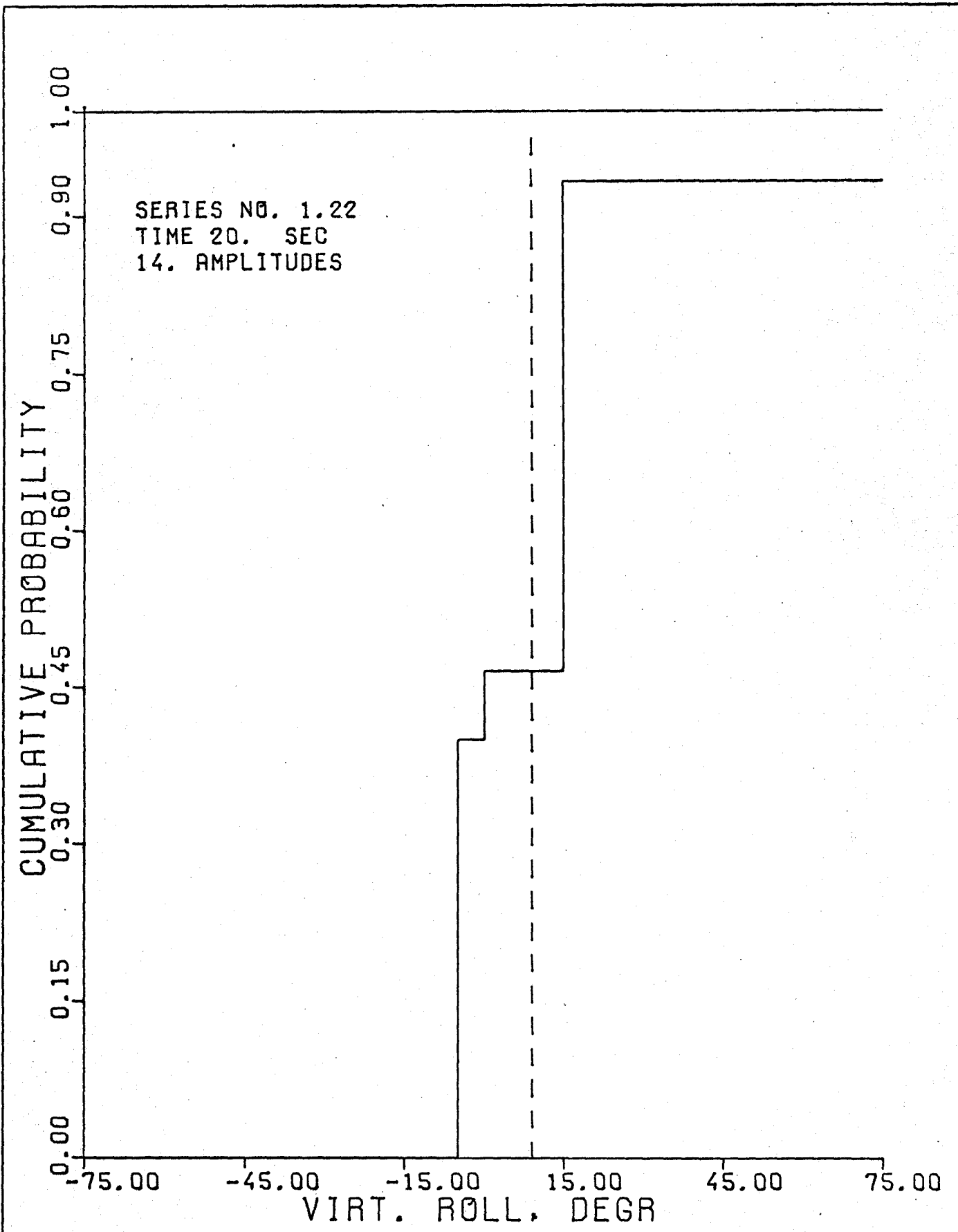
FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

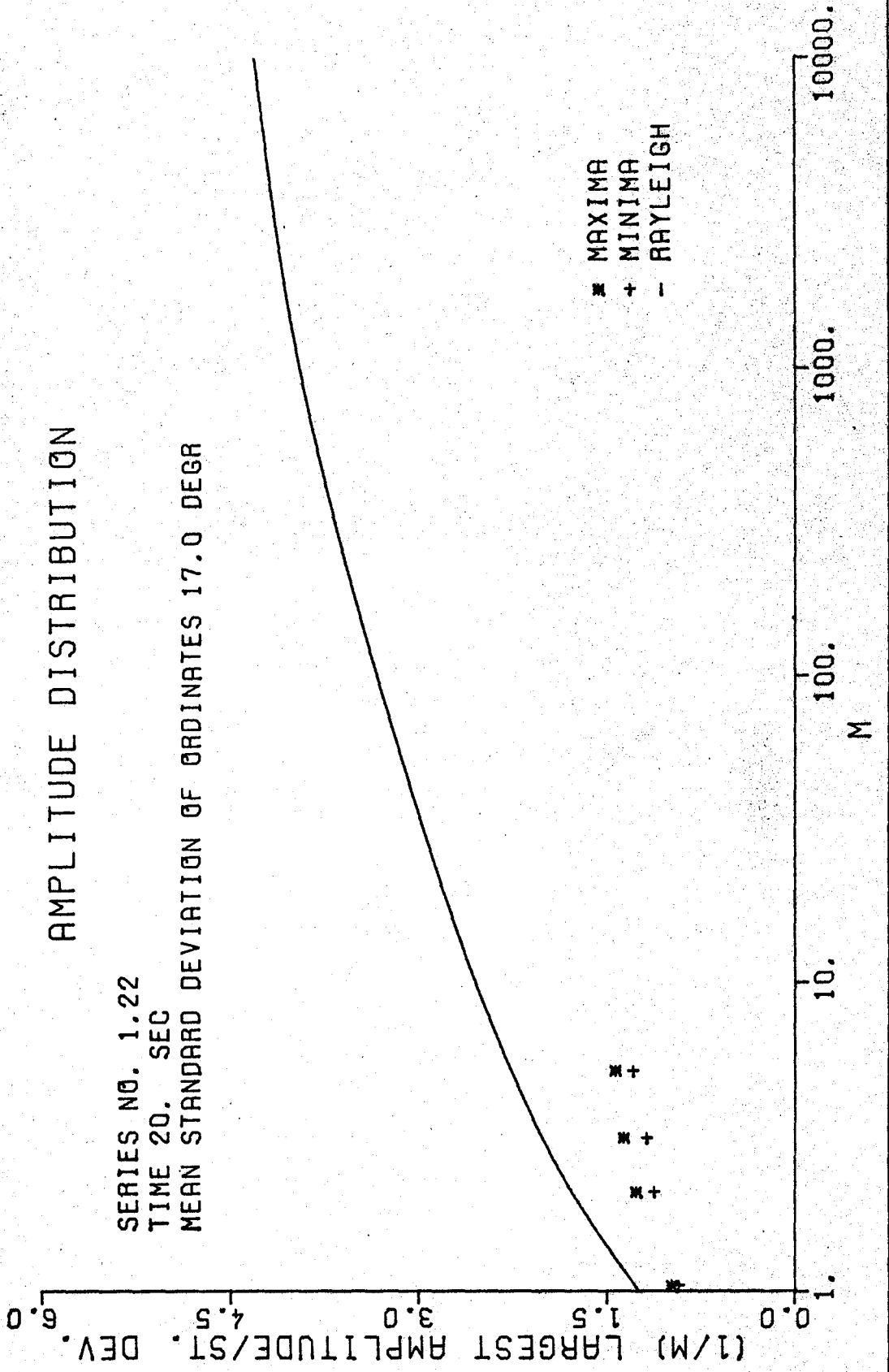
SERIES NO. 1.22
TIME 20: SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 17.0 DEGR
14. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 17.0 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

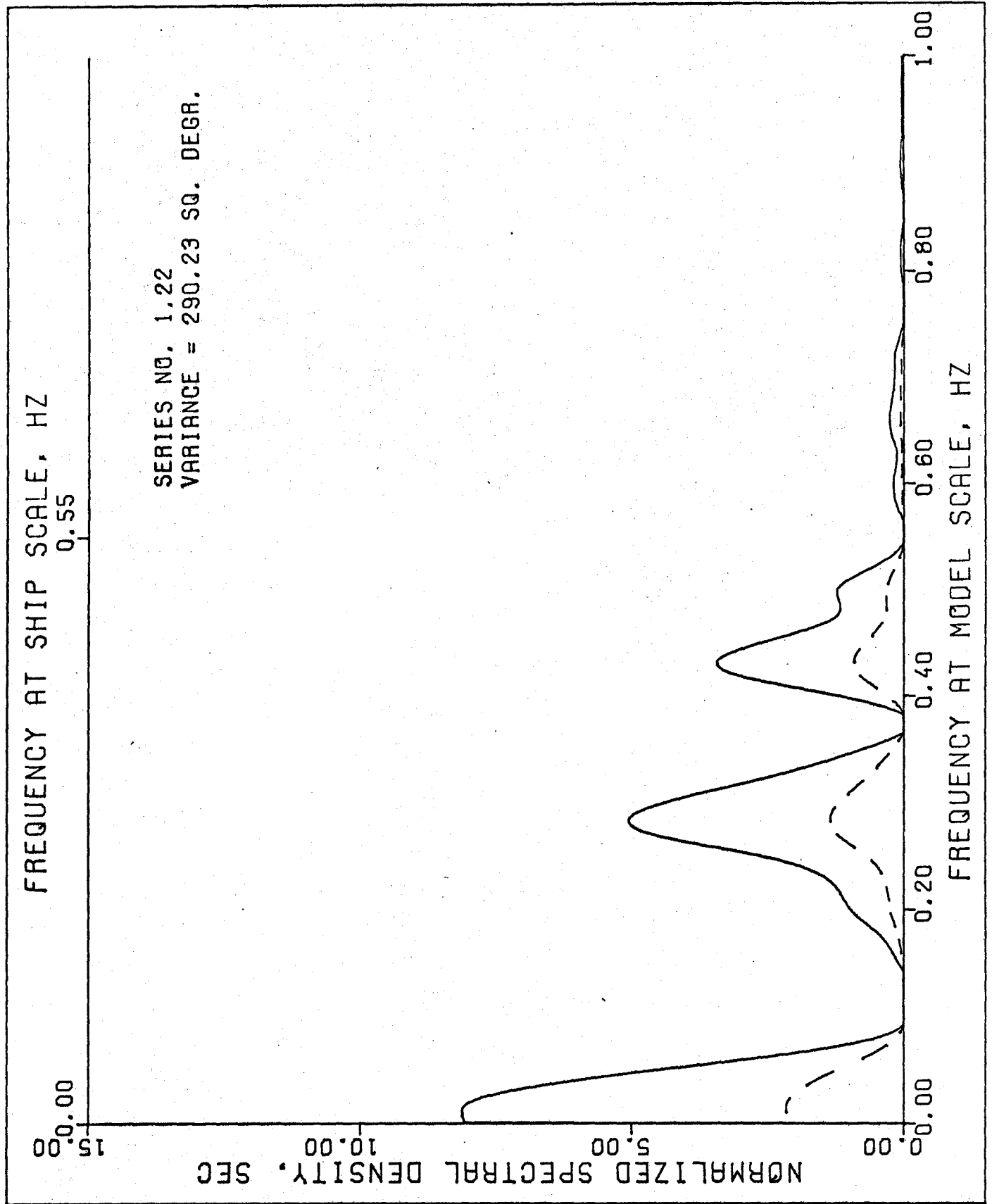
SERIES NO. 1.22
VARIANCE = 290.23 SQ. DEGR.

15.00
10.00
5.00
0.00

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

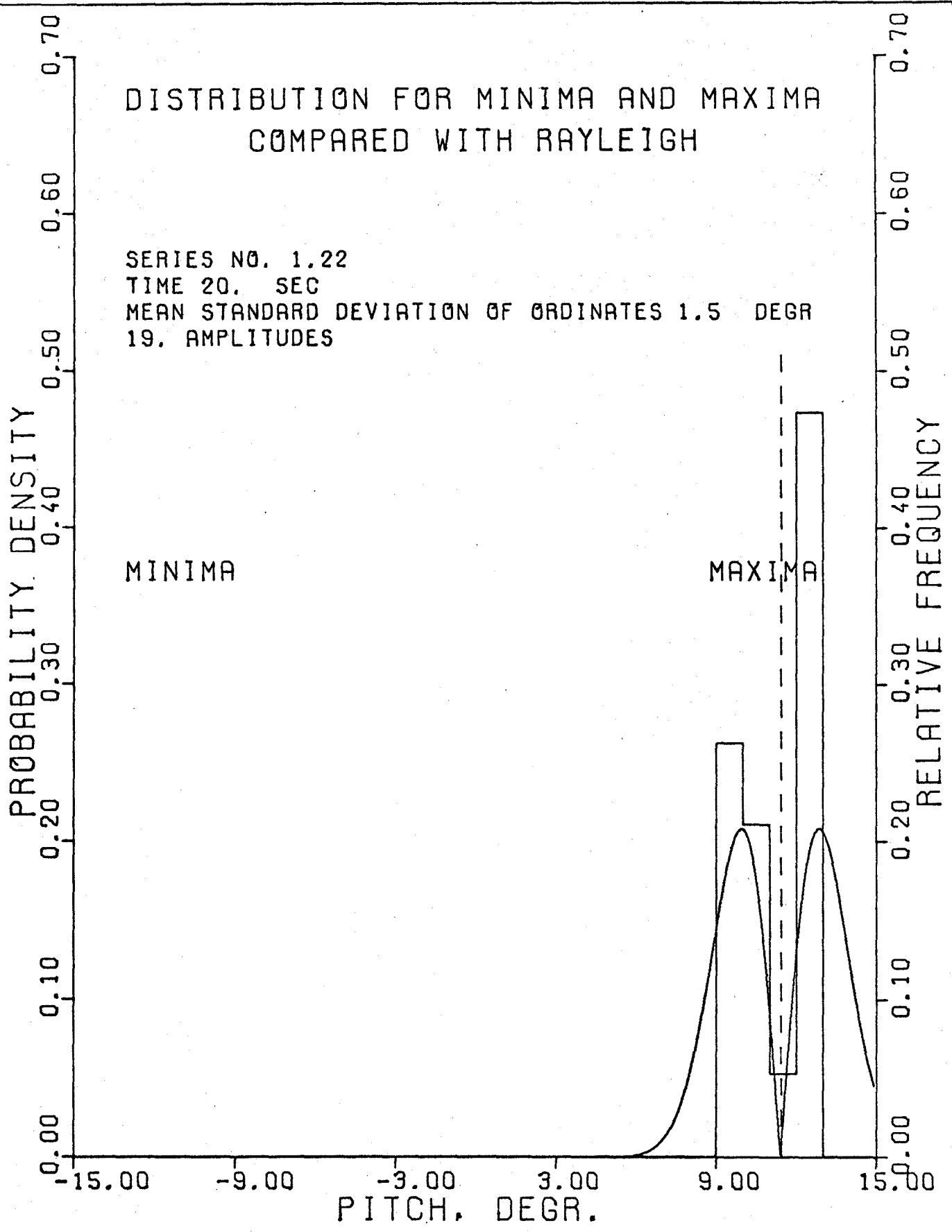
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00

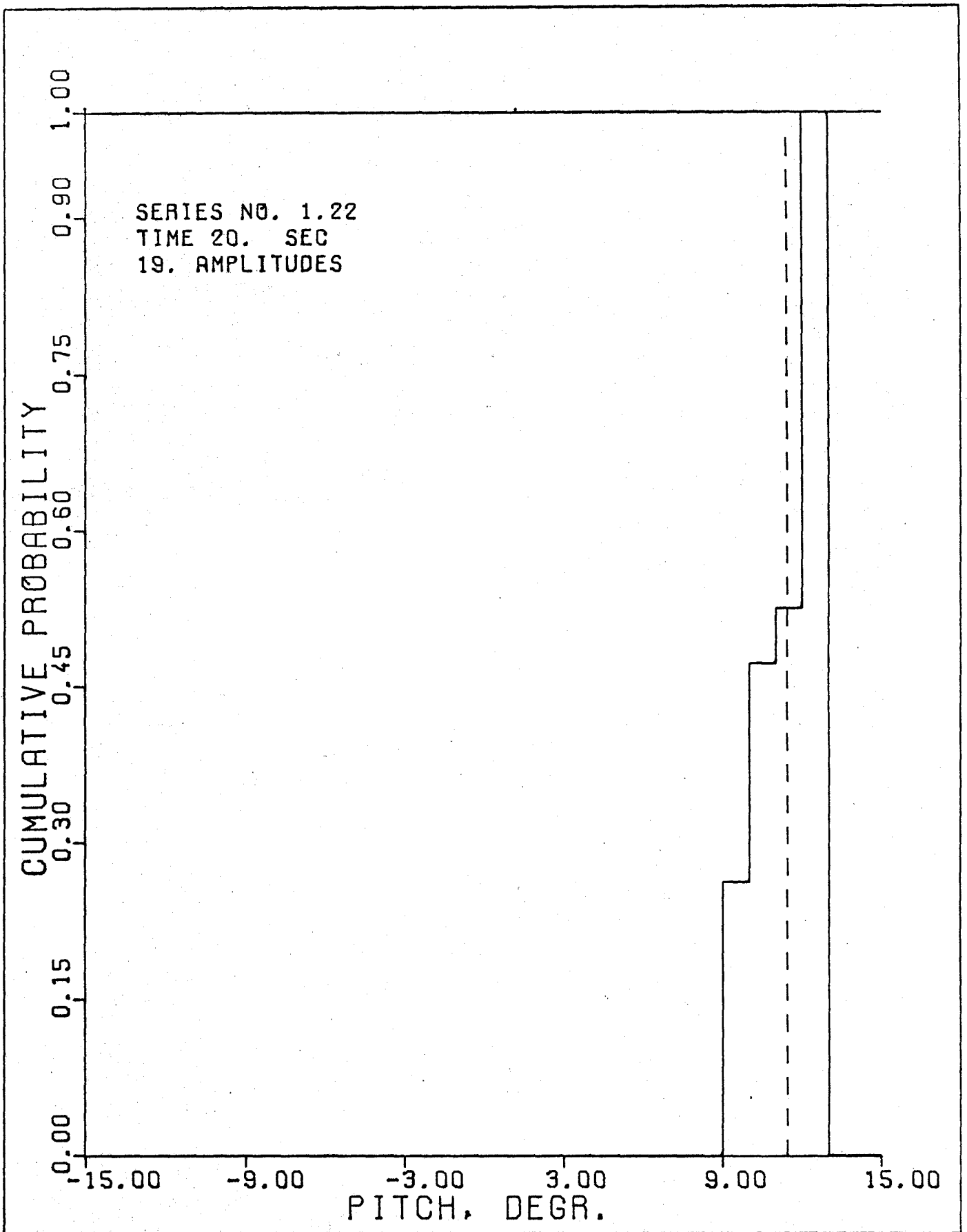
FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

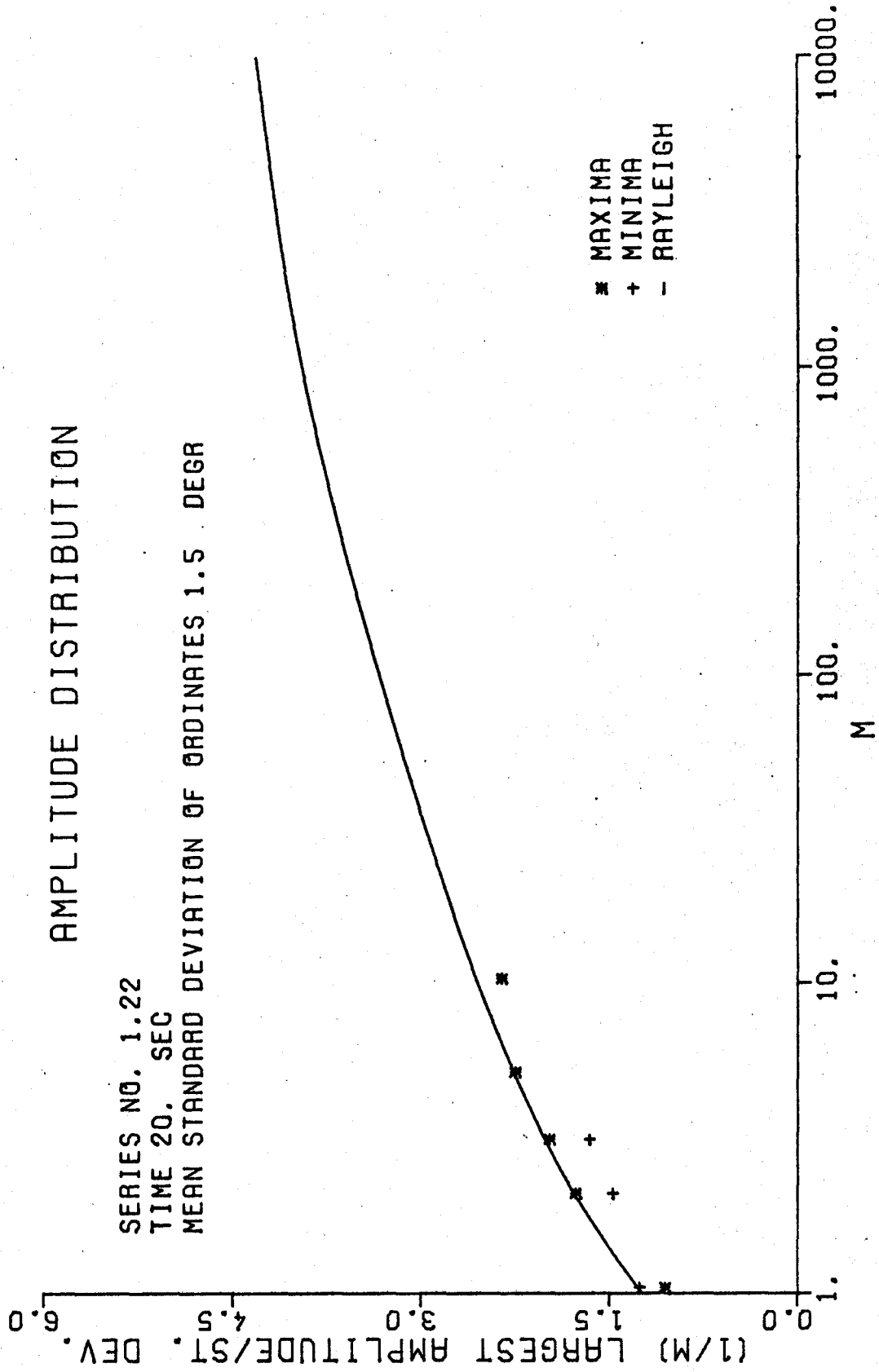
SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 1.5 DEGR
19. AMPLITUDES

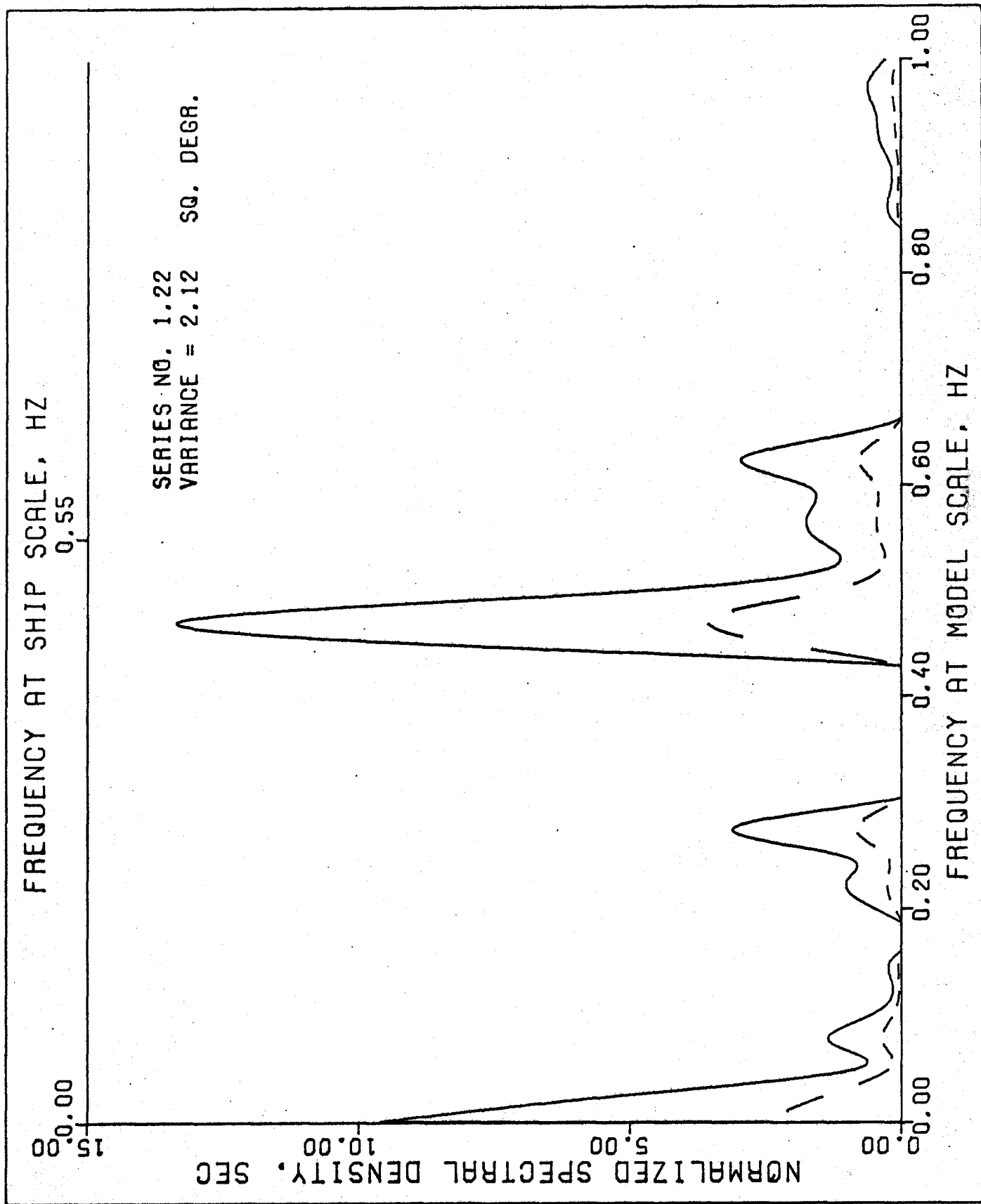


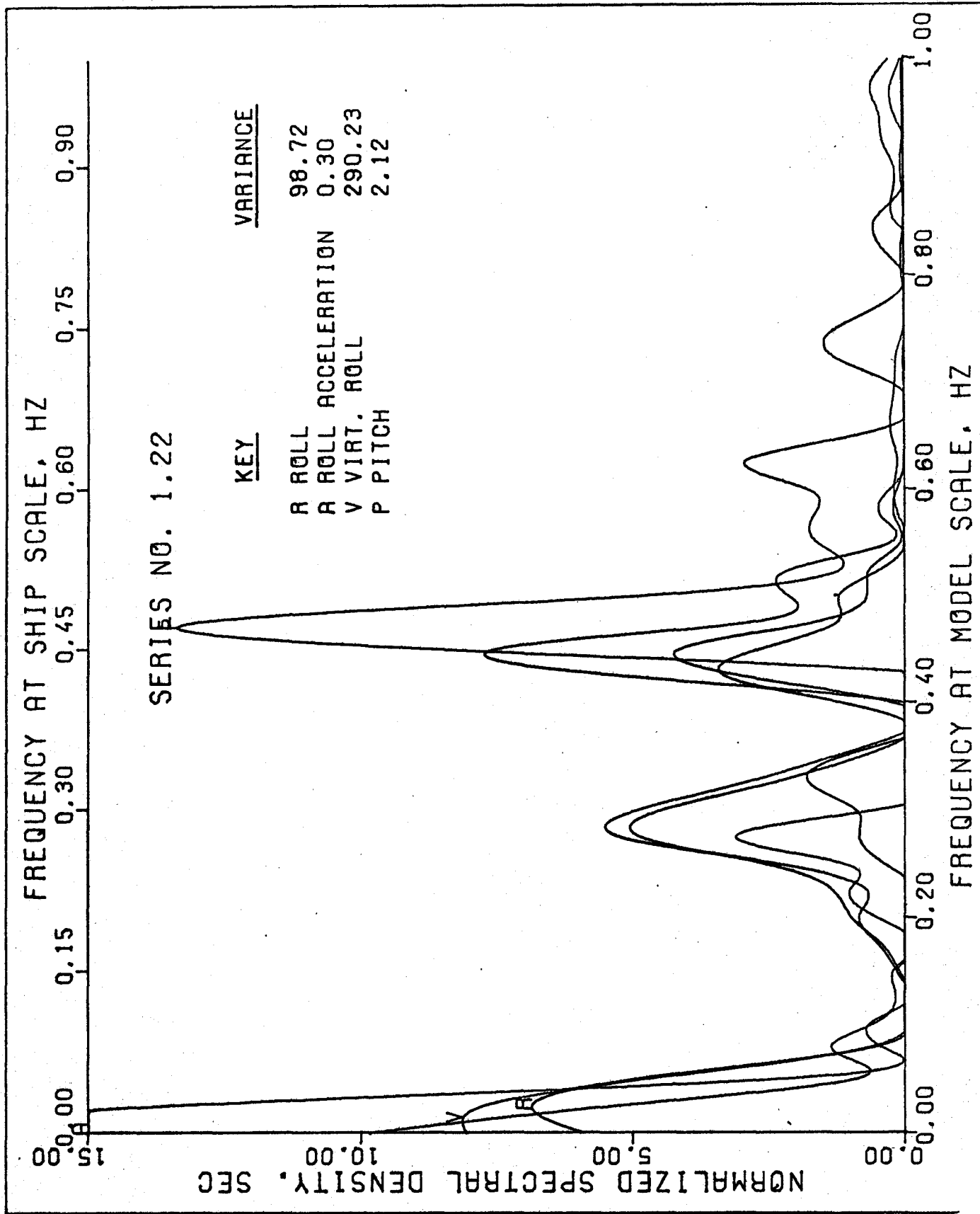


AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.22
TIME 20. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 1.5 DEGR







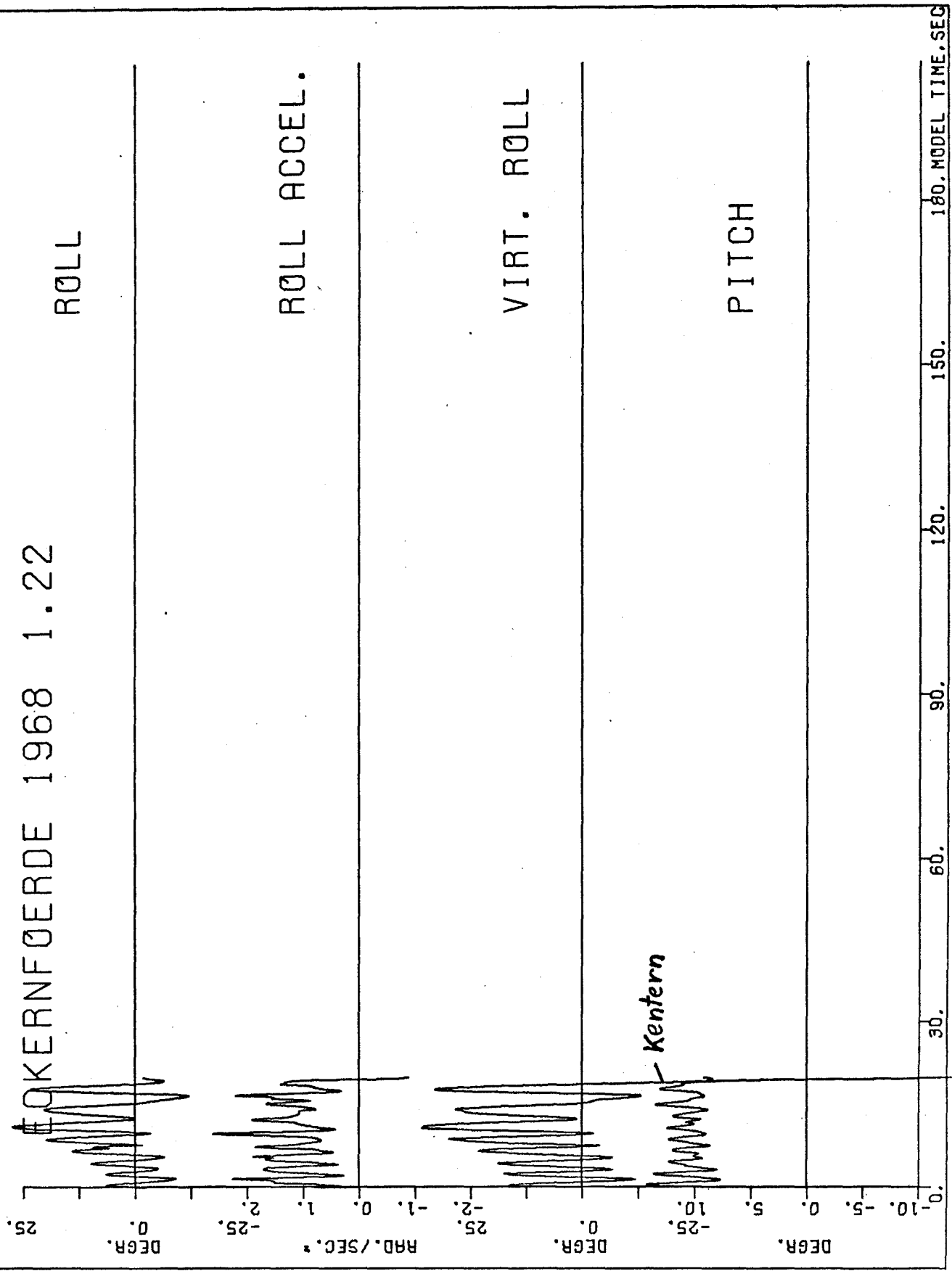
KERNFØERDE 1968 1.22

ROLL

ROLL ACCEL.

VIRT. ROLL

PITCH



180. MODEL TIME, SEC

NI, # 1.23 RECORD NUMBER
 N # 505 SAMPLE SIZE
 TI # 101.00 SEC TOTAL LENGTH OF RECORD
 DT # 0.20 SEC SAMPLE SPACING

TAU/DT # 1.000
 TAU # 0.20 SEC MINIMUM TIME LAG
 FN # 2.5000 CPS (HERTZ) NYQUIST FREQUENCY

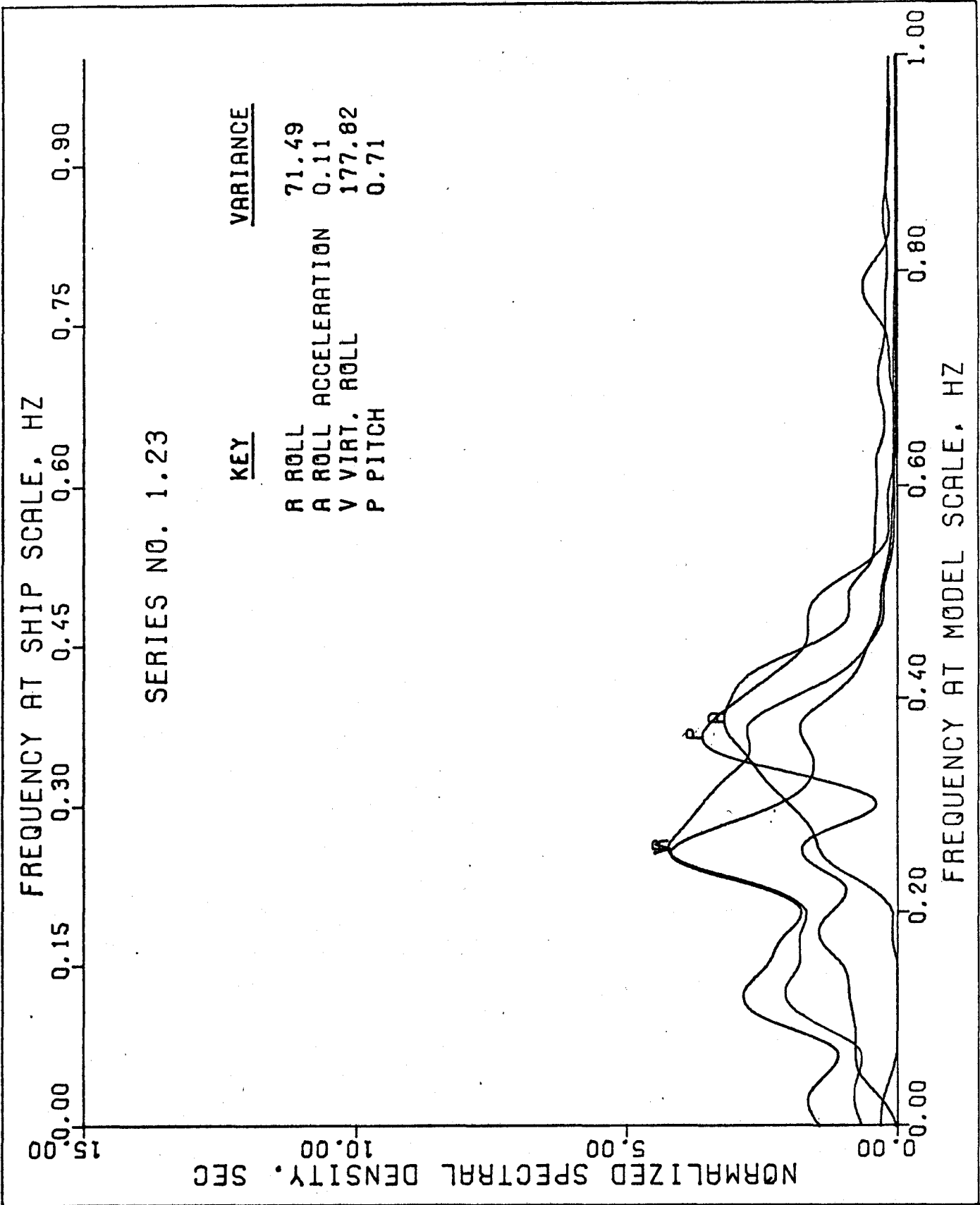
FMAX # 1.0075 CPS
 M # 100 UPPER NUMBER OF TIME LAGS
 IN # 20.00 SEC MAXIMUM TIME LAG M*TAU
 DF # 25.00 HCPS FREQUENCY RESOLUTION
 IN/IN # 5.050 RATIO RECORD LENGTH VERSUS MAX. LAG
 F # 9 EQUIVALENT DEGREE OF FREEDOM

CONFIDENCE RANGE BASED ON APPROXIMATION
 OF THE INVERSE CHISQUARE - DISTRIBUTION FOR
 F LARGER THAN 30

CUP # 2.715 UPPER CONFIDENCE LIMIT
 CLUN # 0.532 LOWER CONFIDENCE LIMIT
 CLEVEL # 0.900 (1-ALPHA) CONFIDENCE LEVEL

TIME SERIES ORDINATES NOT NORMALIZED

VARIANCE#	71.4084	0.1121	177.815	0.7103
SPECTRAL AREA #	0.9931	0.8841	0.9831	0.9070
	<i>Roll</i>	<i>Acc.</i>	<i>Virt. Roll</i>	<i>Pitch</i>



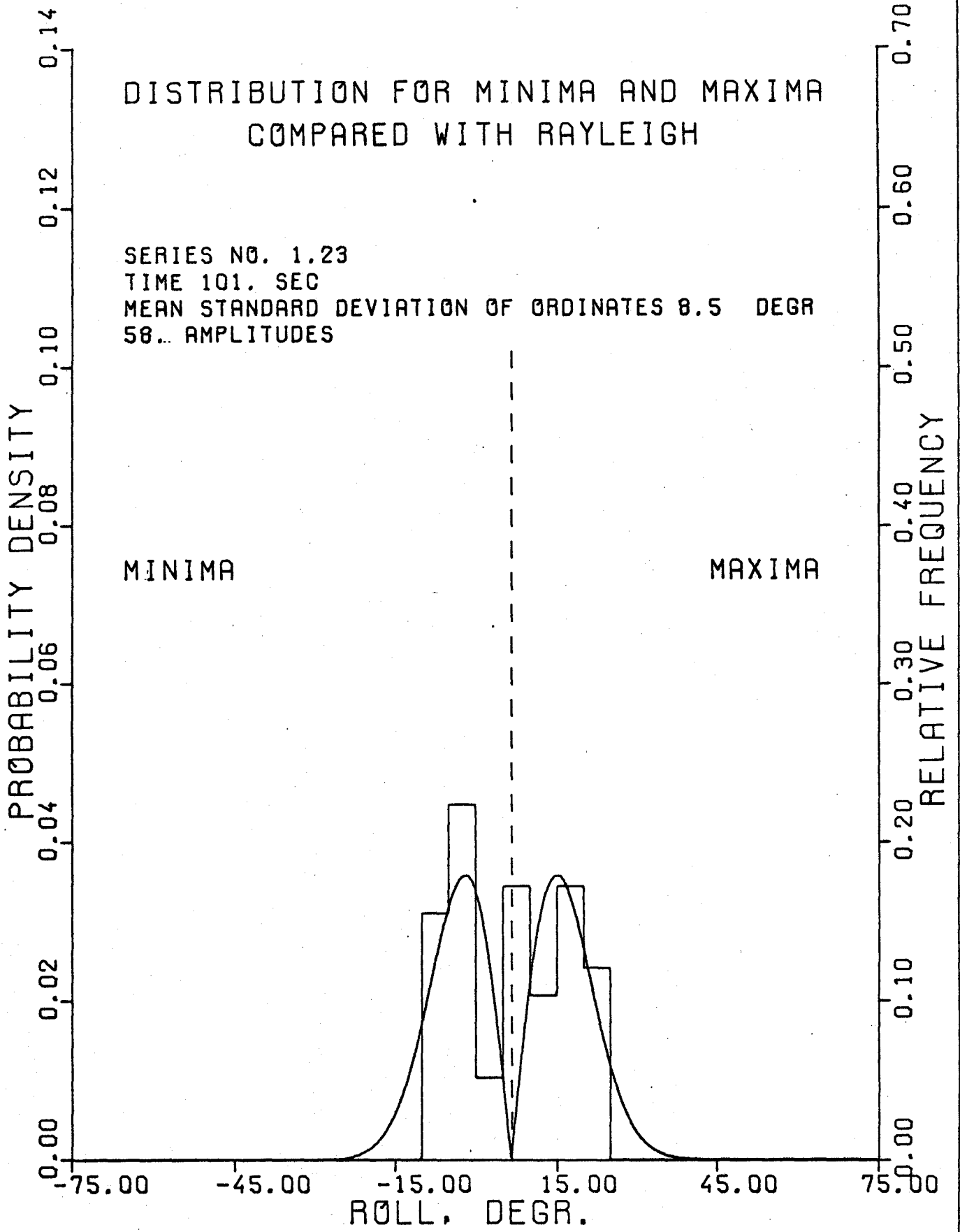
FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

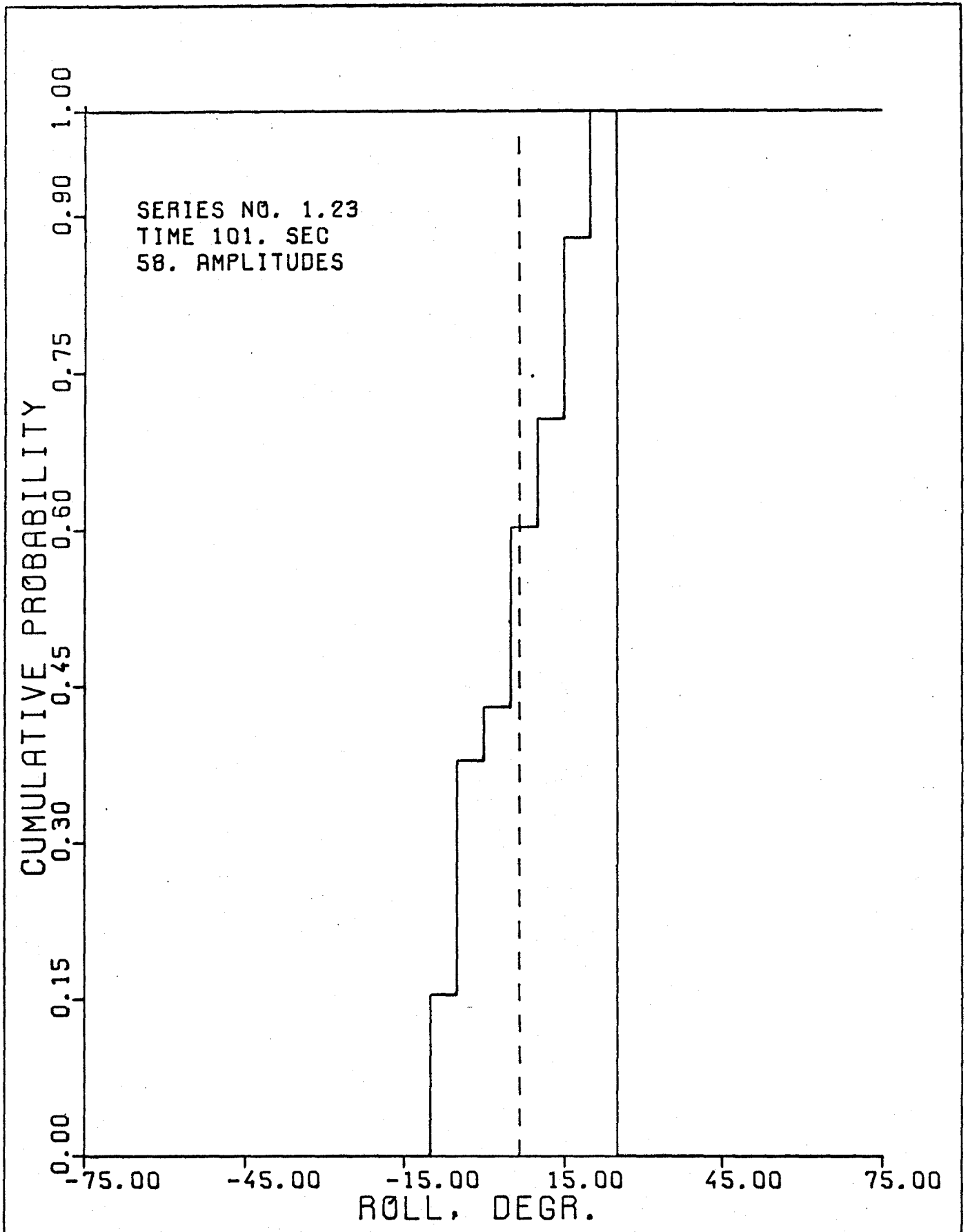
NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

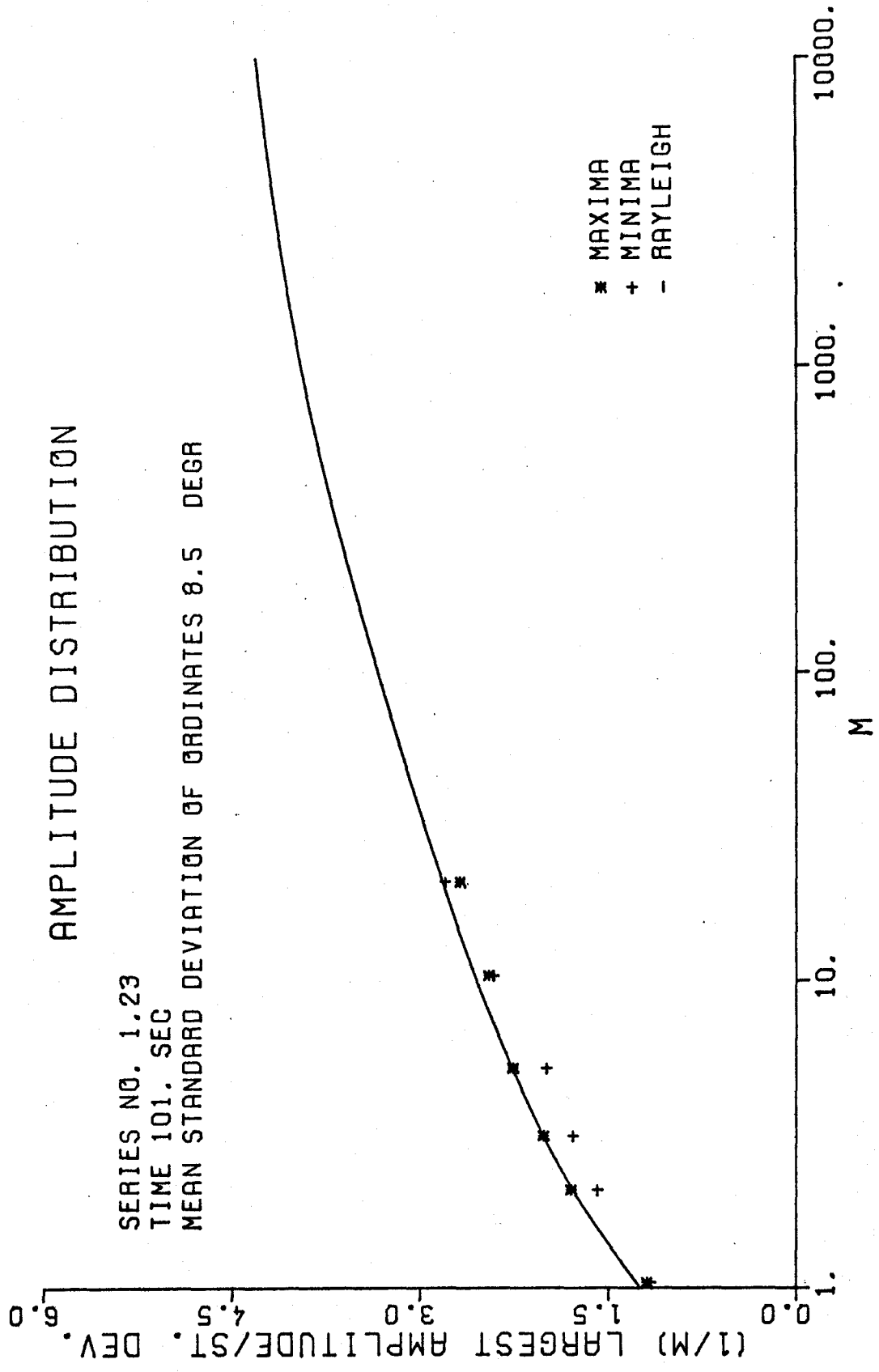
SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 8.5 DEGR
58... AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 8.5 DEGR



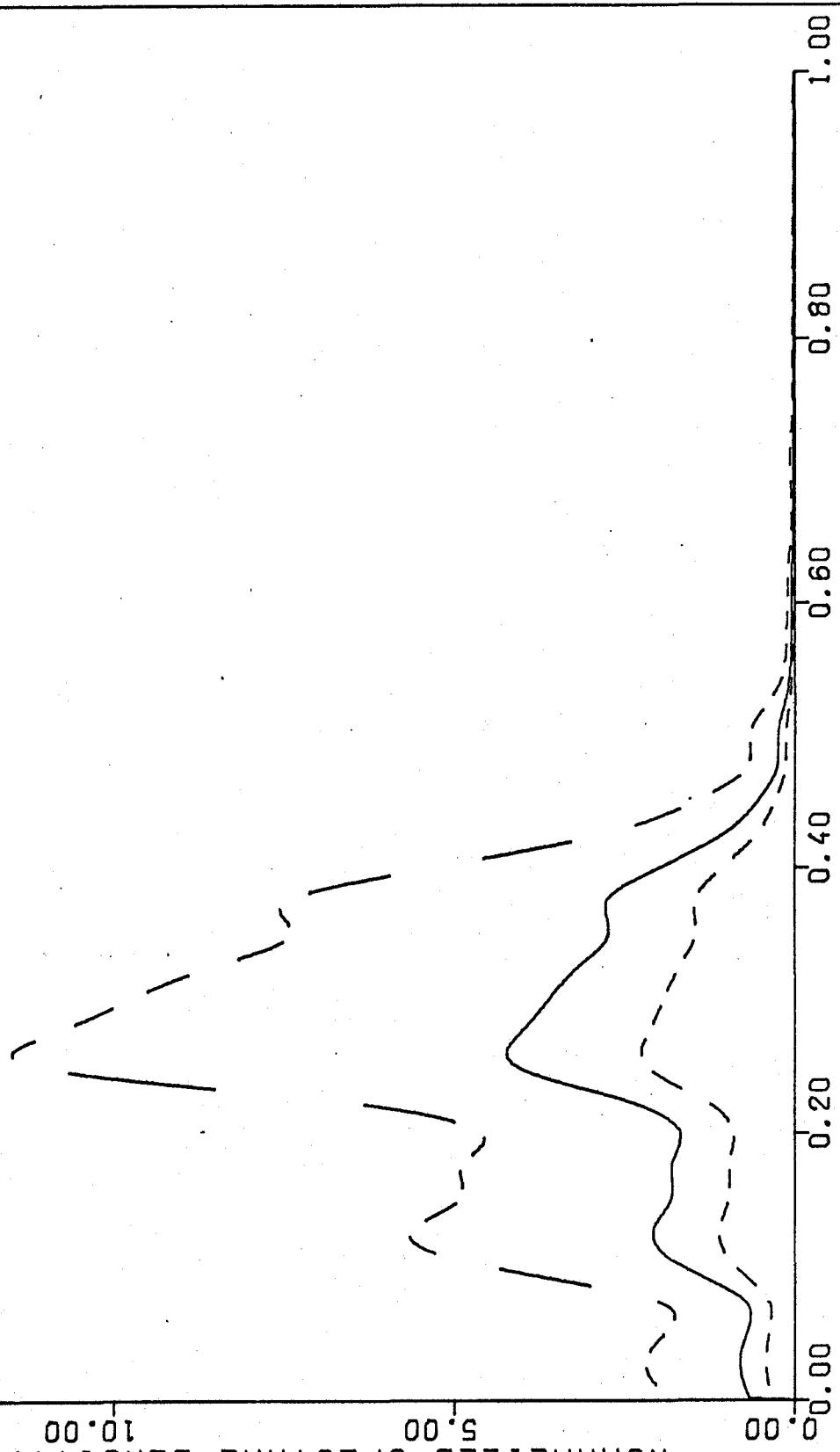
FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.23
VARIANCE = 71.49 SQ. DEGR.

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

15.00
10.00
5.00
0.00



FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

1.00

0.80

0.60

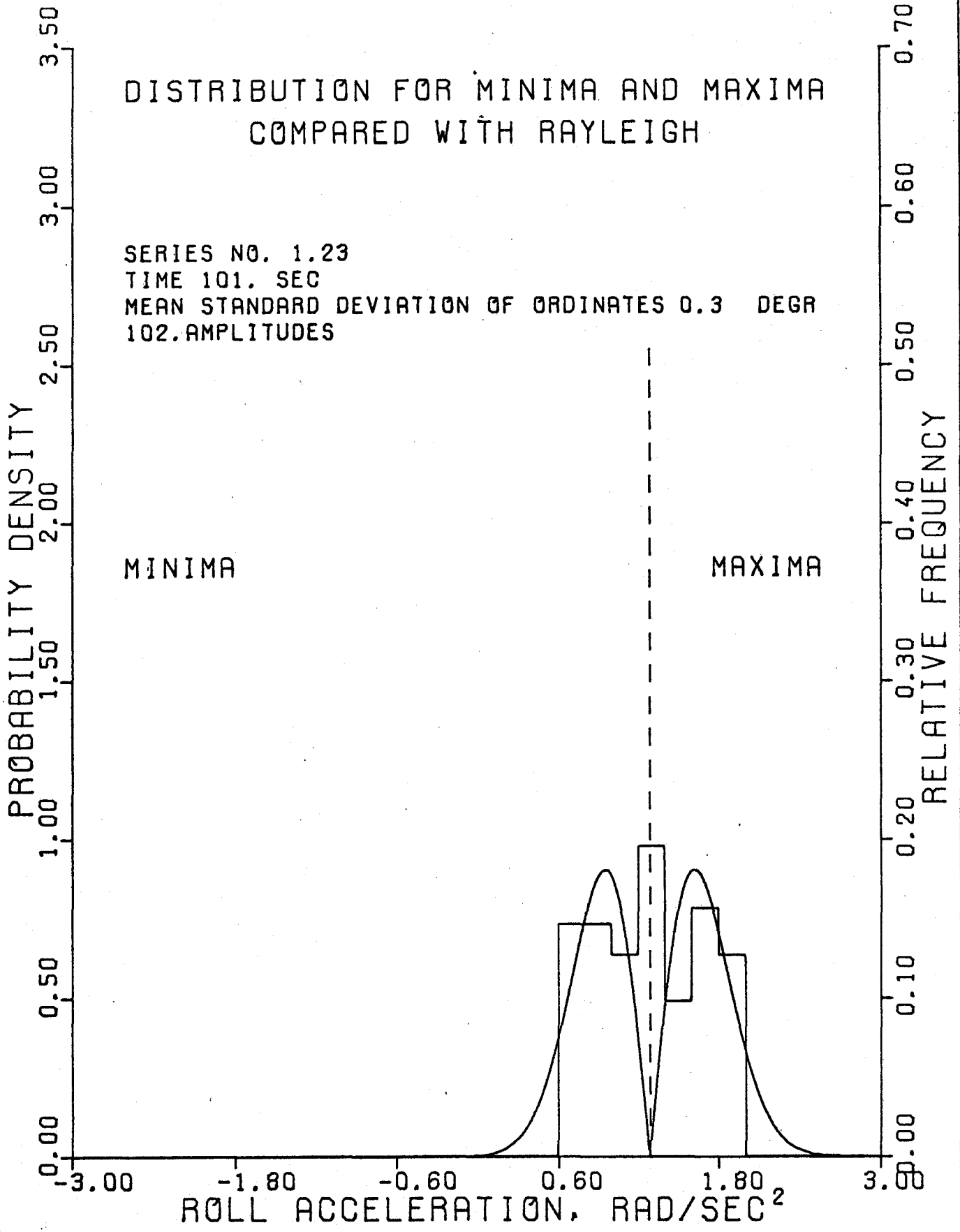
0.40

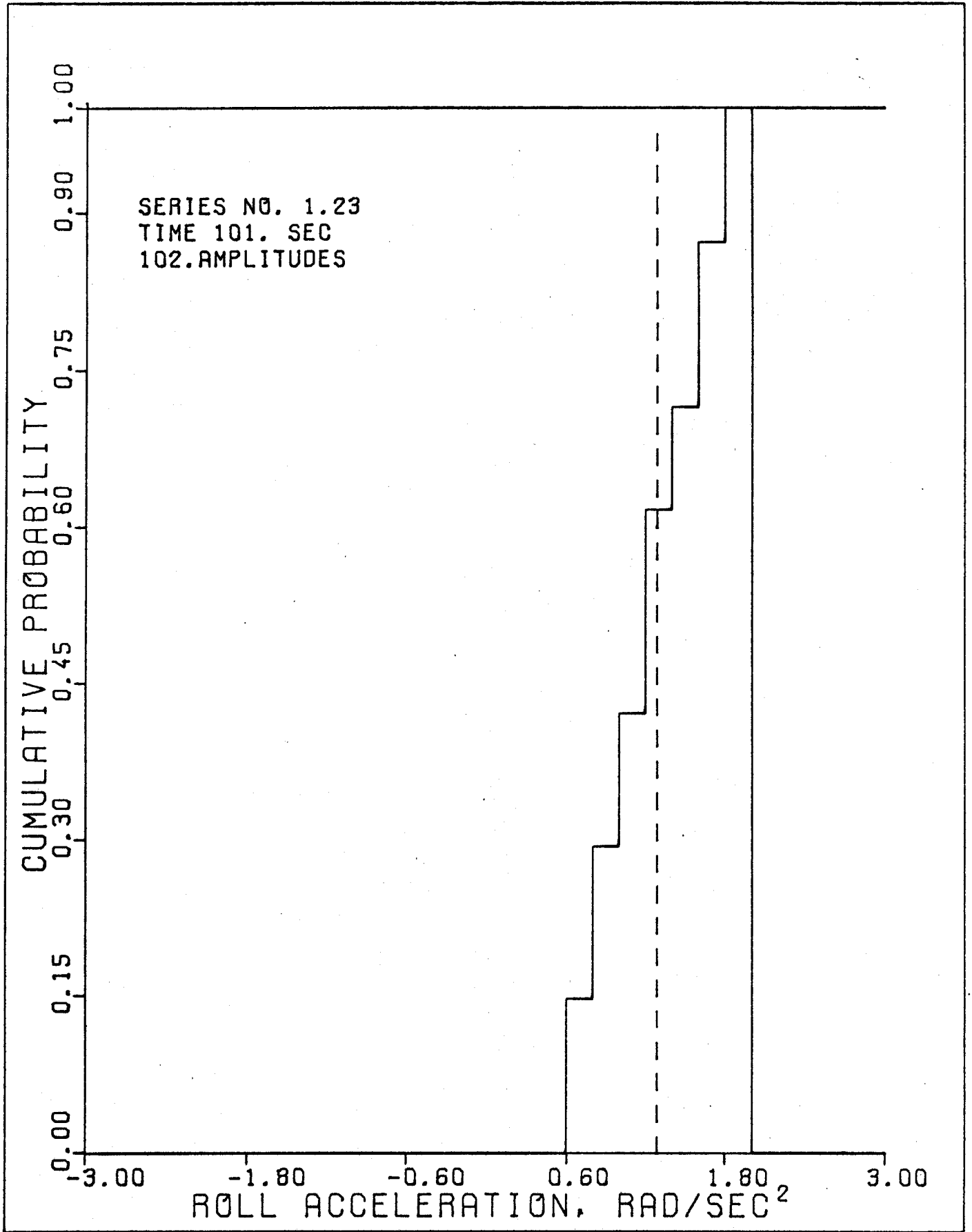
0.20

0.00

DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA
COMPARED WITH RAYLEIGH

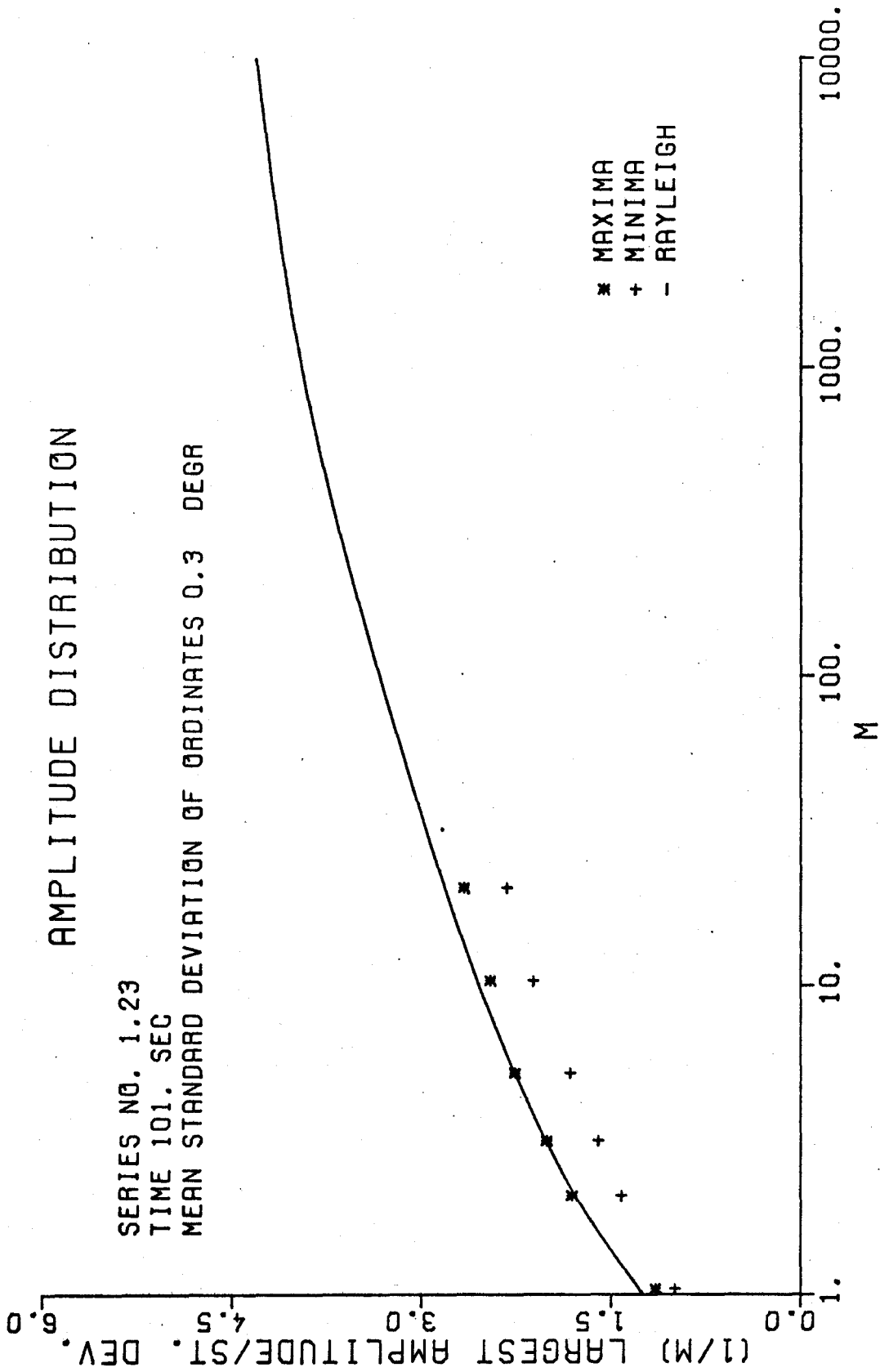
SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.3 DEGR
102. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.3 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

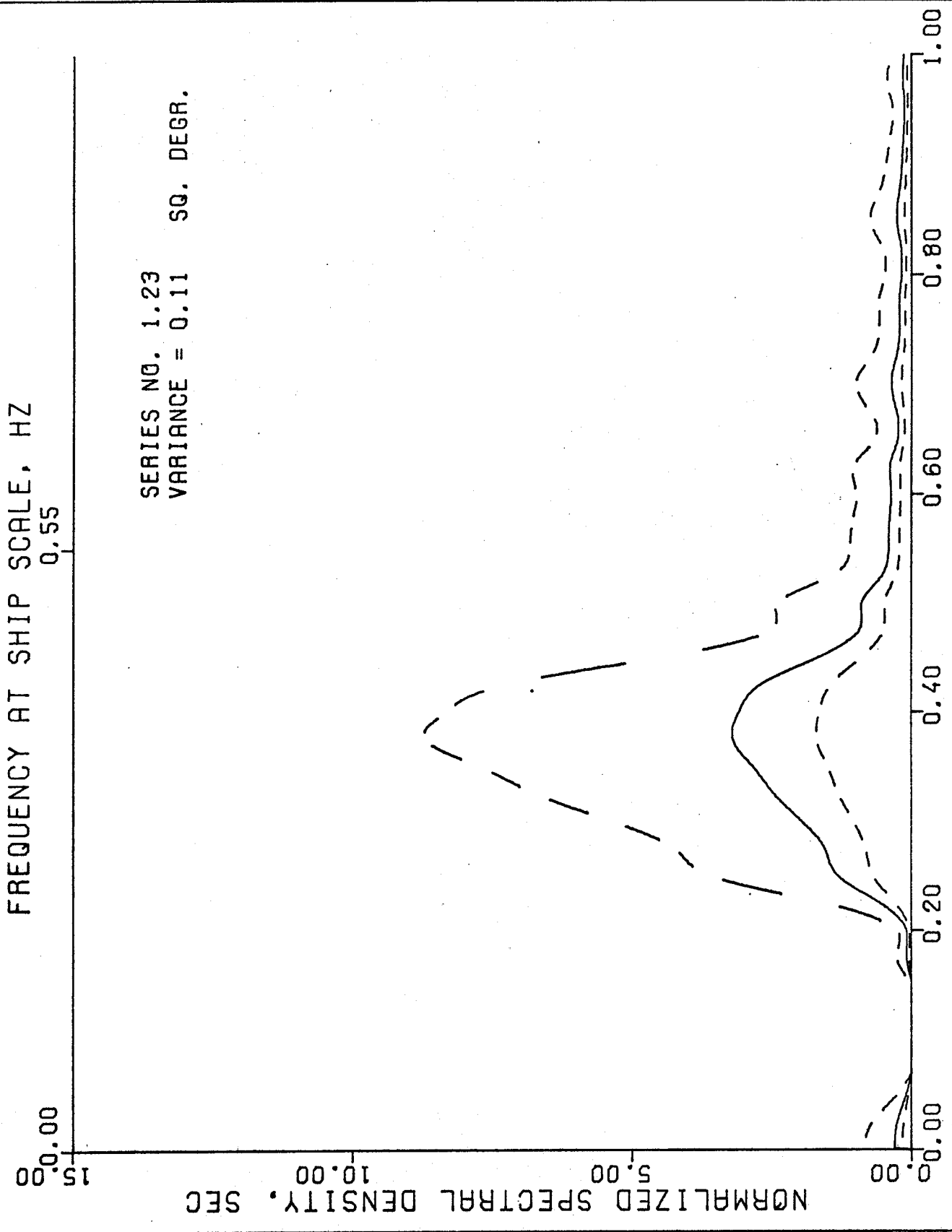
SERIES NO. 1.23
VARIANCE = 0.11 SQ. DEGR.

15.00
10.00
5.00
0.00

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

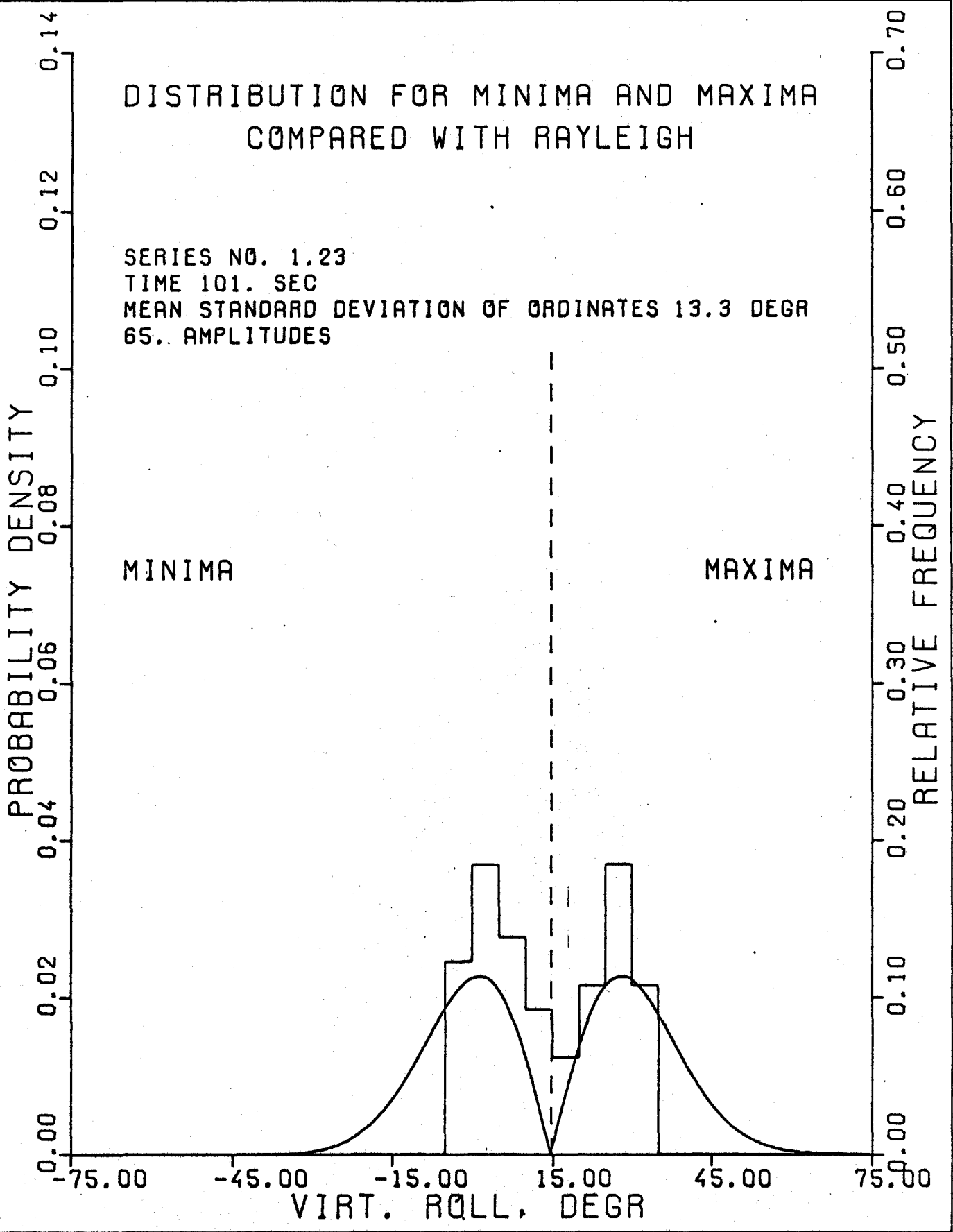
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00

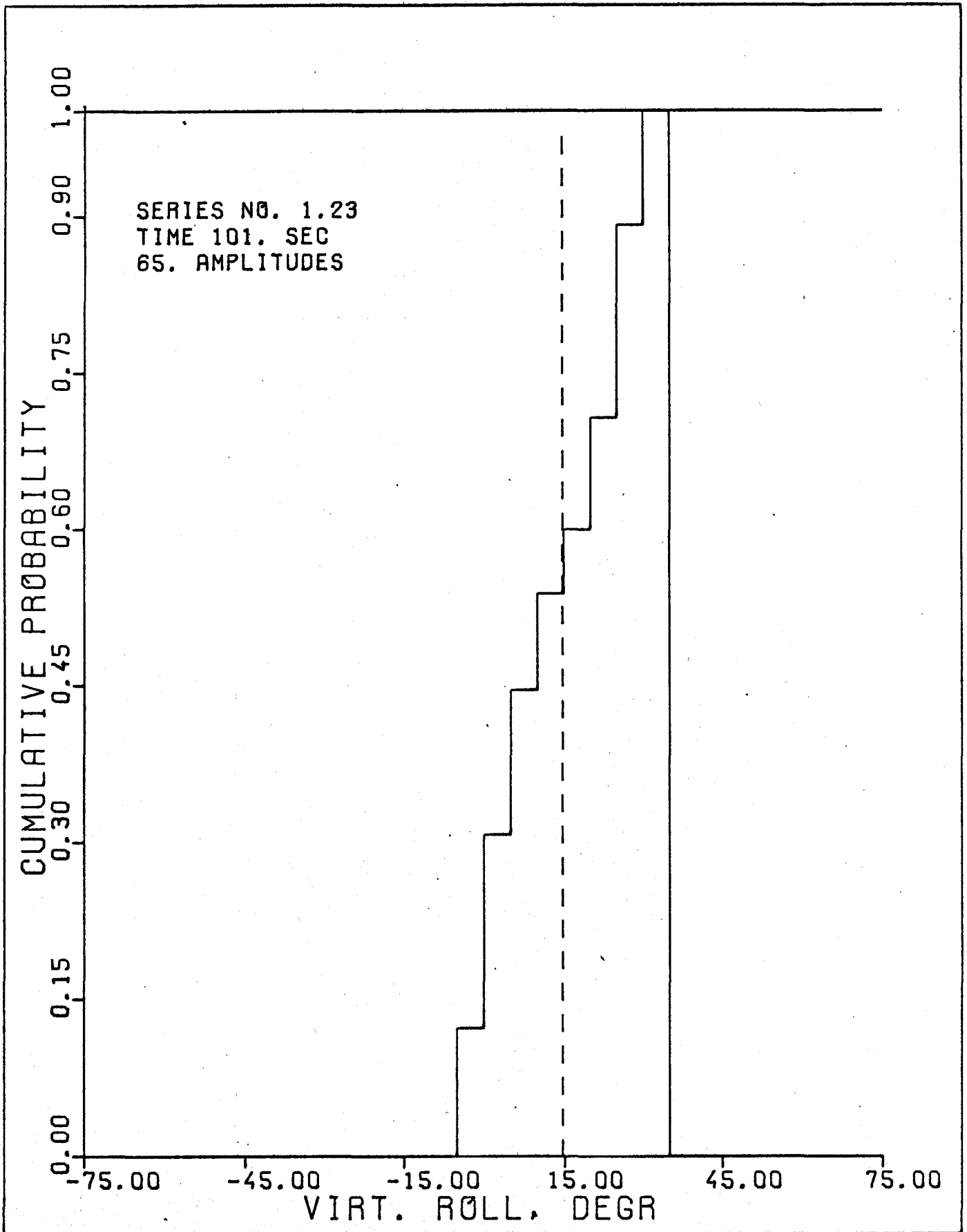
FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA
COMPARED WITH RAYLEIGH

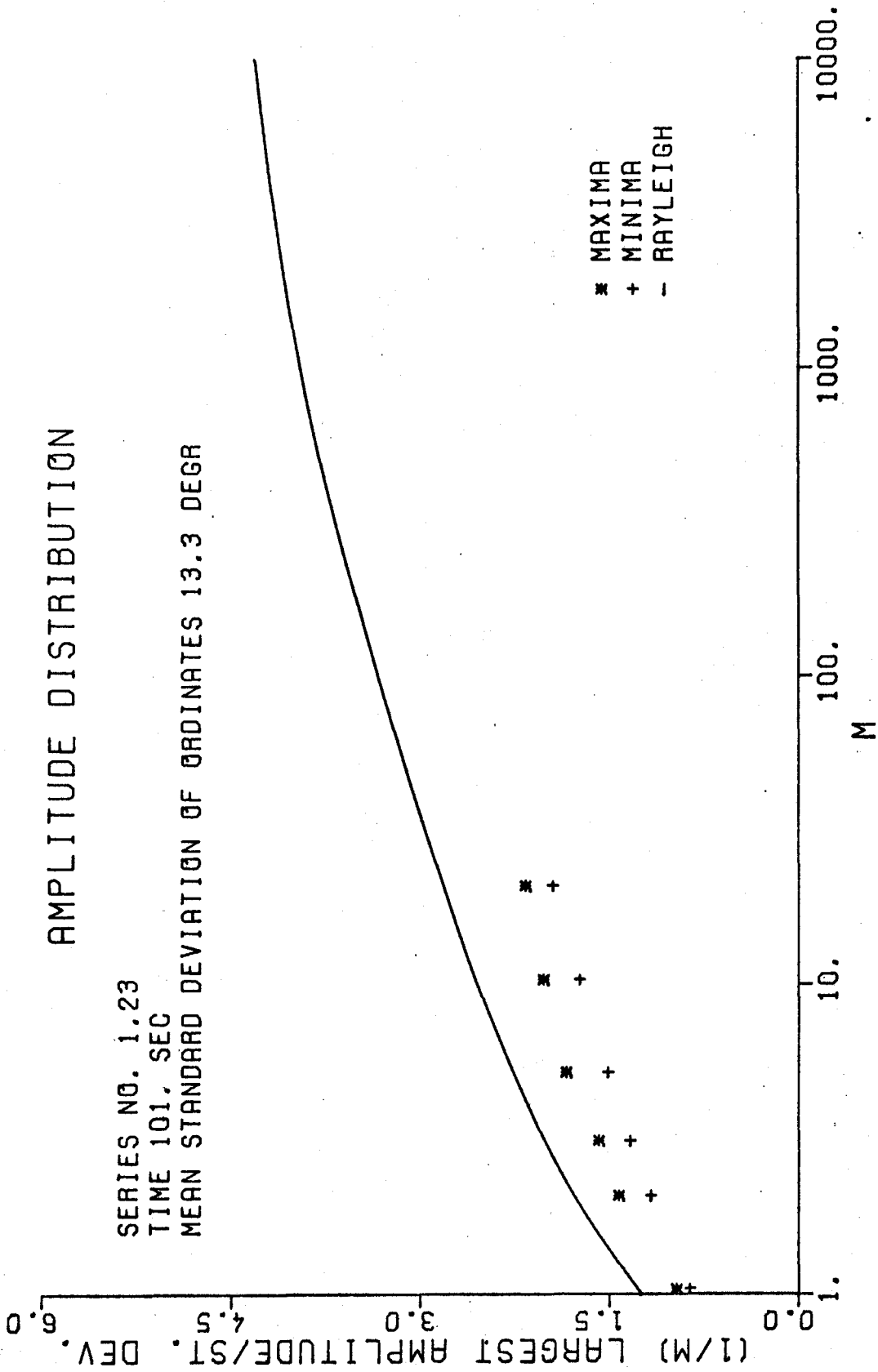
SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 13.3 DEGR
65. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 13.3 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ
0.55

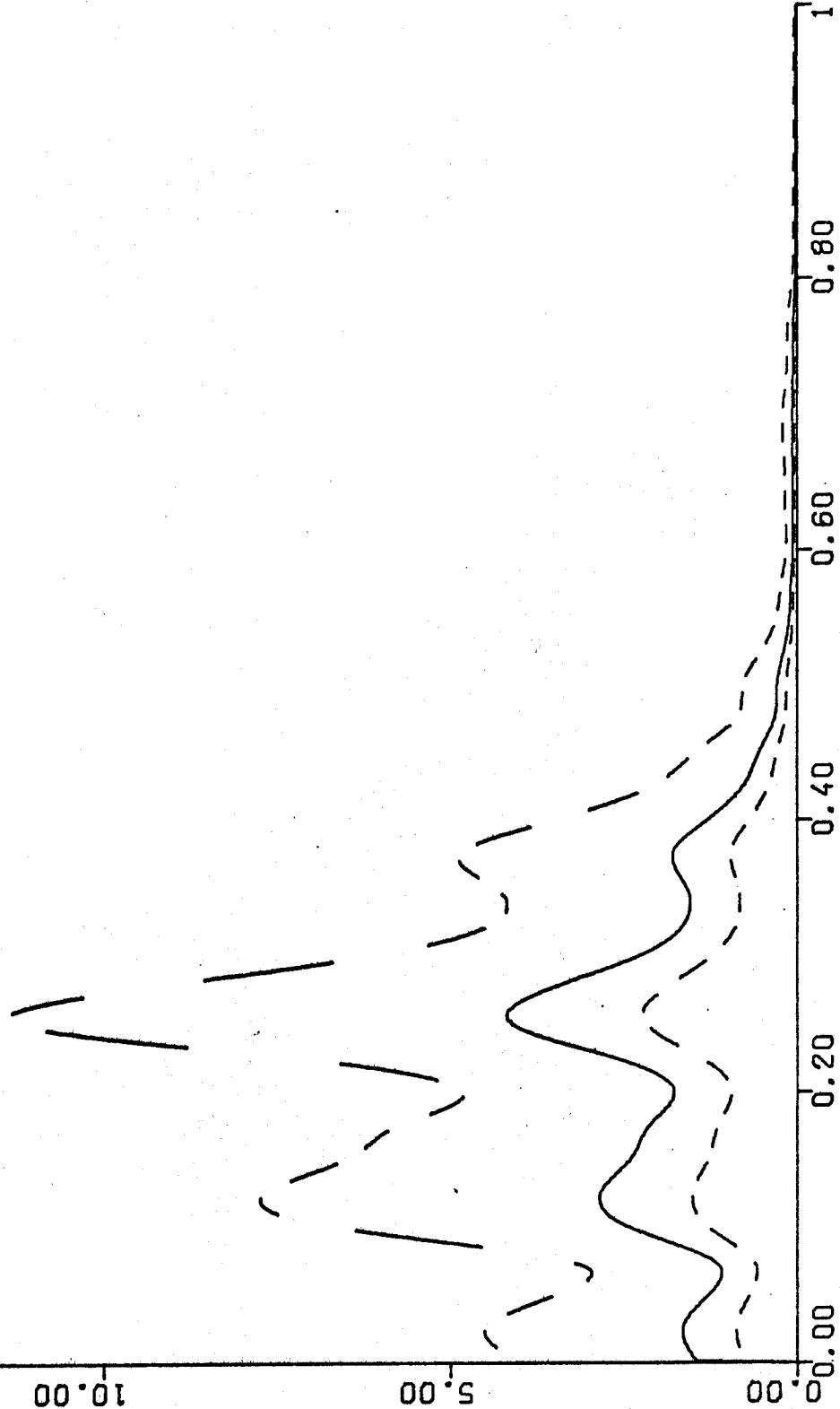
SERIES NO. 1.23
VARIANCE = 177.82 SQ. DEGR.

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

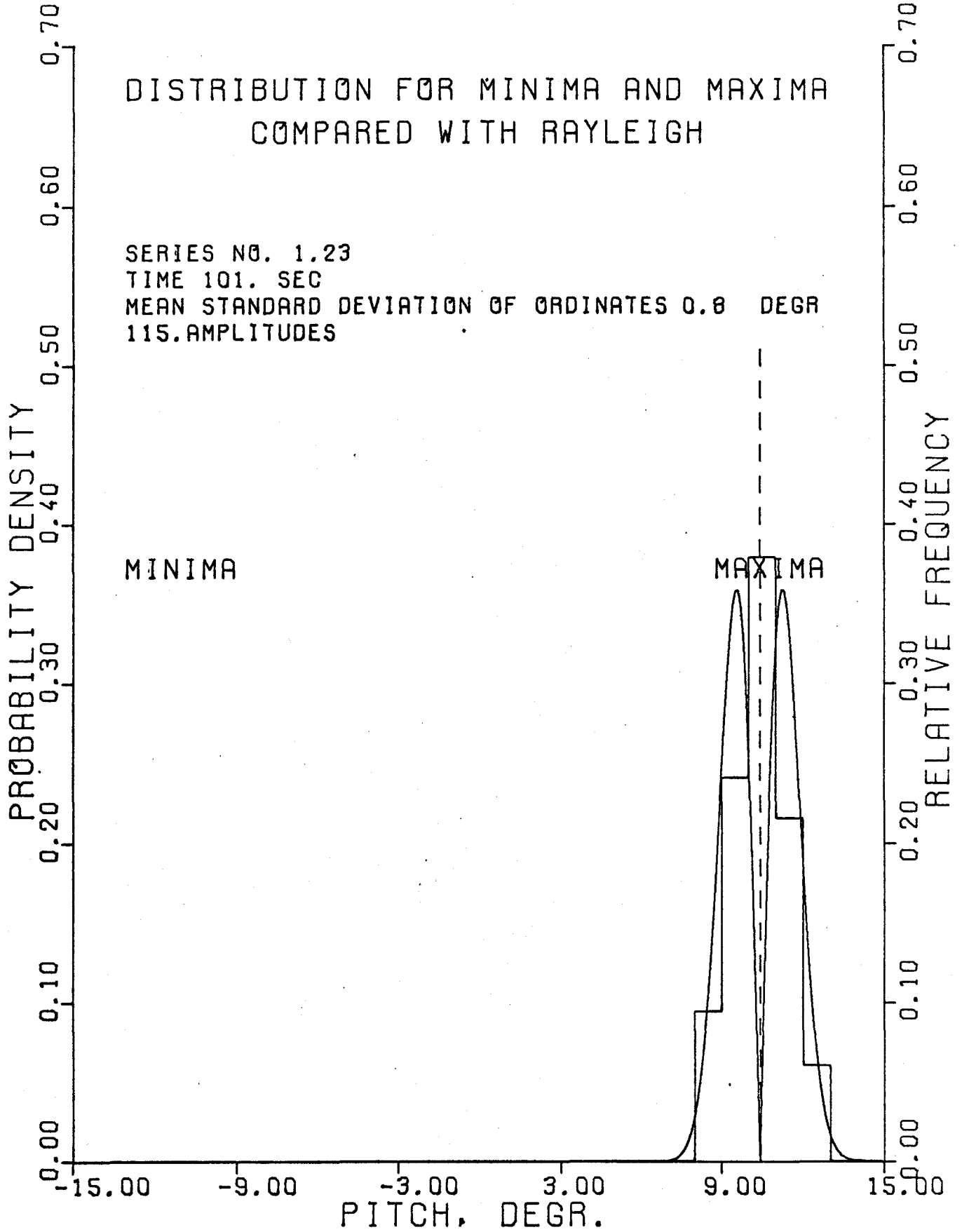
0.00
5.00
10.00
15.00

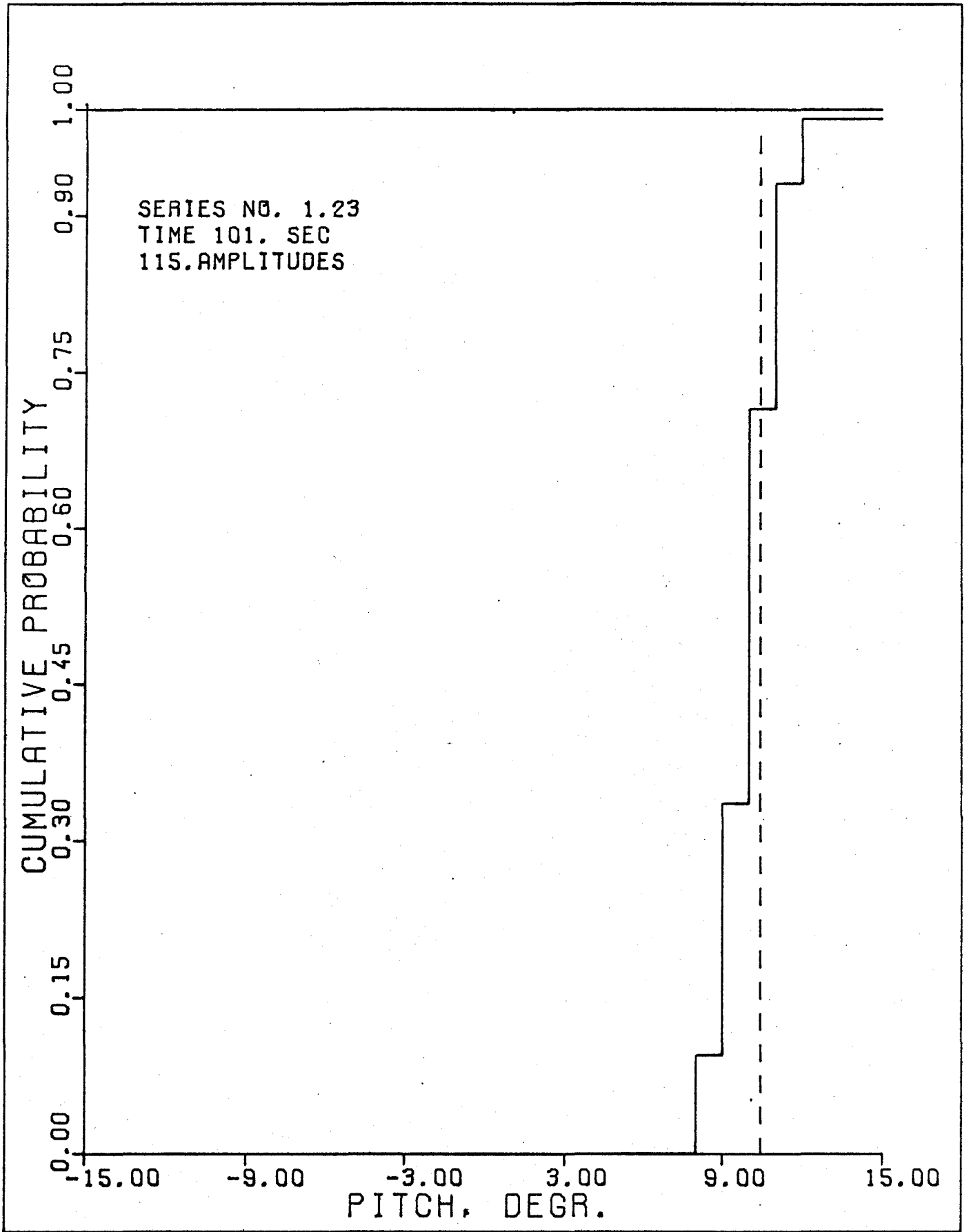
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA
COMPARED WITH RAYLEIGH

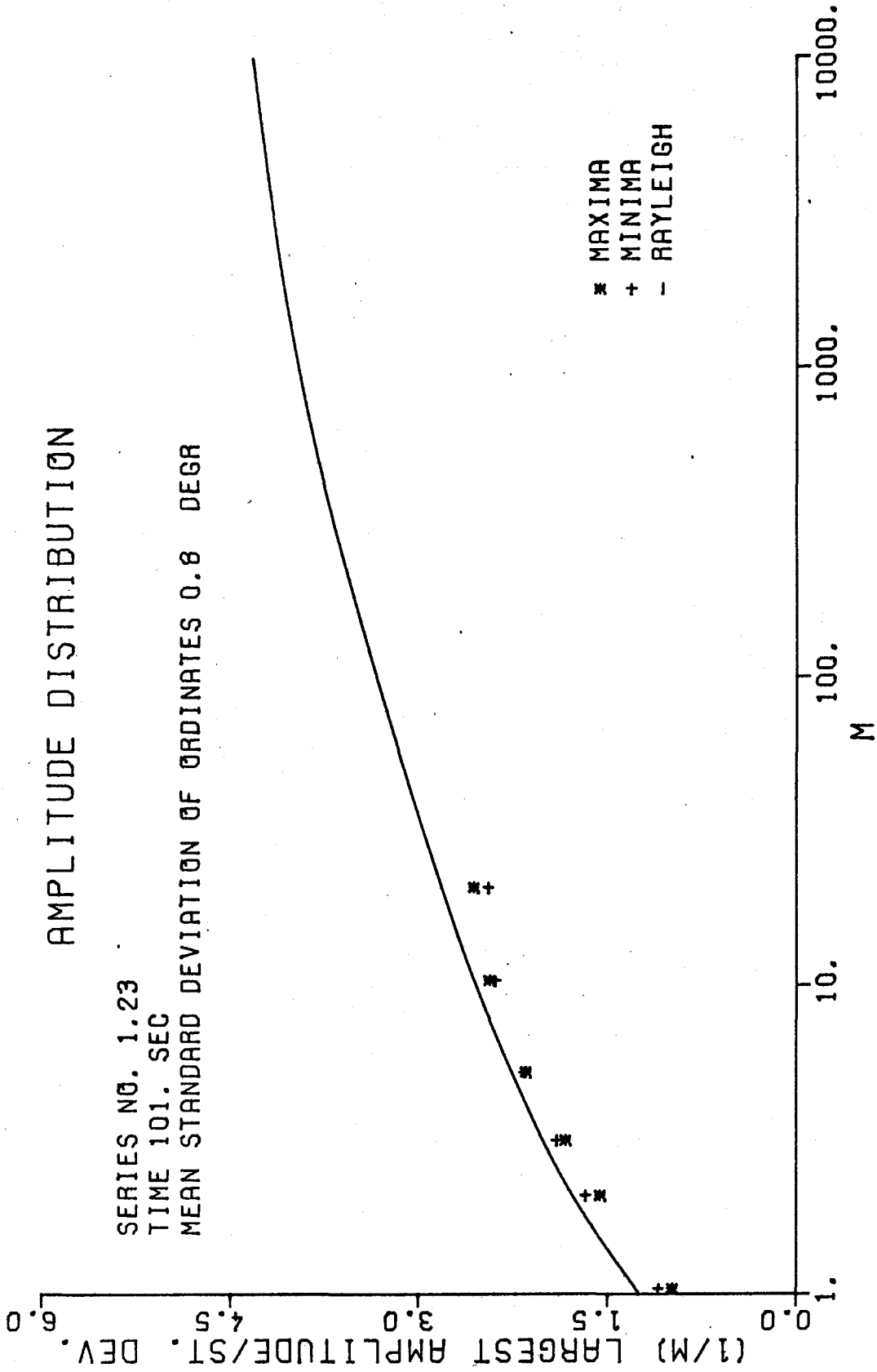
SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.8 DEGR
115. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.23
TIME 101. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.8 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.23
VARIANCE = 0.71 SQ. DEGR.

15.00
10.00
5.00
0.00

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

1.00

0.80

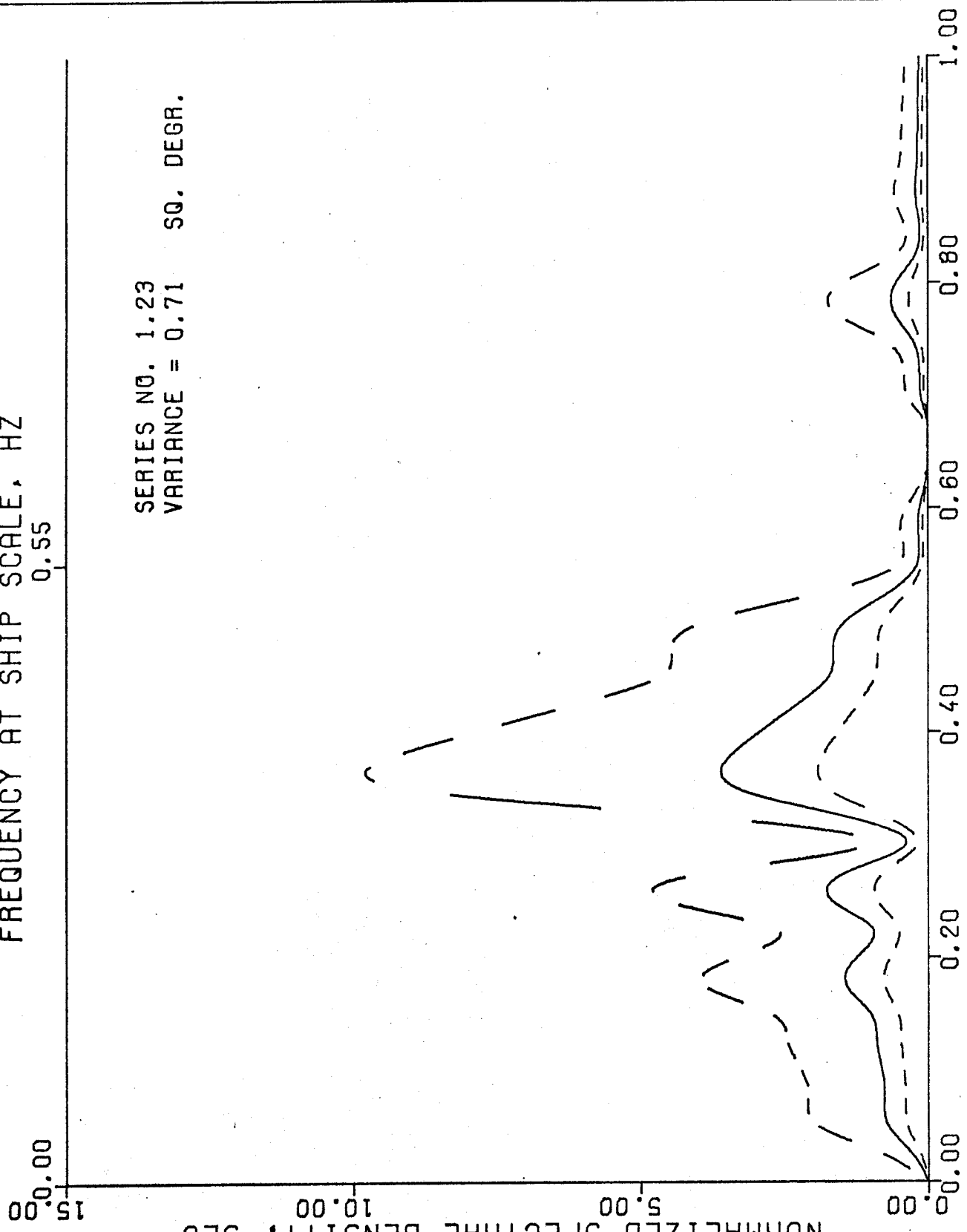
0.60

0.40

0.20

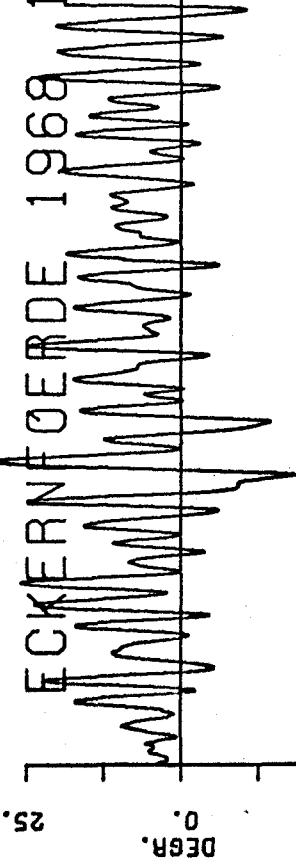
0.00

FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



ECKERNFÖRDE 1968 1.23

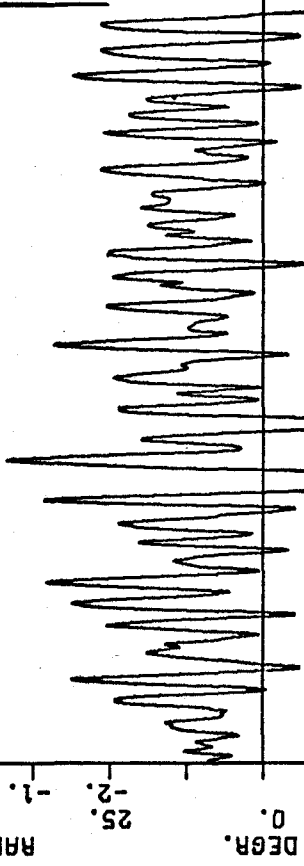
ROLL



ROLL ACCEL.



VIRT. ROLL



PITCH



Kentern

0. 30. 60. 90. 120. 150. 180. MODEL TIME, SEC

NO. = 1.24 RECORD NUMBER
 N = 130 SAMPLE SIZE
 TN = 26.00 SEC TOTAL LENGTH OF RECORD
 DT = 0.20 SEC SAMPLE SPACING
 TAU/DT = 1.000
 TAU = 0.20 SEC MINIMUM TIME LAG
 FN = 2.5000 CPS (HERTZ) NYQUIST FREQUENCY

FMAX = 1.6675 CPS
 M = 100 UPPER NUMBER OF TIME LAGS
 TM = 20.00 SEC MAXIMUM TIME LAG M*TAU
 DF = 25.00 MCPS FREQUENCY RESOLUTION
 TN/TM = 1.300 RATIO RECORD LENGTH VERSUS MAX. LAG
 F = 2 EQUIVALENT DEGREE OF FREEDOM

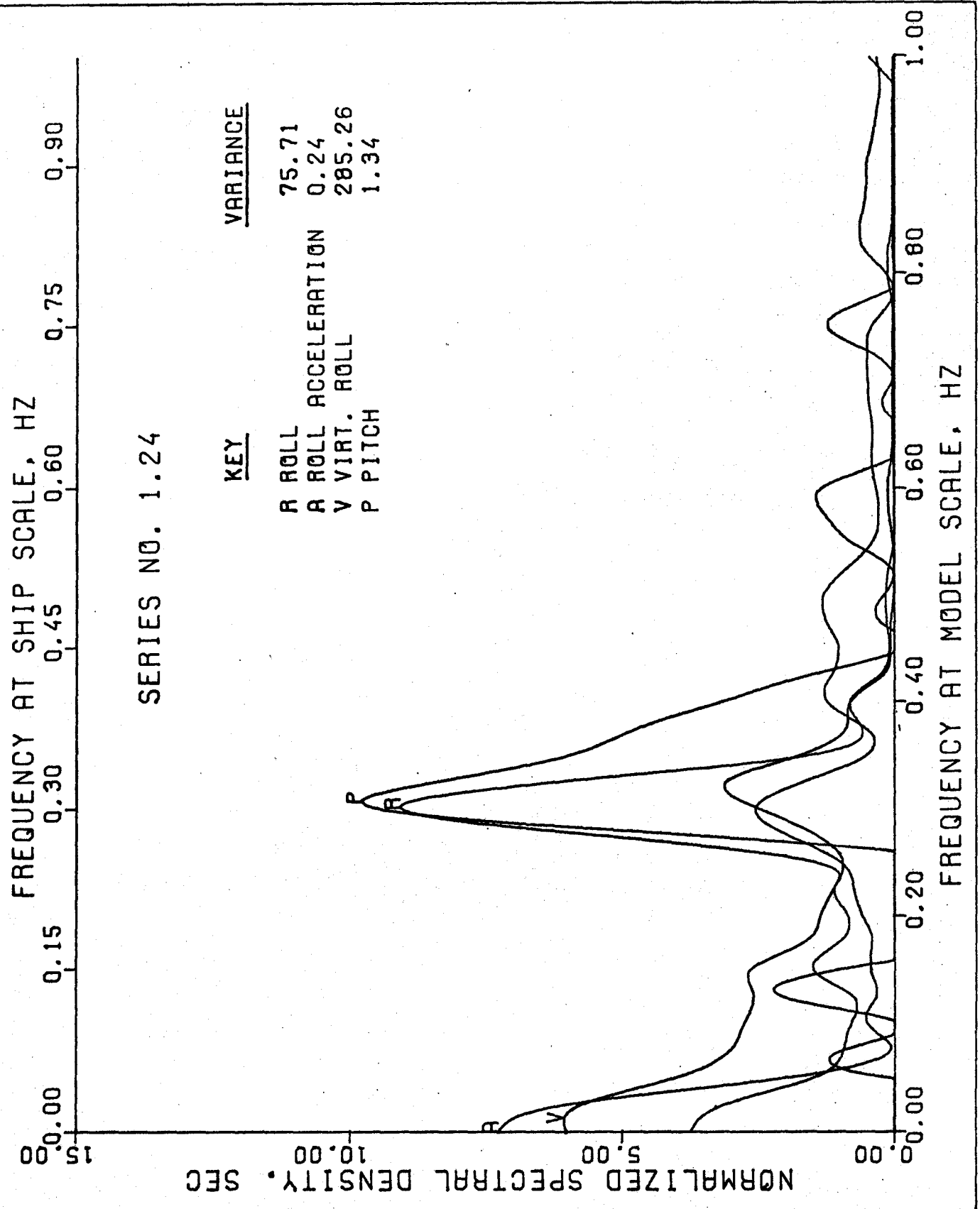
CONFIDENCE RANGE BASED ON APPROXIMATION
 OF THE INVERSE CHI SQUARE - DISTRIBUTION FOR
 F LARGER THAN 30

CUP = 25.311 UPPER CONFIDENCE LIMIT
 CLOW = 0.337 LOWER CONFIDENCE LIMIT
 CLEVEL = 0.900 (1-ALPHA) CONFIDENCE LEVEL

TIME SERIES ORDINATES NOT NORMALIZED

VARIANCE =	75.7077	0.2440	285.2575	1.3392
SPECTRAL AREA =	1.0670	1.0769	1.1019	0.9259

Roll Acc. Virt. Roll Pitch



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

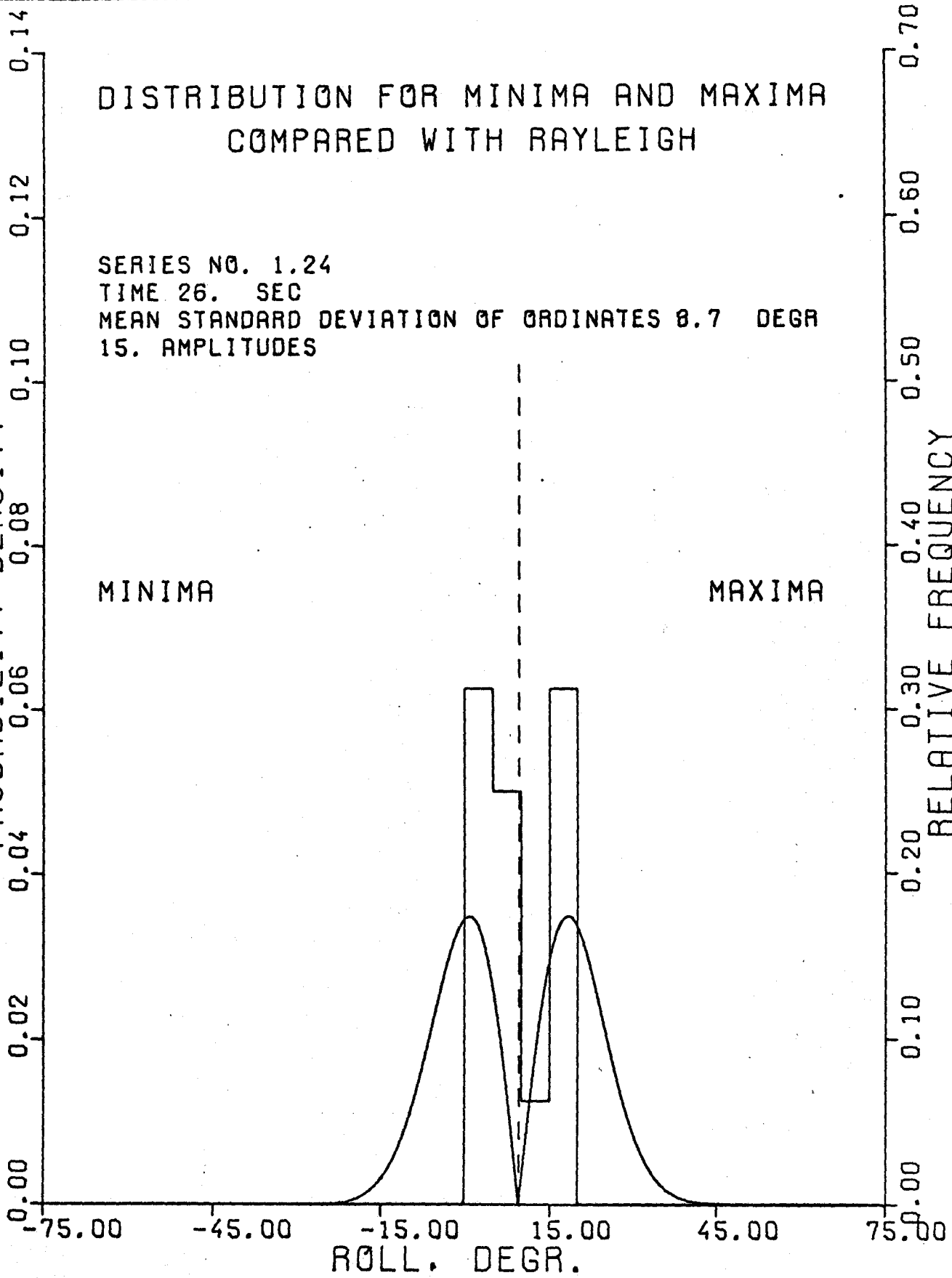
SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 8.7 DEGR
15. AMPLITUDES

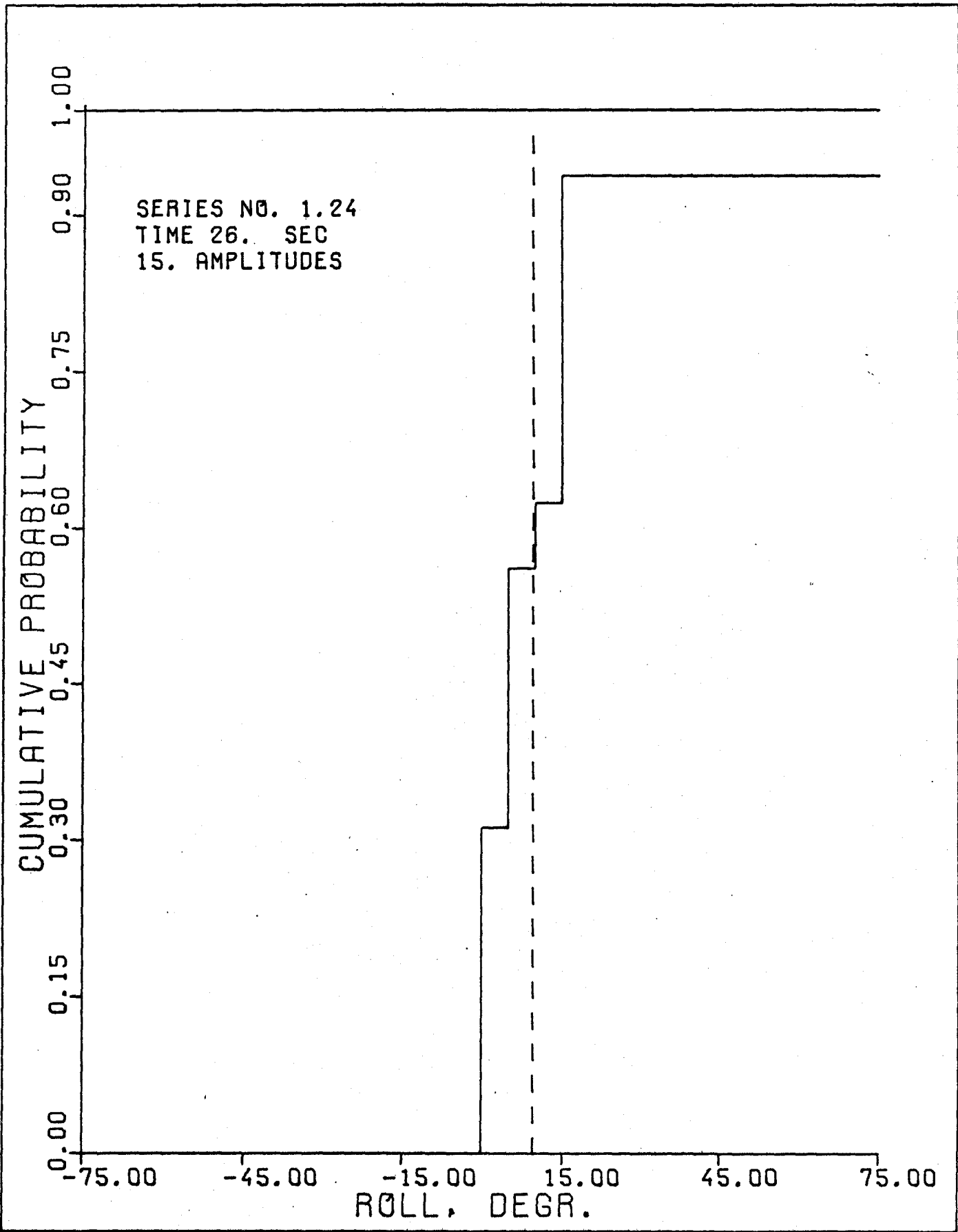
PROBABILITY DENSITY

RELATIVE FREQUENCY

MINIMA

MAXIMA



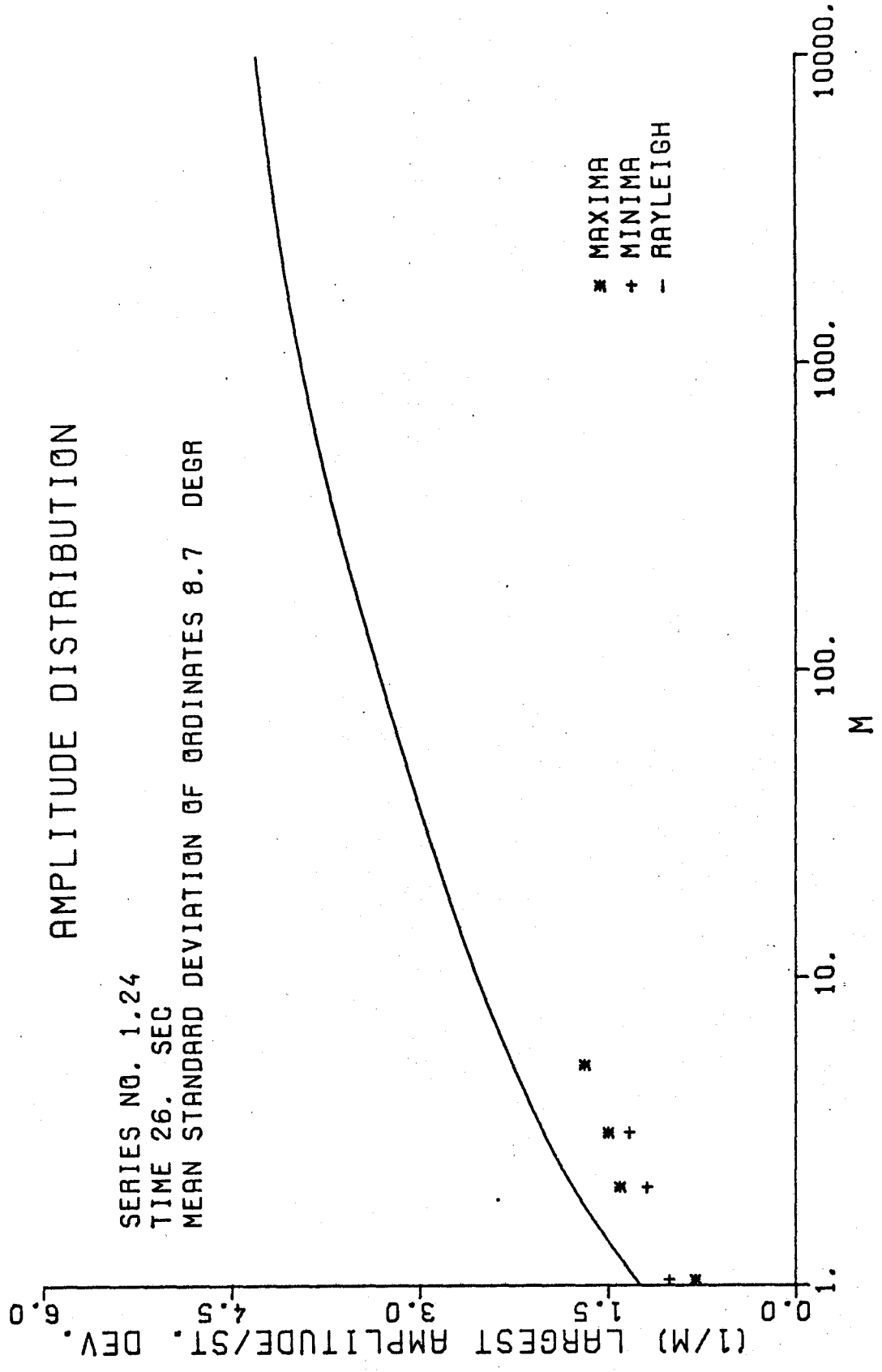


AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.24

TIME 26. SEC

MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 8.7 DEGR



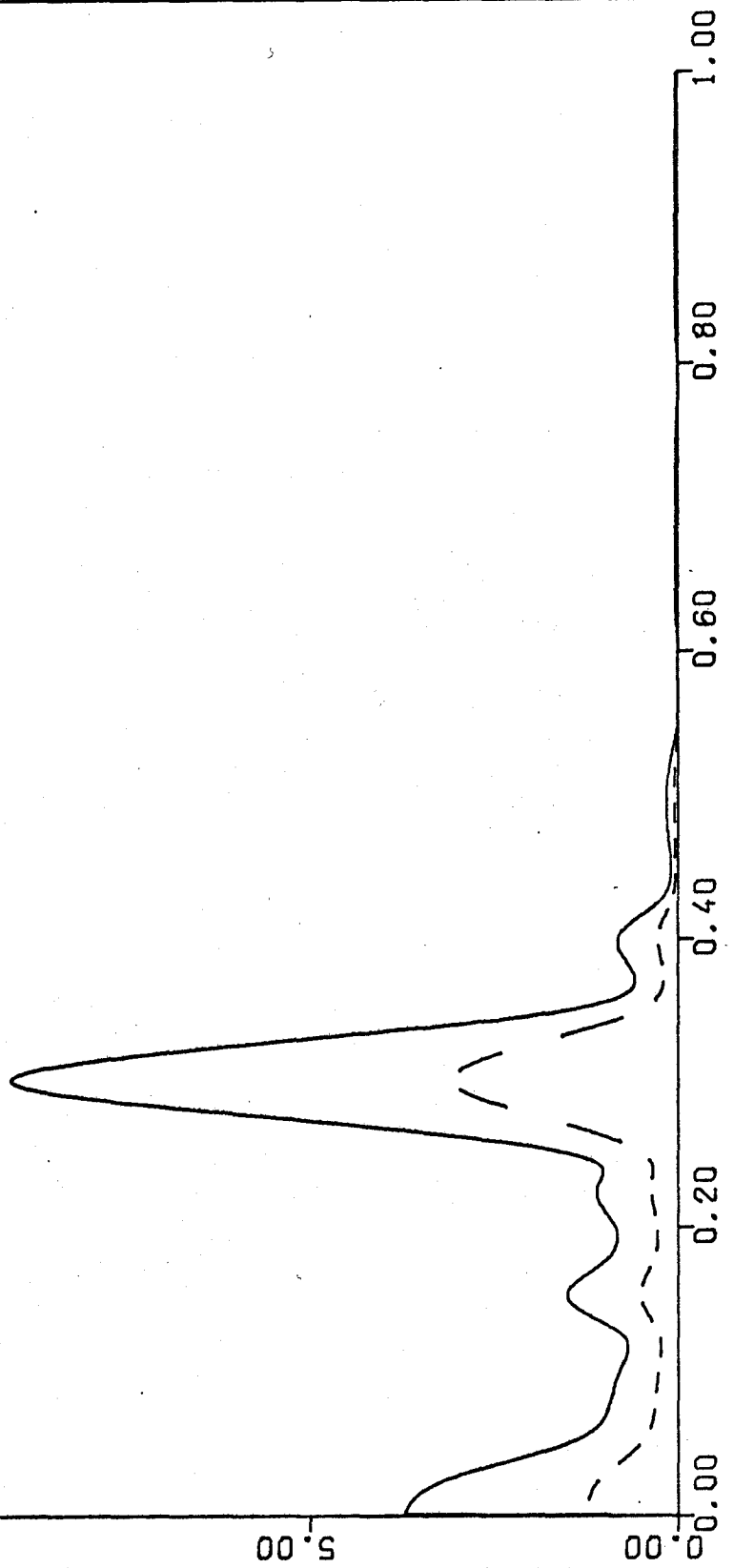
FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.24
VARIANCE = 75.71 SQ. DEGR.

15.00
10.00
5.00
0.00

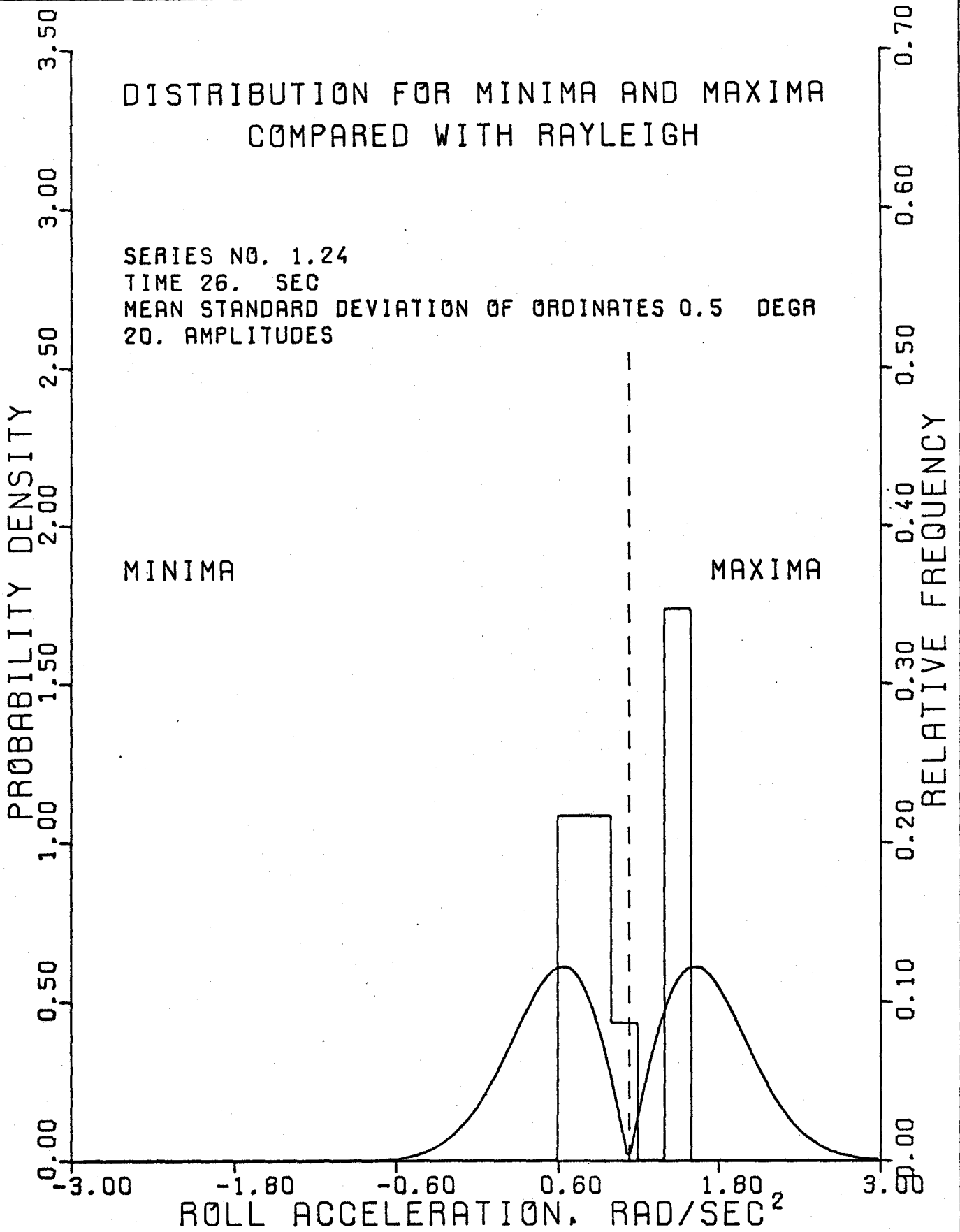
NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

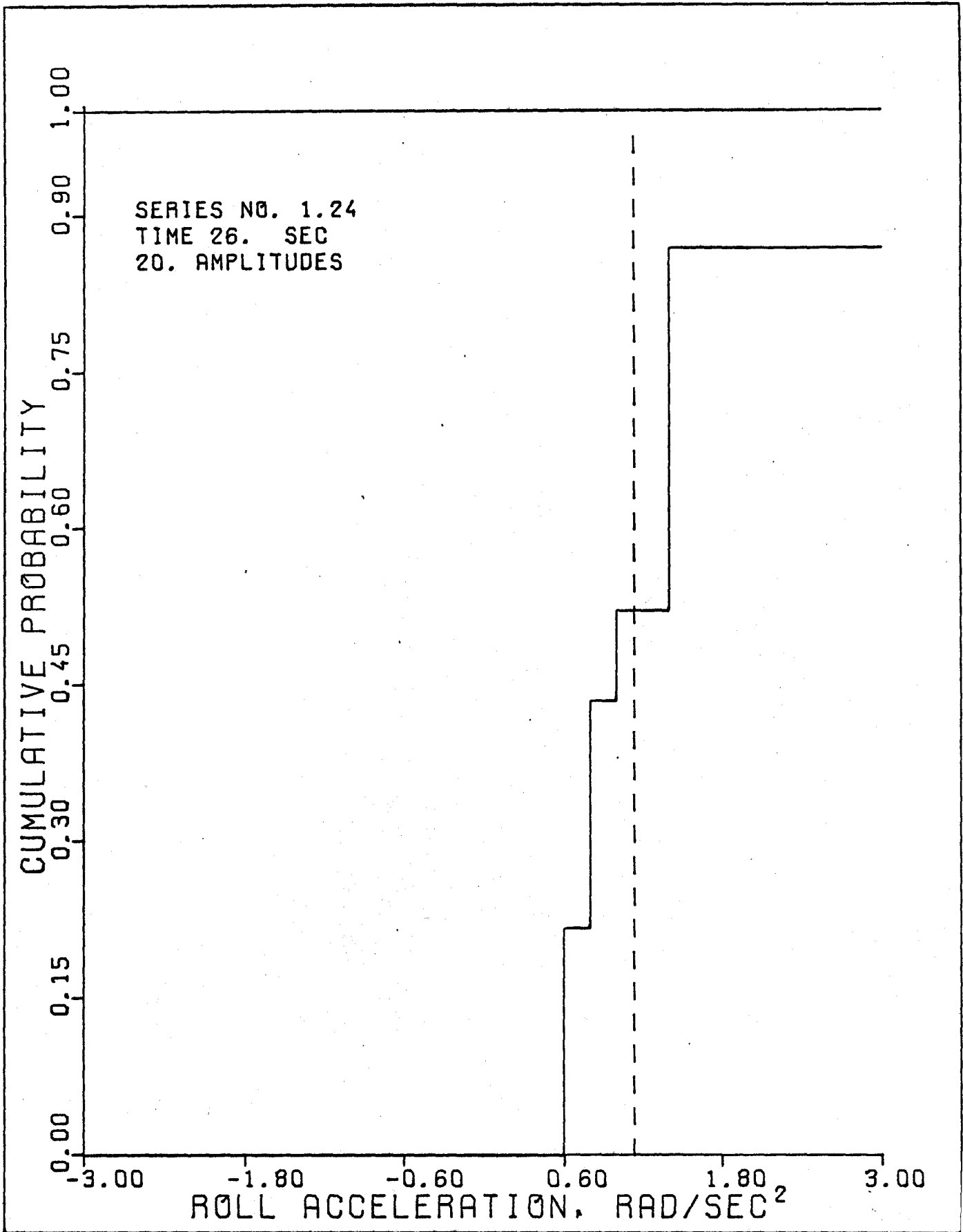


FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ

DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

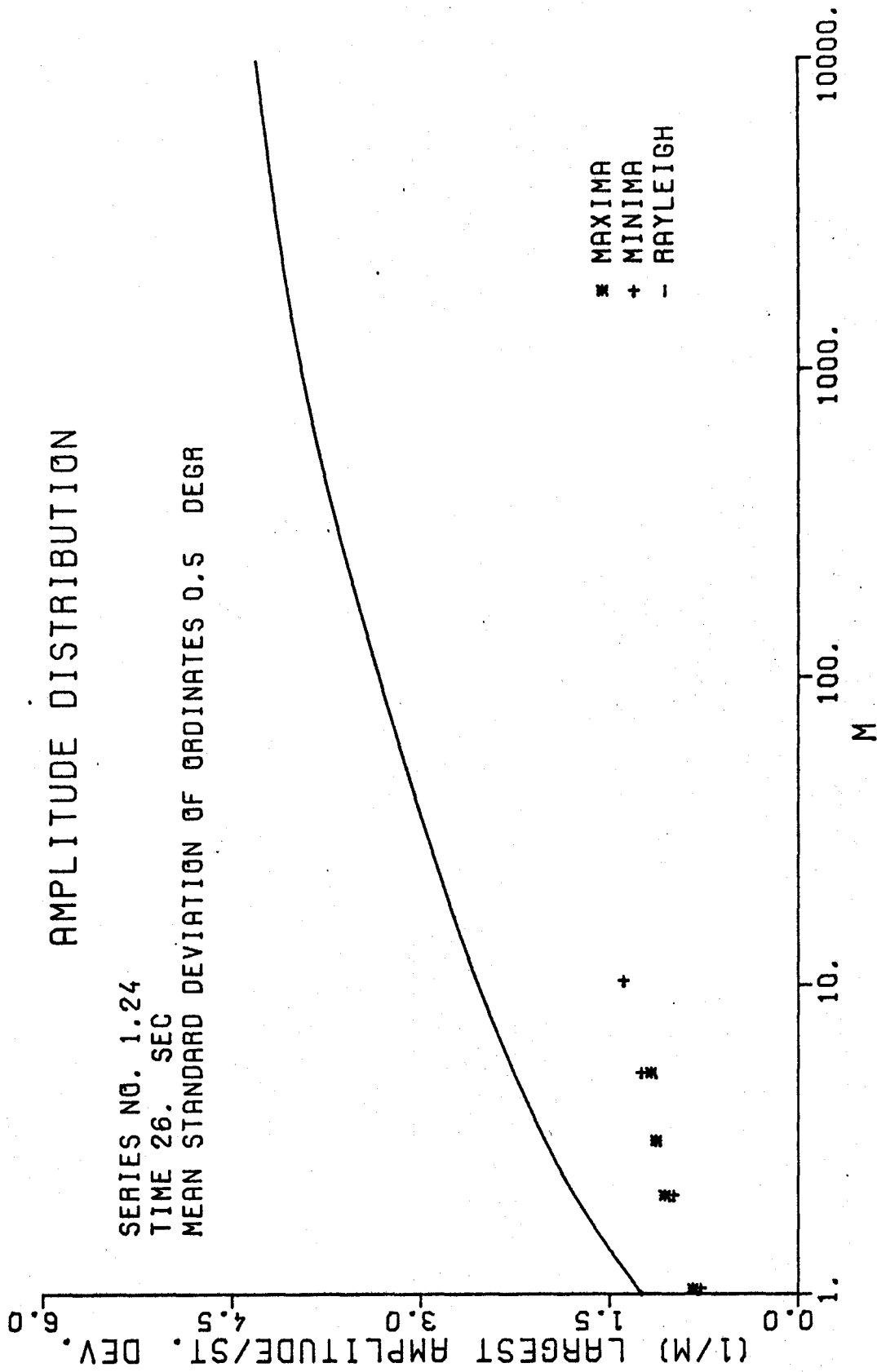
SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.5 DEGR
20. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 0.5 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

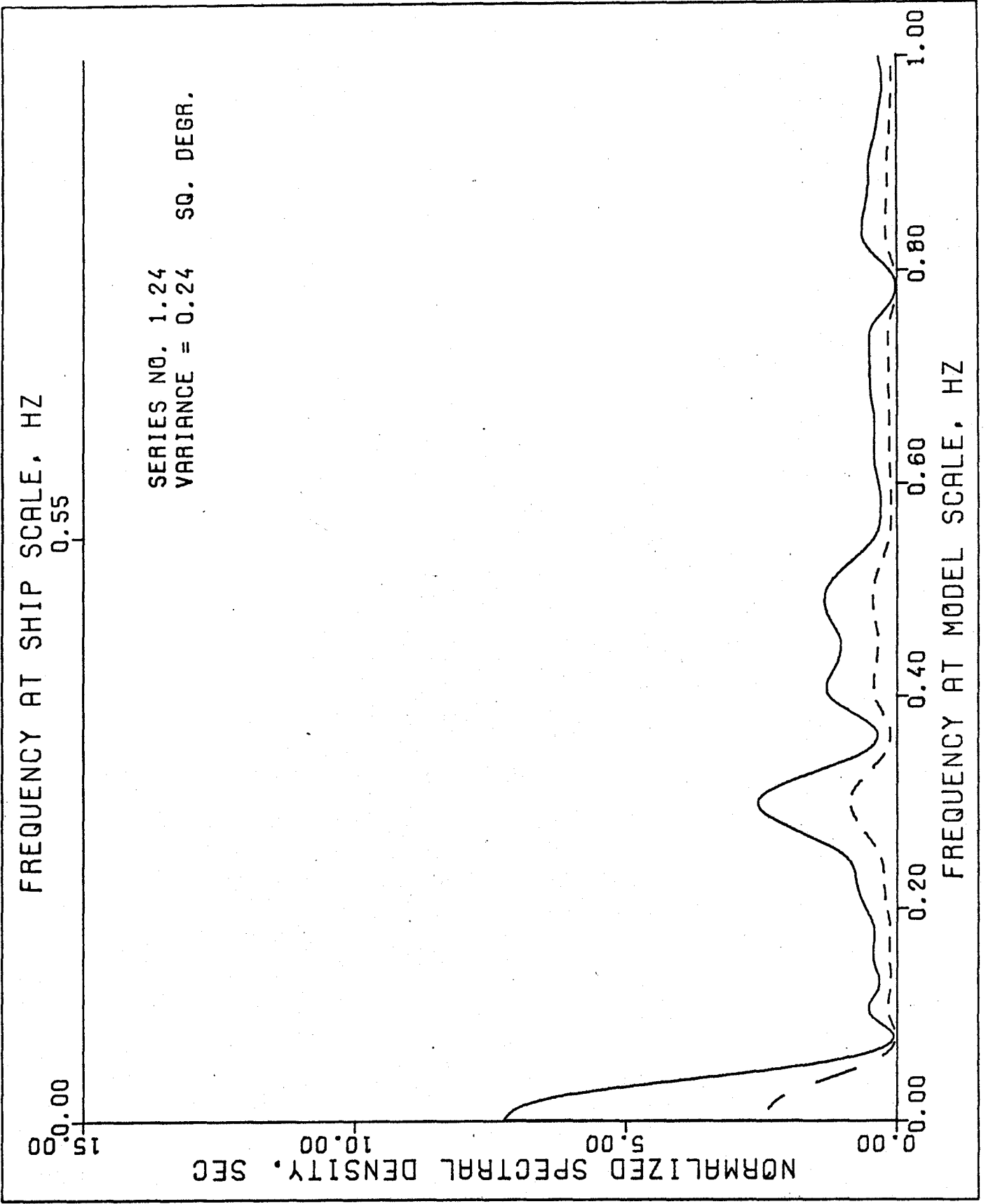
SERIES NO. 1.24
VARIANCE = 0.24 SQ. DEGR.

15.00
10.00
5.00
0.00

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

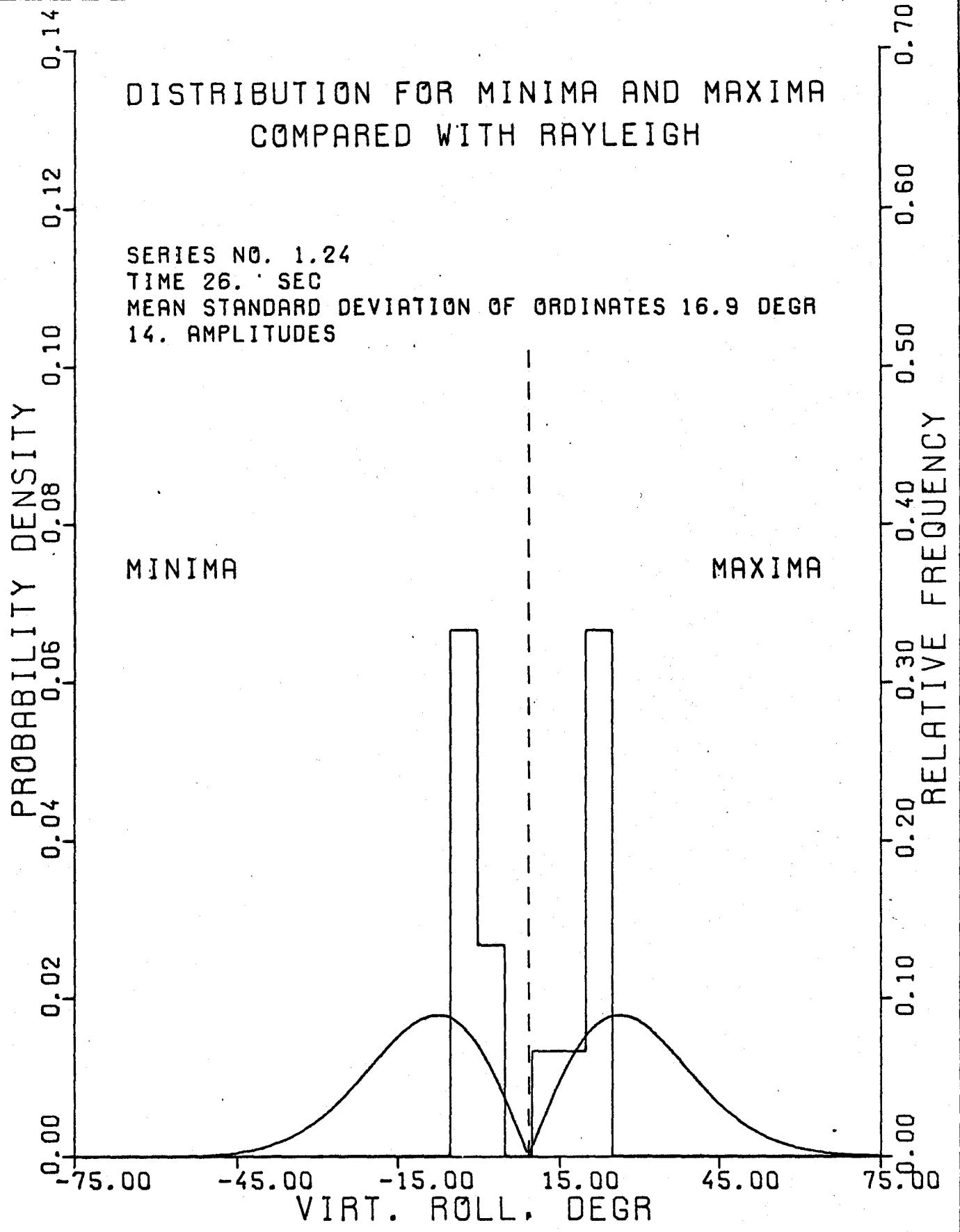
0.00
0.20
0.40
0.60
0.80
1.00

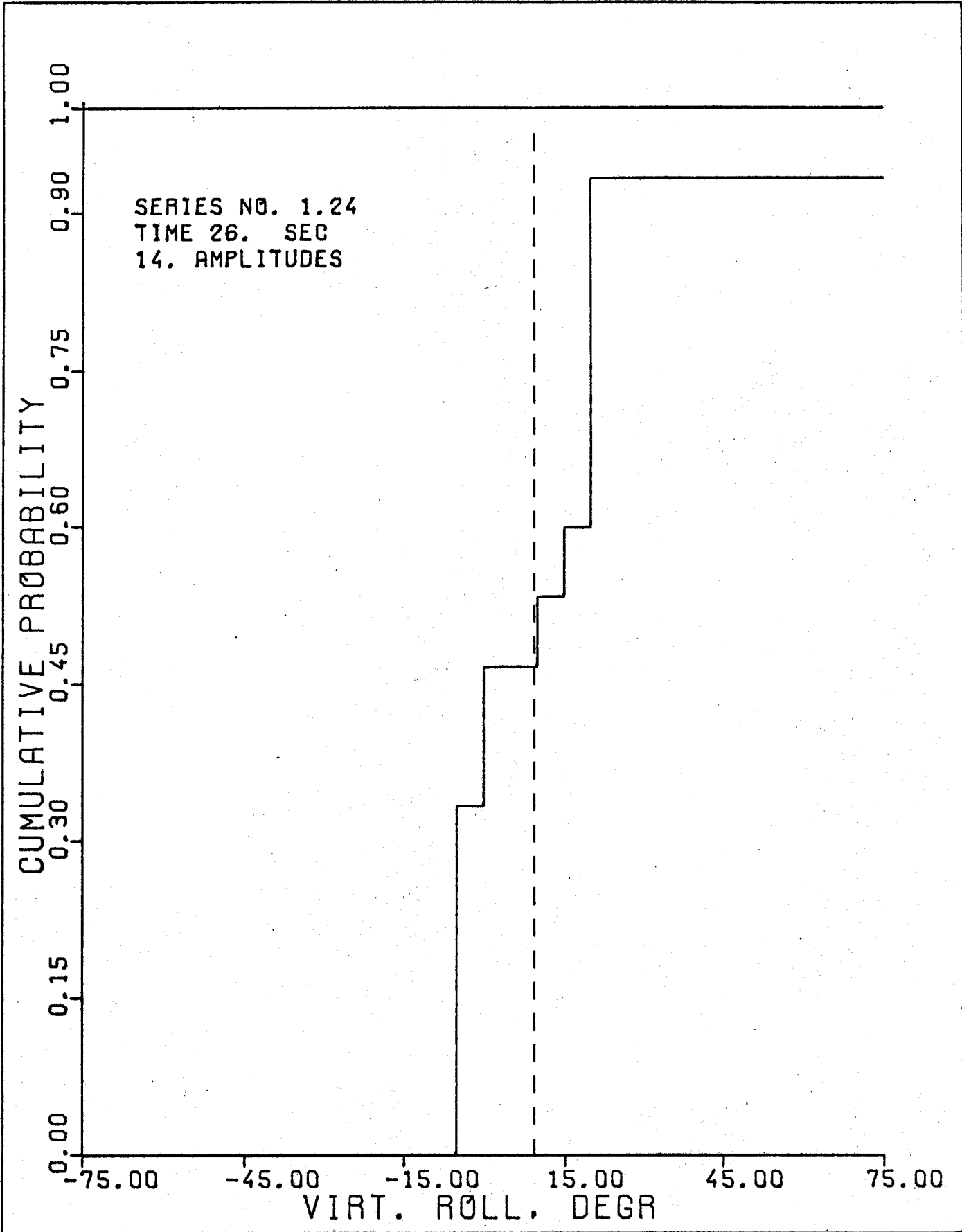
FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA COMPARED WITH RAYLEIGH

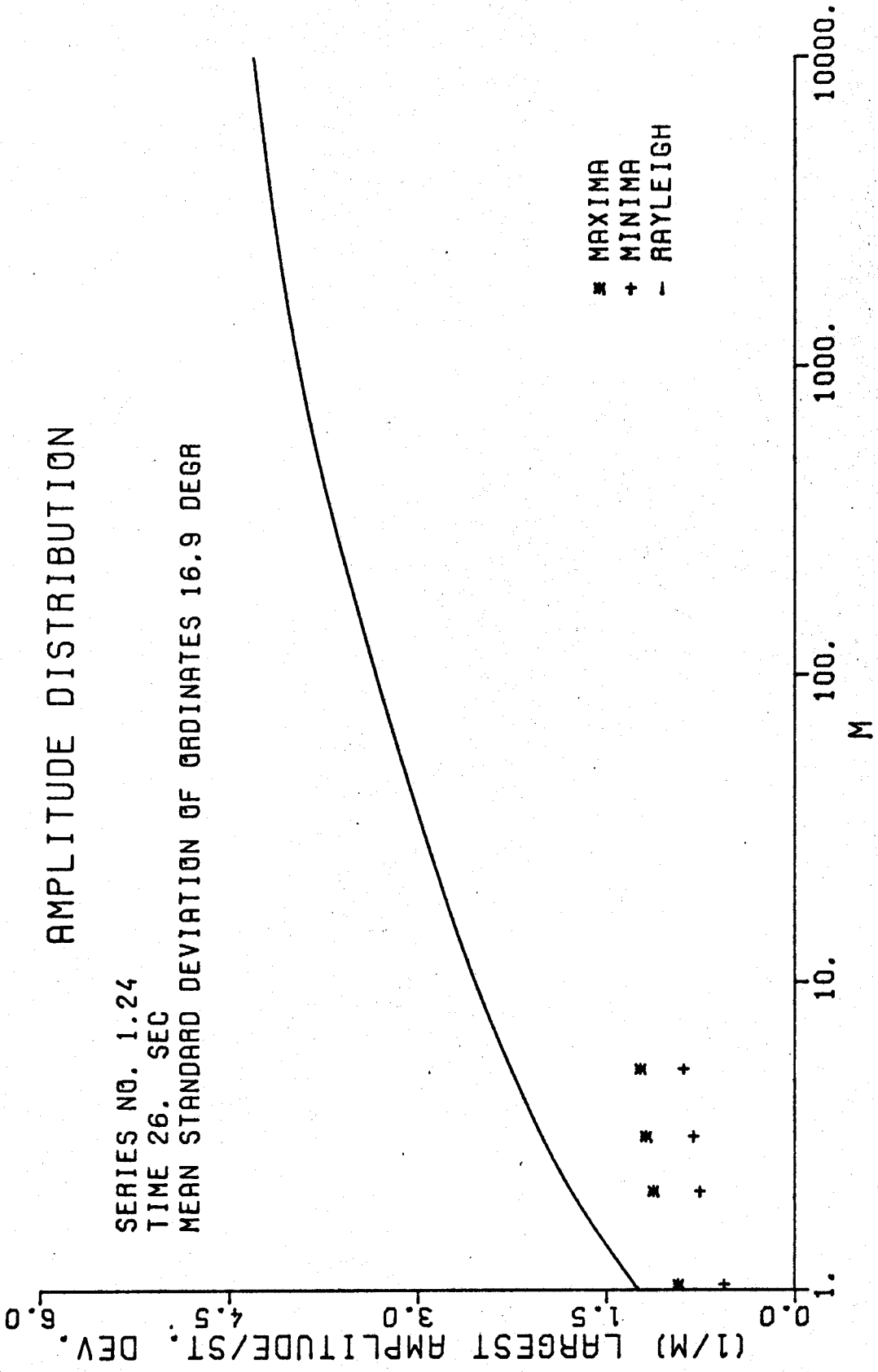
SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 16.9 DEGR
14. AMPLITUDES





AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 16.9 DEGR



FREQUENCY AT SHIP SCALE, HZ

0.55

SERIES NO. 1.24
VARIANCE = 285.26 SQ. DEGR.

NORMALIZED SPECTRAL DENSITY, SEC

15.00
10.00
5.00
0.00

1.00

0.80

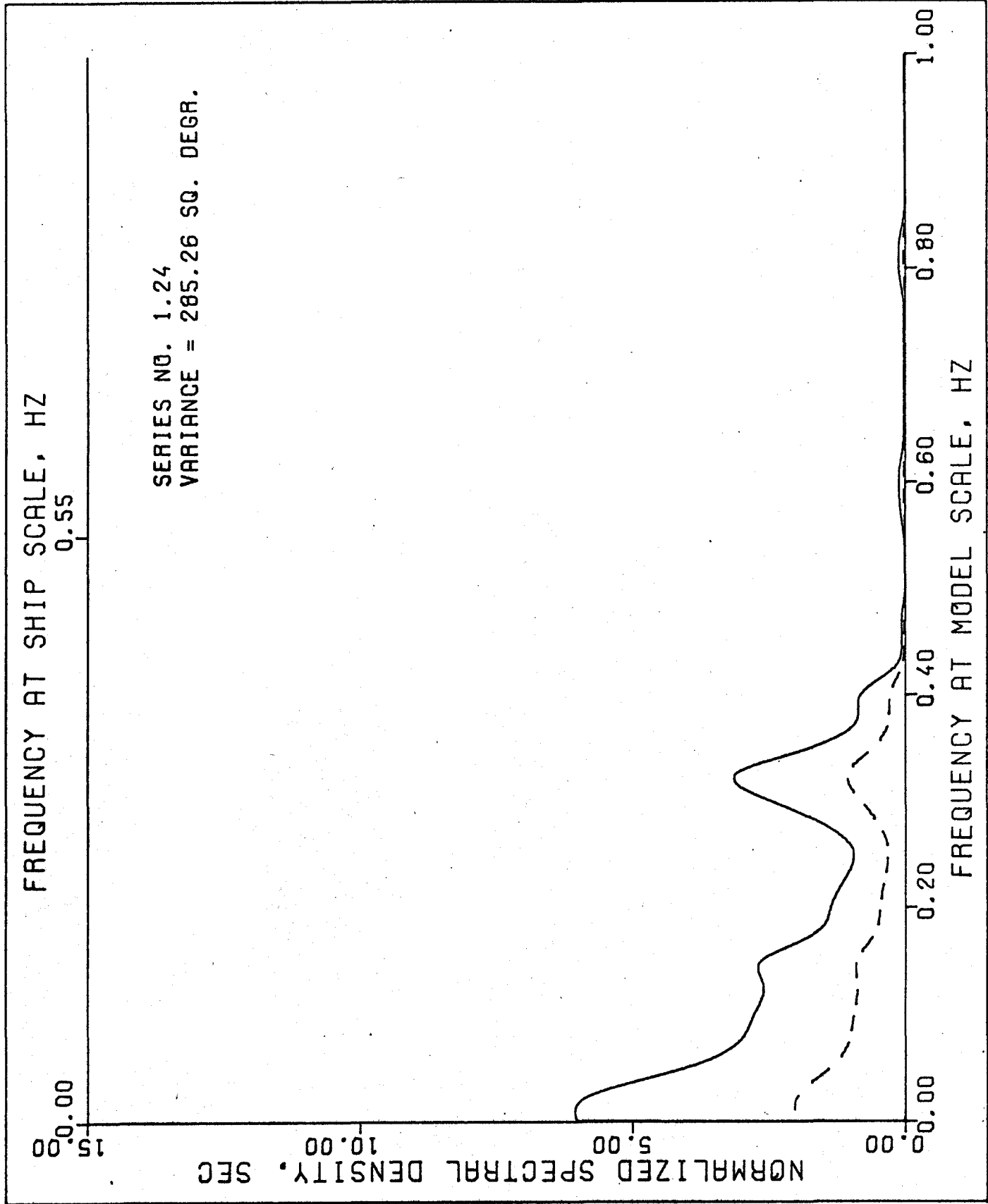
0.60

0.40

0.20

0.00

FREQUENCY AT MODEL SCALE, HZ



DISTRIBUTION FOR MINIMA AND MAXIMA
· COMPARED WITH RAYLEIGH

SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 1.2 DEGR
25. AMPLITUDES

PROBABILITY DENSITY

RELATIVE FREQUENCY

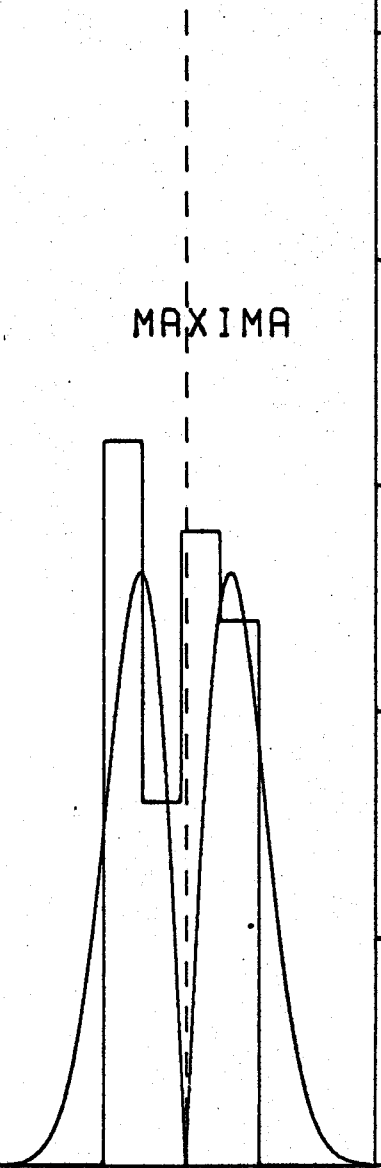
MINIMA

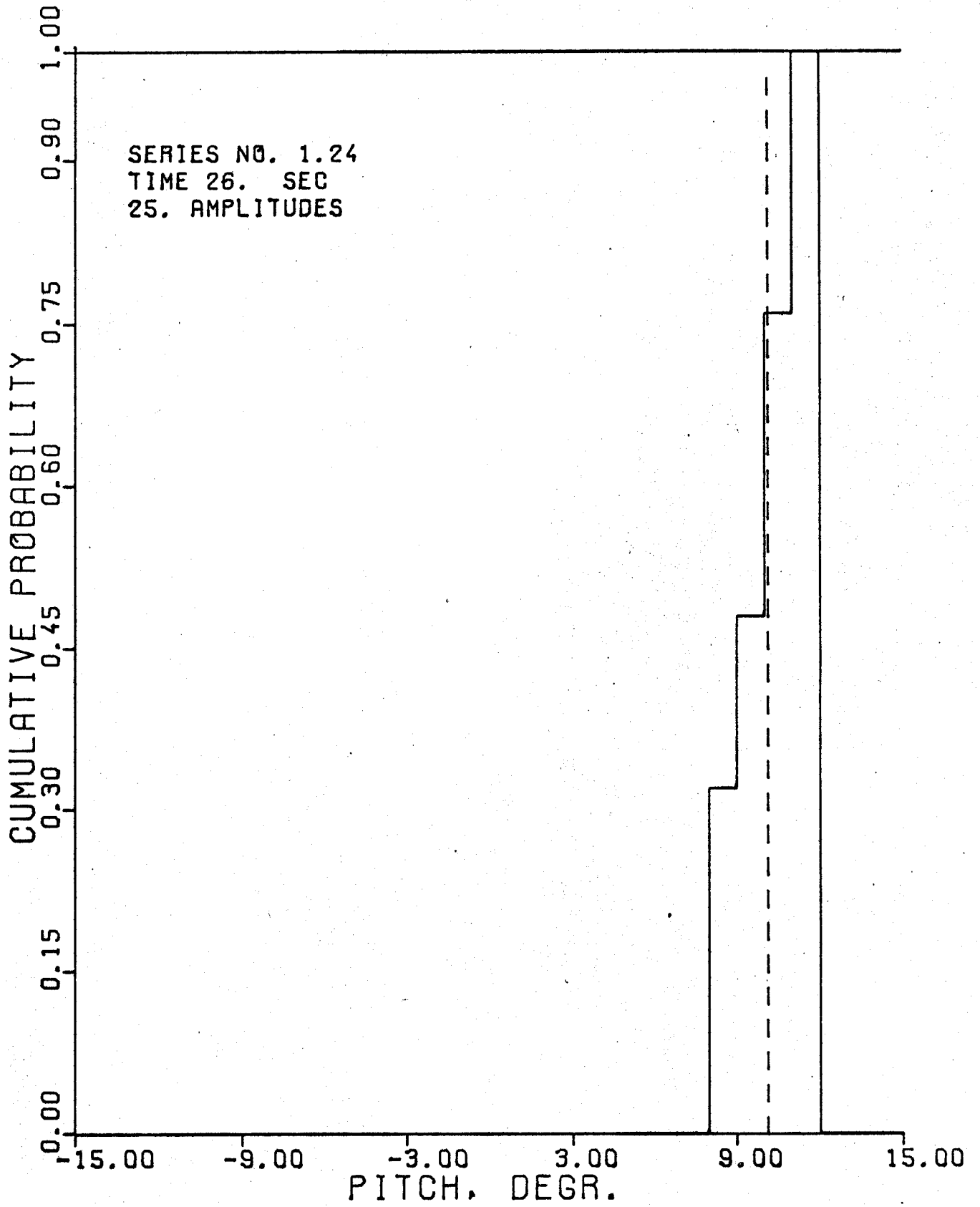
MAXIMA

0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00

0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00

15.00 -9.00 -3.00 3.00 9.00 15.00
PITCH, DEGR.

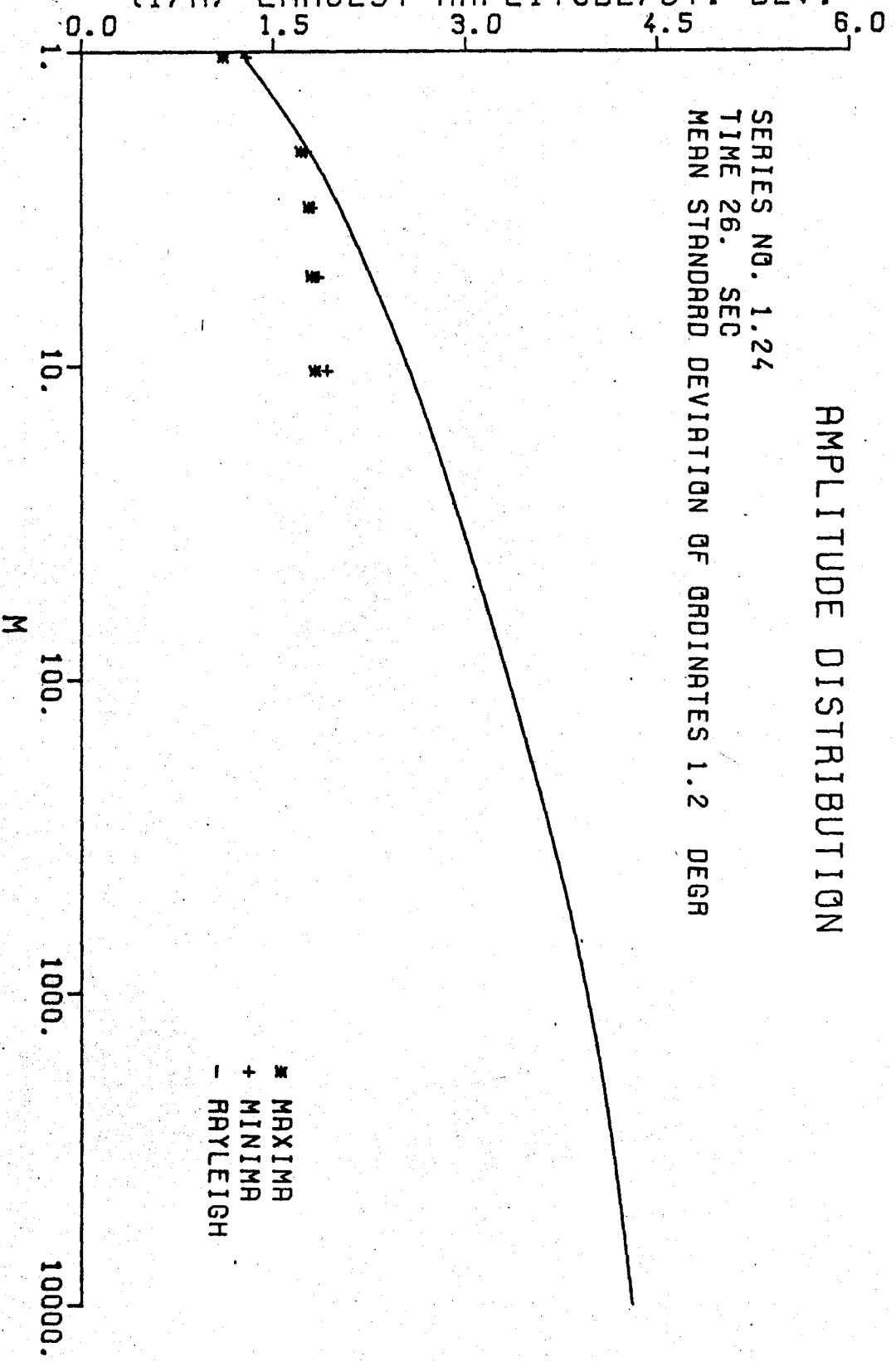




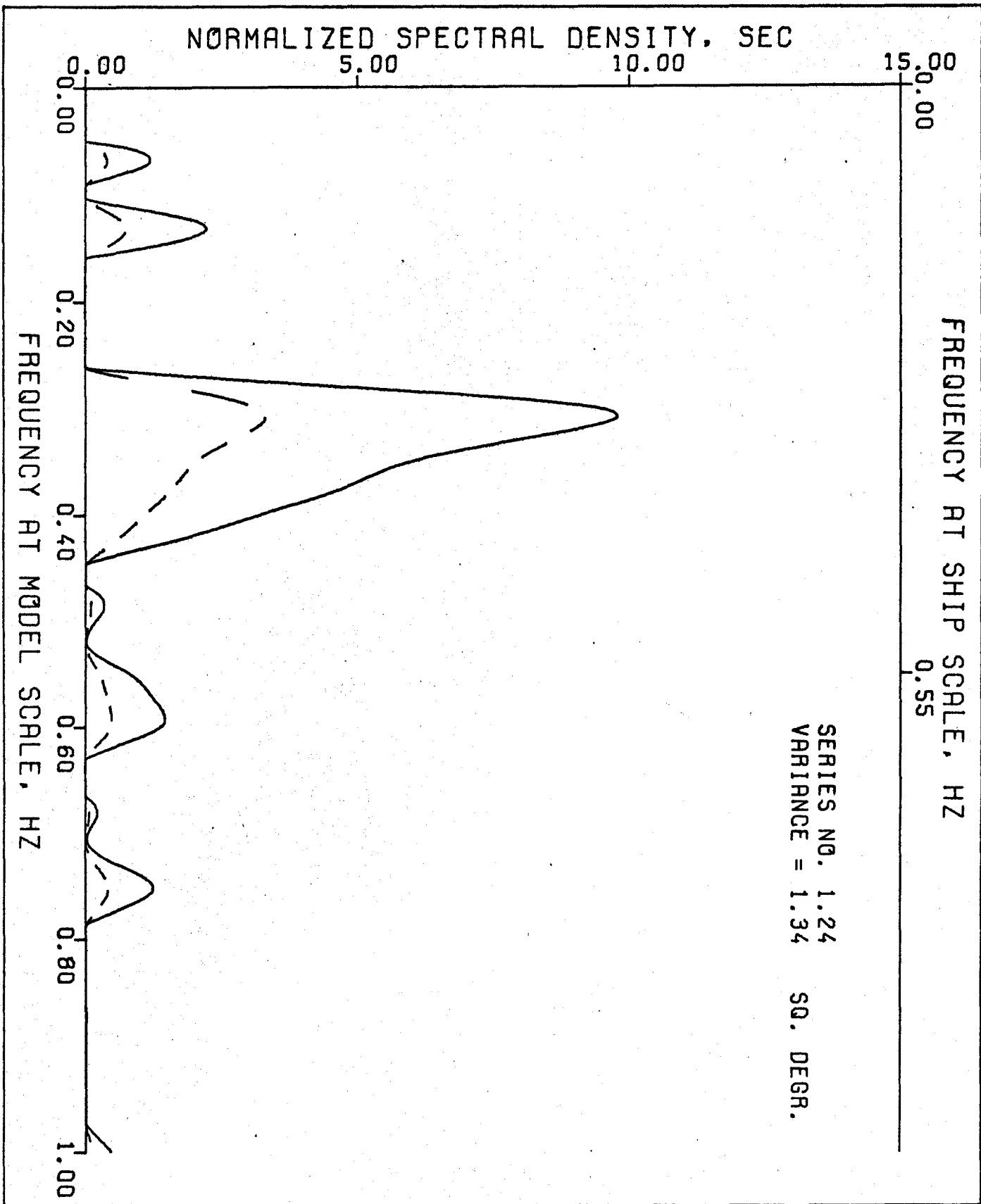
AMPLITUDE DISTRIBUTION

SERIES NO. 1.24
TIME 26. SEC
MEAN STANDARD DEVIATION OF ORDINATES 1.2 DEGR

(1/M) LARGEST AMPLITUDE/ST. DEV.



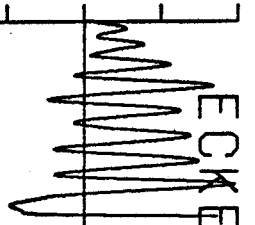
* MAXIMA
+ MINIMA
- RAYLEIGH



ECKERNFØERDE 1968 1.24

ROLL

DEGR. 0. 25.



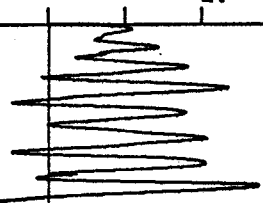
ROLL ACCEL.

RAD./SEC. 1. 2.



VIRT. ROLL

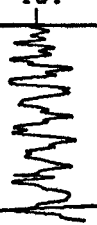
DEGR. 0. 25.



Kentern

PITCH

DEGR. -10. -5. 0. 5. 10. 25.



30. 60. 90. 120. 150. 180. MODEL TIME, SEC