

# Toonhoogte-onderzoek van kortdurig samengestelde geluiden

***Citation for published version (APA):***

Coenen, B., & Somers, M. (1986). *Toonhoogte-onderzoek van kortdurig samengestelde geluiden*. (IPO rapport; Vol. 543). Instituut voor Perceptie Onderzoek (IPO).

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 09/07/1986

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Rapport no. 543

Toonhoogte-onderzoek van  
kortdurig samengestelde geluiden

Ben Coenen en Mary Somers

Bedrijfsstage

Uitvoeringsperiode: 26-5-'86 t/m 9-7-'86

Bedrijfsgegevens: I.P.O.

Den Dolech 2  
5612 AZ Eindhoven  
Postbus 513  
5600 MB Eindhoven  
tel: 040 - 472635

Begeleider: Dr. J.M. Houtsma I.P.O.  
M. Kattenberg N.L.O.

INHOUDSOPGAVE:

	blz:
Samenvatting	1
Inleiding	2
Algemene conclusie	3
Bespreking conclusie van alle trommelslagen	4 - 33
Bijlage	36

## SAMENVATTING.

Als stage-opdracht hebben wij een toonhoogte-experiment van kortdurig samengestelde geluiden gedaan.

Hieraan namen 42 proefpersonen deel. De stage duurde in totaal zeven weken. In de eerste week hebben we gesproken over het inhoudelijke aspekt van de stage, een planning gemaakt en leren werken met de elektronische apparatuur en het computersysteem. Bovendien zijn we gestart met de proefnemingen van 9 personen.

In de tweede en derde week hebben we de test afgenomen bij 33 personen en deze in grafieken verwerkt. De werkzaamheden in de vierde en vijfde week bestonden uit het verwerken van de data, literatuur doornemen van al eerder gedane experimenten en frequentie-spectra van de 23 trommelslagen geplot en geanalyseerd.

De zesde en zevende week hebben we gebruikt voor de verslaggeving.

De proefpersonen kregen een trommelslag en een door henzelf instelbaar sinustootje te horen. Het was de bedoeling dat de proefpersonen het sinustootje op dezelfde toonhoogte instelden als het geluid van de trommelslag. In totaal kreeg men 90 trommelslagen te horen; 3 series van 25 slagen waarin 8 verschillende trommelslagen, en een serie van 15 slagen waarin maar 3 verschillende trommelslagen te horen waren. Men kreeg dus een aantal trommelslagen meerdere keren te horen.

De ervaringen van de proefpersonen liepen uiteen van "niet makkelijk" tot "zeer moeilijk". Met behulp van de spectra en de grafieken zijn een aantal konklusies getrokken. Ook dit experiment bevestigde een aantal theorieën en konklusies die al eerder door andere onderzoekers geponeerd zijn.

## INLEIDING.

Dit verslag is geschreven naar aanleiding van onze stage-opdracht voor het Instituut voor Perceptie-Onderzoek te Eindhoven.

Een stage die door het N.L.O., afdeling Wis- en Natuurkunde, in het derde jaar opgedragen wordt.

In de periode van 26 mei t/m 11 juli 1986 hebben wij deze stage vervuld.

Als eerste willen wij de heer J.M. Houtsma voor zijn aandacht en de genomen moeite hartelijk danken, verder alle proefpersonen en overige mensen die meegewerkt hebben aan het goede verloop van onze stage.

De werkzaamheden waren voor ons zeer leerzaam, bovendien hebben wij een beter inzicht gekregen in het I.P.O.-gebeuren.

Mary Somers

Ben Coenen

## ALGEMENE KONKLUSIE.

Bij het verwerken van de matches van de proefpersonen bleek dat er duidelijk mensen aan te wijzen waren die erg inconsequent instelden. Derhalve zijn wij voor enkele trommels, te weten KDRUM 1-2-3, NAMM 1 en 2 en NAMFM1 en 2, opnieuw grafieken gaan maken van de matches, uitgaande van de 26 consequent instellende proefpersonen.

Wij zagen toen dat wat we verwacht hadden, namelijk dat een groter percentage op de pieken uit het frequentie-spectra vallen.

Het bleek vaak moeilijk om uit het frequentie-spectra konklusies te trekken met betrekking tot de grondtoon, de 1e boventoon etc., omdat er vaak meerdere pieken aan te wijzen zijn in die buurt. Bovendien waren er soms geen verhoudingen aan te geven tussen de sterke pieken (geen g.g.d. te vinden).

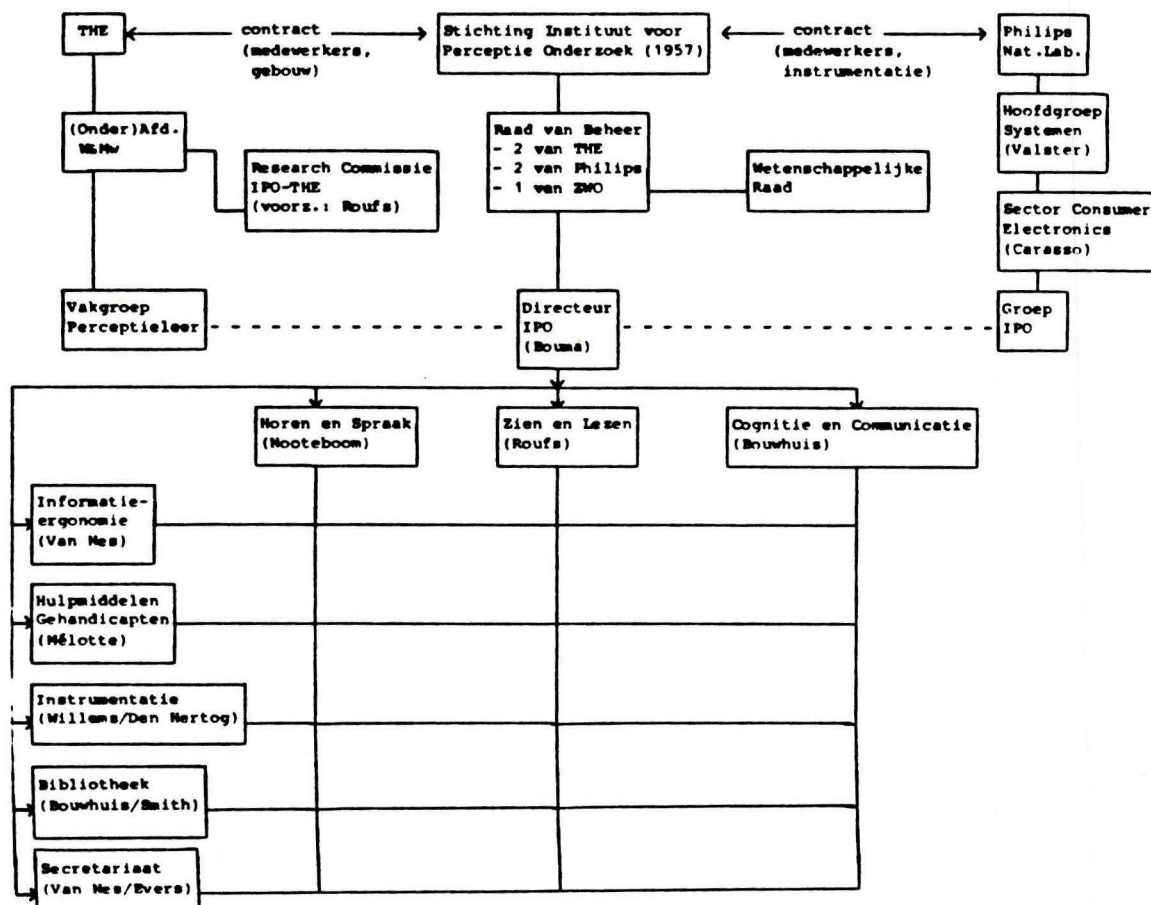
Achteraf bleek dat vaak een groot percentage van de matches op een oktaaf-fout van de 1e boventoon viel (de helft van de frequentie van de 1e boventoon) terwijl daar in de buurt ook vaak de grondtoon lag.

## STRUKTUUR EN ORGANISATIE I.P.O.

De afkorting I.P.O. staat voor "Instituut voor Perceptie-Onderzoek". De stichting I.P.O. is een vorm van samenwerking van de N.V. Philips en de T.H. Eindhoven, die zich ten doel stelt de bevordering van het zuiver en toegepast wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de perceptie en daarmee verwante gebieden.

Organisatorisch valt het I.P.O aan Philips' zijde onder het natuurkundig laboratorium, aan T.H.-zijde onder de onderafdeling wijsbegeerte en maatschappij-wetenschappen.

Schema I.P.O-organisatie.



## KOSTENASPEKT.

Als er bij een van de medewerkers van het I.P.O. een idee ligt voor een nieuw onderzoek, zoals ook dat van de heer Houtsma, wordt dat onderling goed doorgesproken.

Er gaat dan een verzoek om subsidie naar het Z.W.O. (= Zuiver Wetenschappelijk Onderwijs) waarin alles toegelicht moet worden. Een stichting binnen het Z.W.O. -waarbinnen het onderwerp waar onderzoek naar gedaan gaat worden valt- krijgt zo'n verzoek binnen. Stichtingen waar het I.P.O. vooral mee werkt zijn biofysica en psychon.

Het verzoek komt op een prioriteitenlijst te staan en afhankelijk van hoe hoog het onderzoek staat, wordt er wel of geen subsidie gegeven.

In zo'n aanvraag voor subsidie moeten onder andere de volgende gegevens staan:

- inhoud van het onderzoek.
- voorgeschiedenis van het onderwerp.
- probleemstelling.
- projektbeschrijving.
- specificatie van personeel.
- aanpak.
- al aanwezige en gelezen literatuur.
- belangen.
- gebruikte apparatuur.

In mei wordt de voorlopige aanvraag ingediend, welke in juli na vele kanalen te zijn gepasseerd en te zijn bekritiseerd, wordt herschreven. In september wordt dan de definitieve aanvraag ingediend. Naast de normale weg om via het Z.W.O. subsidie te krijgen (2e geldstroom), zijn er ook nog extra stichtingen zoals de buitenlandse bezoekersbeurs. Hierdoor is subsidie gegeven bij het onderzoek waar wij nu een gedeelte van gedaan hebben.

De nauwkeurige omschrijving van het onderzoek zoals die in februari 1984 door de heer Houtsma is opgegeven, treft u in de bijlage aan.

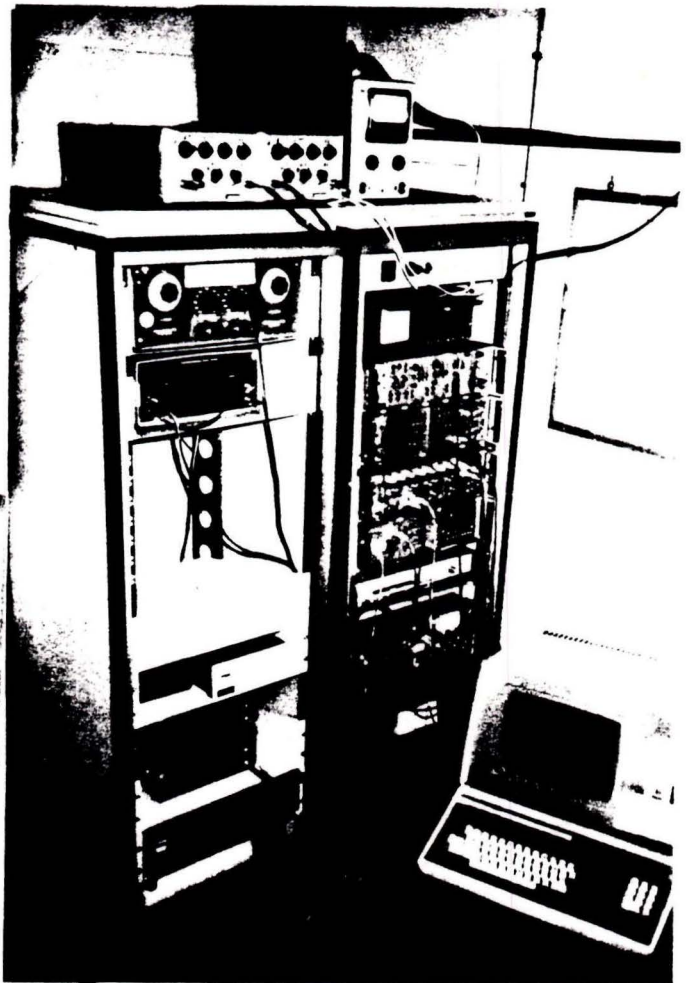
In mei 1984 kregen de heren Houtsma en Rossing de toezegging dat het onderzoek gestart mocht worden, mits er een wetenschappelijk verslag over ervaringen en eventuele publikaties -ook naar Z.W.O.- gezonden zou worden.





Dataverwerking en programma-sturing

De apparatuur



Geluidsvrije ruimte  
t.b.v. de proefpersonen



## ALGEMENE INLEIDING OVER HET GEHOOR.

Het menselijk gehoor-systeem is complex van structuur en heeft opmerkelijke functies. Het reageert niet alleen op veel stimuli maar het identificeert ook precies de toonhoogte en de kwaliteit van het geluid, evenals de richting waar het geluid vandaan komt.

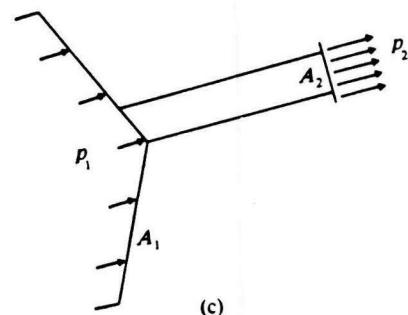
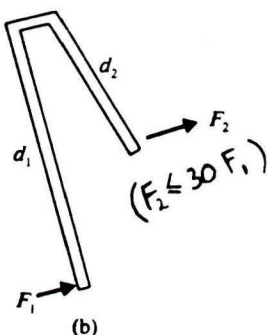
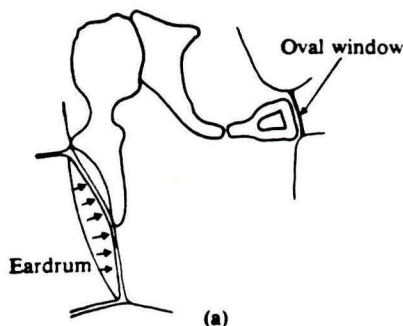
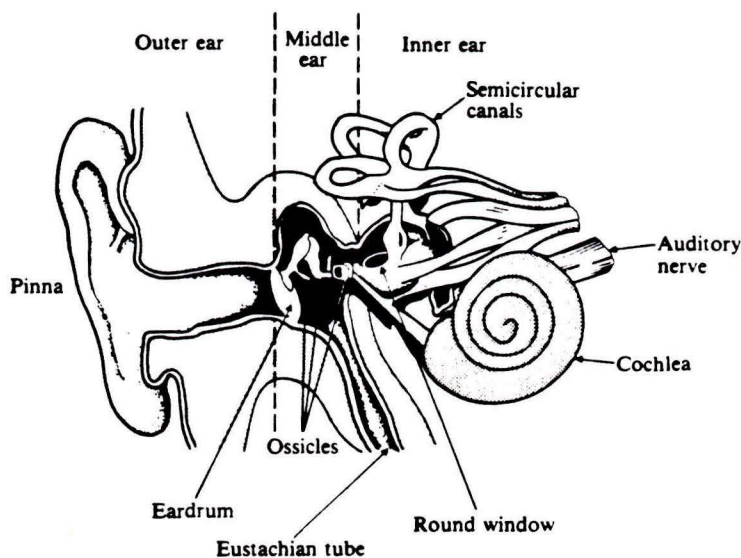
Een groot gedeelte van de hoorfunctie wordt uitgevoerd door het oor. Maar recent onderzoek heeft aangetoond dat een groot deel van het horen afhangt van de gegevensverwerking die plaats vindt in het centraal zenuwstelsel.

Om de structuur van het oor te beschrijven, is het makkelijk om het oor te verdelen in drie gedeelten;

- het buiten-oor.
- het midden-oor.
- het inwendige oor.

Het buiten- ofwel uitwendige oor bestaat uit een schelp en het gehoorkanaal dat verbonden is met het trommelvlies. De hoorschelp registreert geluiden en draagt bij in onze mogelijkheid om richting en afkomst te bepalen van geluiden met hoge frequenties. Het gehoorkanaal gedraagt zich als een klankkast die geluiden versterkt van 2.000 tot 5.000 Hz.

Het midden-oor begint met het trommelvlies waaraan drie kleine beentjes zijn verbonden; hamer, aambeeld en stijgbeugel. Het trommelvlies wordt bij elkaar gehouden door de tensor tympani-spier. Het trommelvlies verandert de drukvariaties van het binnenkomend geluid in mechanische vibraties die verplaatst worden via de drie beentjes naar het inwendige oor.



Op de tekening kun je zien hoe de druk 30 maal versterkt wordt voordat het in het inwendige oor terecht komt. De drie beentjes spelen hierin een erg belangrijke rol.

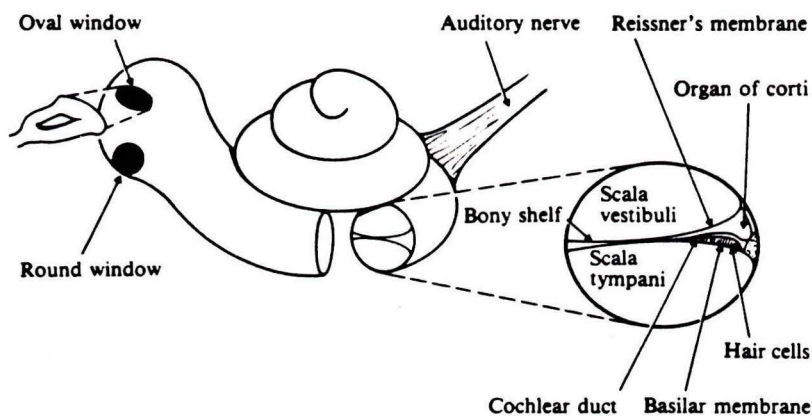
Een andere functie van de drie beentjes is het inwendige oor te beschermen tegen erg sterke geluiden en plotselinge drukverschillen. Sterke geluiden zetten twee spieren in werking, één dicht het trommelvlies en de andere duwt de stijgbeugel weg van de ingang van het inwendige oor. We noemen dit akoestische reflex.

De buis van Eustachius, die het middenoor verbindt met de mondholte, is een veiligheidsapparaat. Als de buis van Eustachius langzaam open gaat, een kloppend geluid is dan misschien hoorbaar als de buitenluchtdruk verandert, bijvoorbeeld bij een snelle verandering in hoogte.

Het is opmerkelijk dat al deze middenoor-functies plaats vinden in een ruimte niet groter dan een suikerklontje.

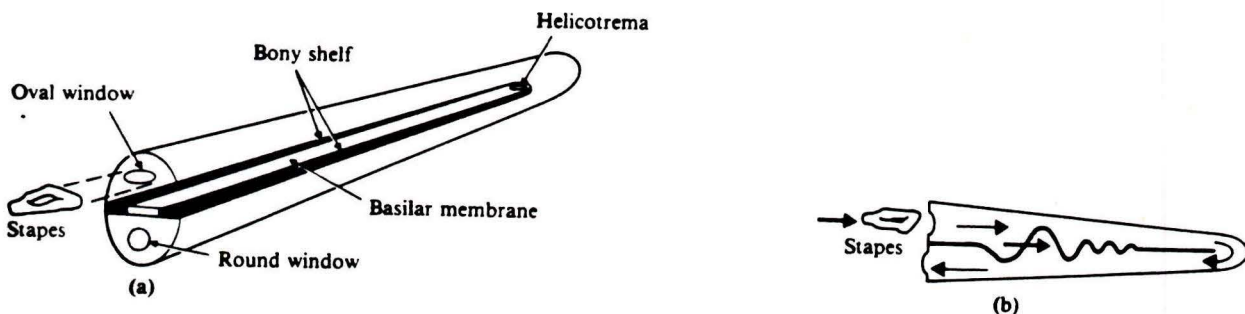
Het complex inwendige oor bevat de halfronde kanalen en het slakkehuis. De halfronde kanalen dragen niet bij tot het horen maar zijn detectoren die nodig zijn voor de balans. Het slakkehuis is een mooi stukje miniatuurwerk om drukvariaties om te zetten in zuiver gecodeerde zenuwpulsen.

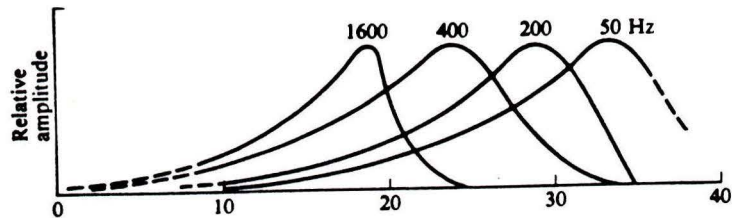
Het slakkehuis bevat drie kamers (zie tekening).



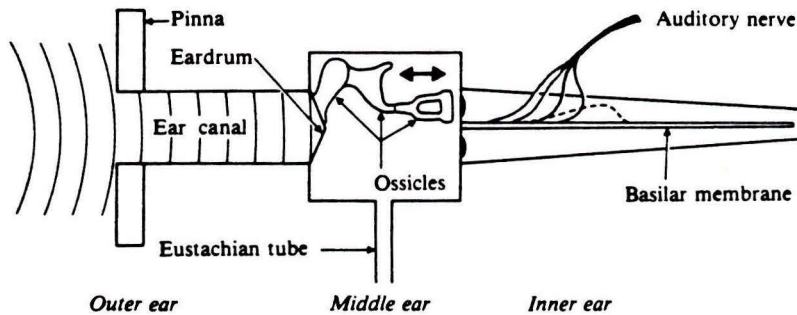
Om te begrijpen hoe het basilar membraan vibreert, zien we het slakkehuis uitgerold en vereenvoudigd in fig. A. Het slakkehuis is dan een taps toelopende cilinder die in twee stukken gedeeld wordt door het basilar membraan. Het basilar membraan eindigt zelfs voor het eind van de cilinder zodat de vloeistof drukgolven kan overbrengen rond het eind van het membraan (fig. B).

Als de stijgbeugel vibreert tegen het ovale raampje, worden hydraulische drukgolven snel overgebracht langs de scala vestibuli, d.m.v. kleine golfjes in het basilar membraan.





Hoge tonen veroorzaken de grootste amplitude dichtbij het ovale raampje waar het basilar membraan klein en stijf is. Hoge tonen veroorzaken de grootste amplitude op het eind van het membraan, waar deze slap is. Dus, de innerlijke frequentie analyses vinden plaats in het slakkehuis. De omzetting van mechanische vibraties in het basilar membraan naar elektrische impulsen in de gehoorzenuwen wordt voltooid in het orgaan van Corti. Als het basilar membraan vibreert worden door de haren zenuwimpulsen gegeven naar de hersenen. De grootte van deze impulsen hangt af van intensiteit en frequentie van het geluid. Hieronder ziet u tot slot een schematische tekening van de gehoorwerking in zijn geheel.



## MASKING.

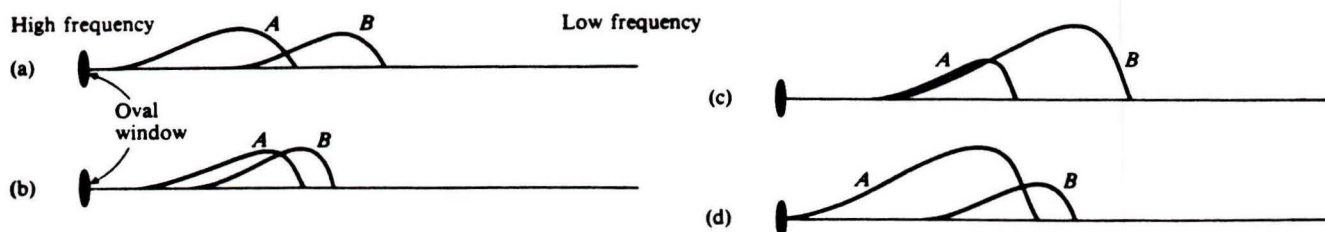
Als het oor wordt blootgesteld aan twee of meer verschillende tonen, dan is een algemene ervaring dat de ene toon de andere maskeert.

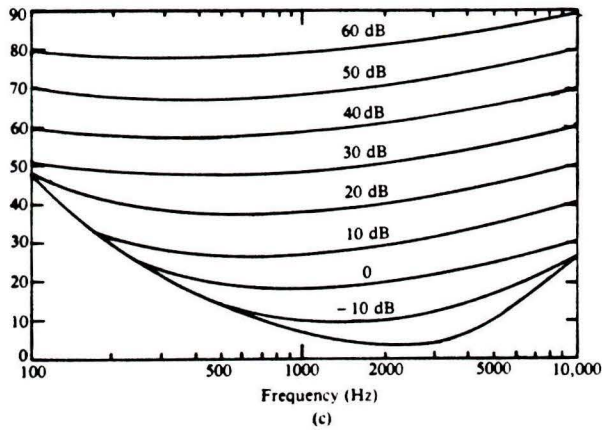
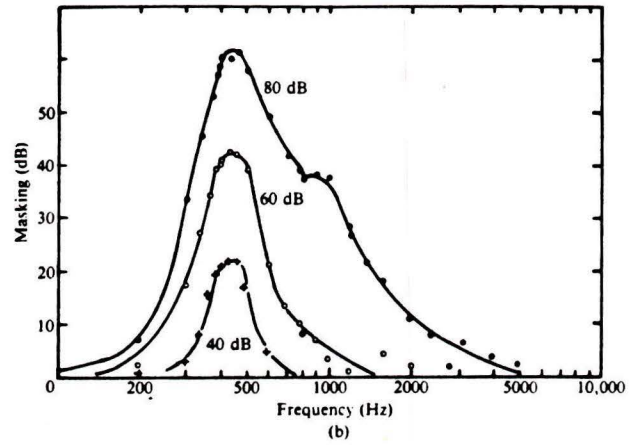
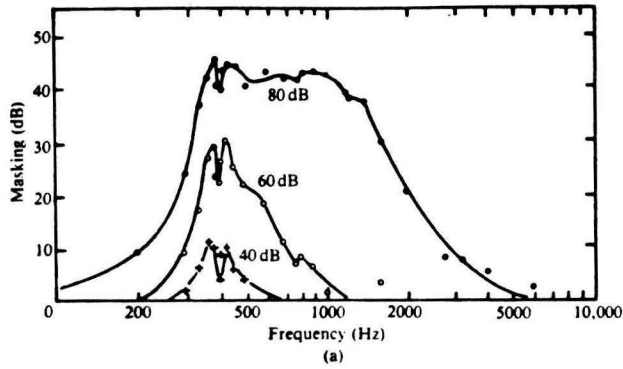
Maskeren is waarschijnlijk het best te verklaren als het omhoog schuiven van de gehoor grens van de zachtere toon door de sterkere toon, en is afhankelijk van de frequenties van de twee tonen.

Pure tonen, complexe geluiden, smalle en brede banden/geluiden, tonen alleen verschillen in de mogelijkheid om andere geluiden te maskeren. Het maskeren van één geluid kan ook veroorzaakt worden door een ander geluid dat een fractie van een seconde later dan de gemaskeerde toon opkomt.

Een aantal interessante konklusies kunnen getrokken worden t.g.v. veel maskerings-experimenten die hebben plaats gevonden.

- 1) Pure tonen, met dichtbij elkaar gelegen frequenties, maskeren elkaar meer dan bij tonen met een groter frequentie-verschil.
- 2) Een pure toon maskeert tonen van hogere frequentie meer efficiënt dan tonen met een lagere frequentie.
- 3) Hoe groter de intensiteit van de maskerende toon, des te breder het gebied van frequenties die deze toon kan maskeren.
- 4) Als twee tonen ver van elkaar gescheiden zijn voor wat de frequentie betreft, dan treedt er weinig of geen maskering op.
- 5) Het maskeren van een smalle band van geluid laat dezelfde karakteristieken zien als bij het maskeren van pure tonen. Tonen met een hogere frequentie worden effectiever gemaskeerd dan tonen met een lagere frequentie dan het maskierend geluid.
- 6) Maskeren van tonen van een breedband-geluid laat bij benadering een lineair verband zien tussen het maskeren en het geluidnivo. Tonen van het geluidnivo met 10 decibel; de gehoordrempel neemt met dezelfde grootte toe. Breedband-geluid maskeert tonen van alle frequenties.
- 7) Voorwaarts maskeren verwijst naar het maskeren van een toon door een geluid dat een fractie van een seconde (20 à 30 miliseconde) stopt voordat de toon begint. Voorwaarts maskeren suggereert dat kort van te voren geprikkelde cellen niet zo gevoelig zijn dan volledig in rust zijnde cellen.
- 8) Terugwaarts maskeren verwijst naar het maskeren van een toon door een geluid dat een paar milisekonden later begint. Een toon kan gemaskeert worden door een geluid dat tot 10 milisekonden later begint, ondanks dat het maskerings-effekt kleiner wordt als het tijd-interval groter wordt. Terugwaarts maskeren vindt plaats op hogere centra van processing waar de later plaats gevonden prikkeling van grotere intensiteit de zwakkere prikkeling overlapt en interfereert.
- 9) Maskeren van een toon in een oor kan veroorzaakt worden door geluid in het andere oor. Onder bepaalde kondities noemen we dit centrale maskering.





a) Maskeren door een enkele toon (400 Hz).

b) Maskeren van een smalle band-geluid (centrum 410 Hz). Bandbreedte 90 Hz.

c) Maskeren breedband-geluid.

Als voorbeeld: in de buurt van een 400 Hz-toon van 60 decibel, een 500 Hz-toon zal een geluidnivo vereisen van 22 decibel boven de normale gehoordrempel om nog net hoorbaar te zijn (plaatje a).

Bij een smalle band-geluid (410 Hz) zoals in plaatje b) is de gehoordrempel van een 500 Hz-toon als 40 decibel naar boven verschoven.

## THEORIE VAN TOONHOOGTE.

De twee hoofd-theorieën van toonhoogte-perceptie zijn gebaseerd op een groot aantal experimenten in verschillende laboratoria. Doorgaans hebben deze theorieën betrekking op de frequentie of op de tijd (periode).

Een periodieke golfvorm is een golfvorm die zich na een bepaald interval (tijd) herhaald. Dit tijdsinterval noemen we  $T$ . Het omgekeerde hiervan is de frequentie, en wel de frequentie die past bij de grondtoon.

Als we te maken krijgen met een complexe golfvorm dan kan deze uiteengezet worden door meerdere frequenties  $2f$ ,  $3f$ , etc. Deze frequenties noemen we de harmonische.

Om toonhoogte te bepalen voert het oor een tijdanalyse en een frequentie-analyse van de geluidsgolf uit, en integreert na een groot aantal berekeningen de geluidsgolf.

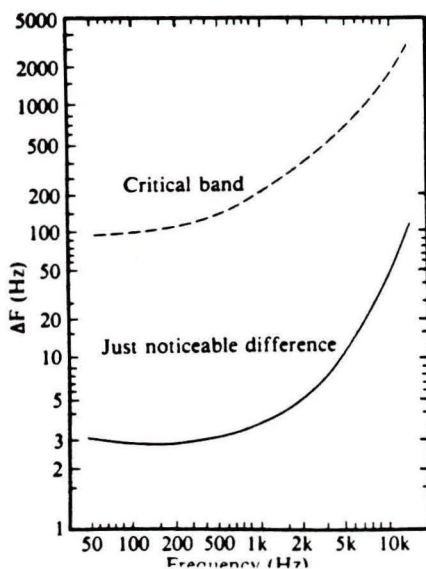
Het idee dat vibraties van verschillende frequenties op bepaalde plaatsen het basilar membraan prikkelen, verwijst vaak naar de plaats-theorie (van het horen). Het slakkehuis zet een vibratie in tijd om in een vibratiepatroon in de ruimte langs het basilar membraan, waarna dit patroon de zenuw aktiveert.

De plaats theorie verklaart veel aspecten van het horen, maar niet alles. Helmholtz beschouwde het basilar membraan als een frequentie-analyzer met dwars geplaatste fibers afgestemd om te resoneren bij bepaalde frequenties bepaald door hun lengte, gewicht en spanning.

Een complexe golf van geluidsdrukken zal bepaalde plaatsen op het basilar membraan prikkelen, die corresponderen met de frequentie van de componenten of gedeelten van de golf. De hoge frequenties zijn waar te nemen in de buurt van het ovale raampje en de lage frequenties op het eind van het membraan waar het dik en los is.

Helmholtz zat hiermee in de goede richting. Later onderzoek liet zien dat de individuele fibers niet vrij zijn om te resoneren, maar het als geheel kan het effect van resoneren creëren. Meer recent onderzoek laat zien dat er ook een grens zit aan de plaats-theorie bij toonhoogte-perceptie. Het verklaren dat men kleine frequentie-verschillen kan onderscheiden is een moeilijkheid. Om te reageren op snelle veranderingen in frequentie, moet de resonator veel demping bezitten. Maar, demping vermindert de selektiviteit ofwel de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen kleine frequentie-verschillen. Een andere moeilijkheid doet zich voor bij het verklaren waarom wij een complexe toon horen als één enkele toonhoogte.

Kijken we naar de tijd (periode)-theorie van toonhoogten, dan voert het oor een tijdanalyse van de golf uit. Vermoedelijk het opdelen van een elektrisch signaal in tijd, gedragen door de gehoorzenuw, wordt gedecodeerd in informatie van de geluidsgolf. Deze informatie is gedecodeerd in een proces wat men autokorrelatie noemt in het centrale zenuwstelsel.



De mogelijkheid om onderscheid te maken tussen opeenvolgende bijna gelijk zijnde stimuli, is vaak gekarakteriseerd (in psychofysische studies) door de Just Noticeable Difference (JND), bepaald door ruis in de kanalen. Twee stimuli zullen gelijk beoordeeld worden als zij minder van elkaar verschillen dan de JND. De JND voor toonhoogte is afhankelijk van de frequentie, het geluidnivo, de duur van de toon en de plotselinge frequentie-verandering. Het is ook afhankelijk van de musikale training van de luisteraar, in zeker zin ook van de meet-methoden.

Als het oor een toon gepresenteerd krijgt, samengesteld uit zuiver harmonische, dan is het makkelijk om te voorspellen welke toonhoogte gehoord zal worden.

Het is simpelweg de grootste gemene deler van deze frequenties, wat neer komt op de grondtoon. Het oor identificeert de toonhoogte van de grondtoon, ook al is deze erg zacht, of zelfs helemaal niet aanwezig. Bijvoorbeeld: als het oor een toon hoort, bestaande uit delen met als frequenties 600, 800, 1.000 en 2.000 Hz. Hiervan zal de toonhoogte altijd geïdentificeerd worden in de buurt van de 200 Hz. En dat is de afwezige grondtoon. Als een sterke grondtoon niet essentieel is voor het waarnemen van de toonhoogte van een musikale toon, dan is de vraag welke harmonische zijn de meest belangrijke.

Experimenten hebben aangetoond dat voor een complexe toon met een grondtoonfrequentie tot + 200 Hz. de toonhoogte in hoofdzaak bepaald wordt door de 4e ( $f_4$ ) en 5e ( $f_5$ ) harmonische.

Als de grondtoon-frequentie stijgt, dan daalt het nummer van de dominante harmonische tot de grondtoon zelf bij  $f_0 + 2.00$  Hz en hoger. Stellen we ons een toon D3 voor met een frequentie  $f_0 = 220$  Hz. Als de 4e en 5e harmonische stijgen in frequentie, de toonhoogte van de toon zou dan lijken te stijgen, ondanks dat de grondtoon 220 Hz. blijft.

Als de deeltonen van een complexe toon niet harmonisch zijn, is het bepalen van de toonhoogte subtieler.

Afgaande op recente theorieën is aangetoond dat het oor series van harmonische delen ergens rond het centrum van de gehoorgrens uitpikt en deze afstelt op de grote gemene deler. Musikale voorbeelden hiervan zijn het geluid van klokken en klokkespelen. In beide gevallen is de toonhoogte van de aanslag bepaald door drie factoren wiens frequentie zich verhouden als 2 : 3 : 4.

Het timbre geeft de toonkwaliteit en toonkleur aan van het geluid. Een vertaling van het American National Standards Institute is: timbre is een kenmerk van de gehoor-sensatie welk een luisteraar waarneemt uit twee gelijke tonen met dezelfde sterkte en toonhoogten als verschillende. Timbre is op de eerste plaats afhankelijk van het spectrum van de stimuli, maar het hangt ook af van de golflengte, de geluidsdruk, de frequentie, ligging in het spectrum en de tijdelijke karakteristiek van de stimuli.

Deze definitie laat denken dat waarnemen van timbre plaats moet vinden bij gelijke geluidsterkte en toonhoogte. Timbre kan omschreven worden als multi dimensionaal geheel van geluid. Het is onmogelijk om een enkele subjectieve schaal van timbre te konstrueren van een type dat bijvoorbeeld gebruikt wordt bij toonhoogte en geluidsterkte.

Bij de discussie over timbre en de speciaal bij het lezen van de experimenten van timbre, zoals je die in de literatuur vindt, is het belangrijk om timbre van complexe tonen die van tonen met variaties in tijd uit elkaar te houden. Helmholtz demonstreerde dat het geluid van de meeste muziekinstrumenten bestaat uit series van harmonische die het timbre bepalen.

Verder heeft hij nauwkeurig de manier beschreven zoals het oor timbre waarneemt. Op basis van deze experimenten formuleerde hij de volgende regels:

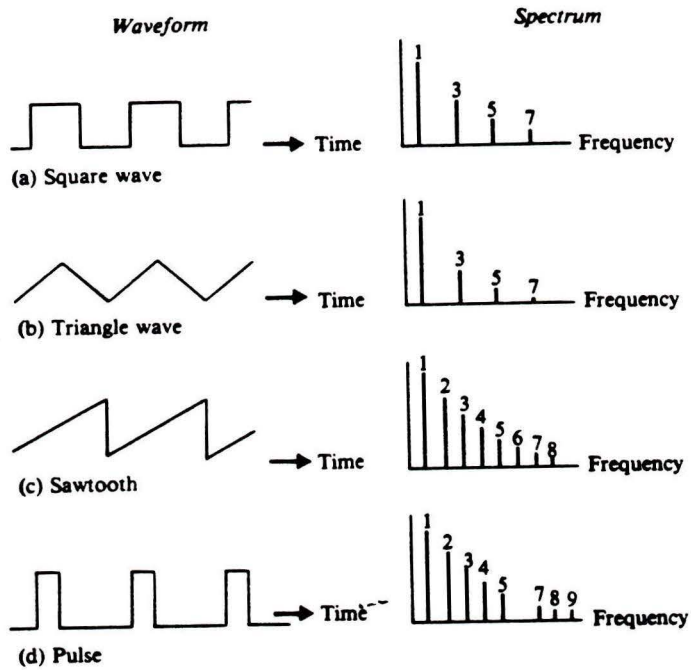
- 1) Simpele tonen zoals die van een stemvork en orgelpijp zijn erg zacht en vrij van ruis, maar dof bij lage frequenties.
- 2) Musikale tonen met gematigd sterke harmonische tot aan de 6e, klinken voller en musikaler dan simpele tonen, maar blijven zoet en zacht als de hogere harmonische afwezig zijn.



- 3) Tonen die alleen oneven harmonische bevatten, klinken hol als er vele harmonische aanwezig zijn (nasaal). Als de fundamentele ofwel grondtoon domineert is de kwaliteit van de toon rijker. Als de fundamentele toon niet voldoende sterk is, is de kwaliteit van de toon arm.
  - 4) Complexe tonen met sterke tonen boven de 6e en 7e harmonische zijn zeer duidelijk, maar de kwaliteit van de tonen is ruw en verlaagd.
- Helmholtz ging verder met voorzichtig experimenteren om afhankelijkheid te bepalen van timbre en de relatieve fase van de harmonische. Hij gebruikte elektrisch aangedreven stemvorken en Helmholtz-resonatoren en konkludeerde dat timbre niet afhankelijk is van fase-verschillen tussen de harmonische. Na 1950 is aan deze theorie nog iets veranderd, maar daarover later.

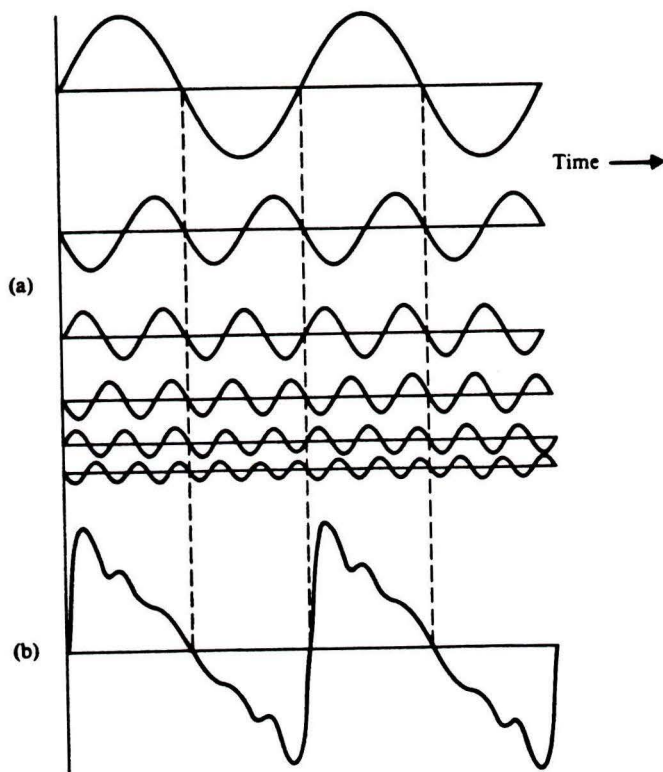
## FOURIER ANALYSES VAN COMPLEXE TONEN.

De bepaling van de harmonische componenten in een golf van de harmonische componenten in een golf, noemen we Fourier-analyse, naar de wiskundige J. Fourier.



Spectra van vier verschillende tonen zien we in bovenstaande figuur. Hoewel ze wrang en onmusikaal klinken, worden deze golven regelmatig gebruikt om geluid te creëren in elektronische muzikale synthesizers.

De volgende figuur illustreert hoe de Fourier-synthese werkt.



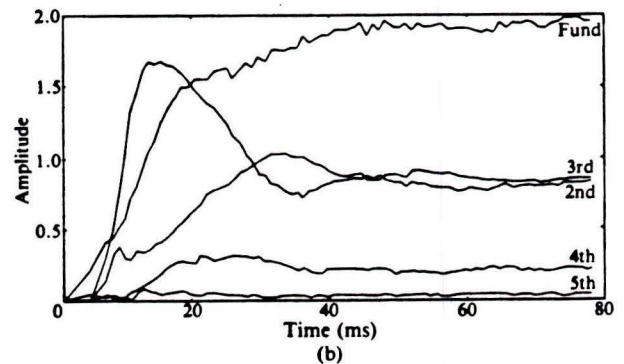
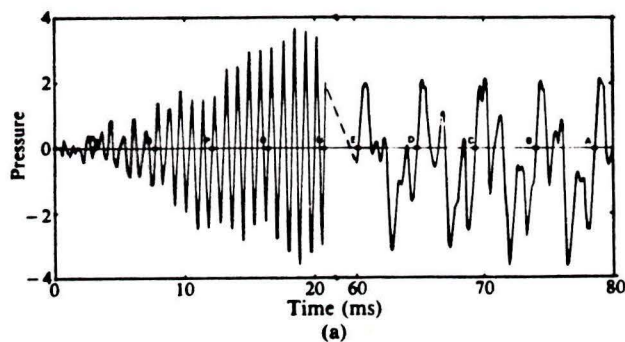
## TIMBRE EN DYNAMISCHE EFFEKTEN.

Strong en Clark hebben enkele interessante experimenten laten zien waarbij zij spectra uitgewisseld hebben en tonen van blaasinstrumenten. Zij hebben veel tonen vervormd (gesynthetiseerd) waarbij ze iedere keer de omgeven karakteristiek van een instrument met het spectrum van een andere hebben gebruikt. Zij vonden dat in de gevallen van een trompet, tuba, klarinet, obu en een bas-soon het spectrum belangrijker is dan de omhullende "golf"-vorm.

Het principe schijnt te zijn dat het spectrum de belangrijkste plaats inneemt als zijn maximum ligt binnen het dynamisch bereik.

Er zijn veel pogingen gedaan om multi dimensionale scaling toe te passen bij musikaal timbre. Bij multi dimensionale scaling verzmelt de onderzoeker perceptieve data bestaande uit subjektieve gelijkenissen tussen alle paren in een serie van stimuli. Hier wordt een serie van dimensionalen uitgeselekted die het best passen bij de data.

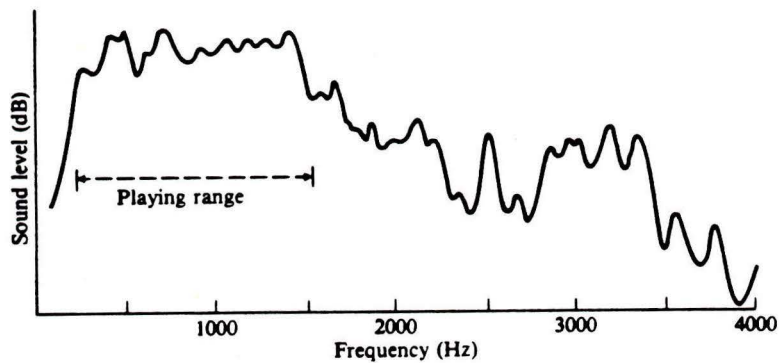
Een van deze dimensies (vormen) is vaak het spectrum van het geluid. De andere dimensie kan wijzen op de aanwezigheid van hoge frequentie-energieën tijdens de aanslag of de mate waarin de hoge harmonische synchroniseren.



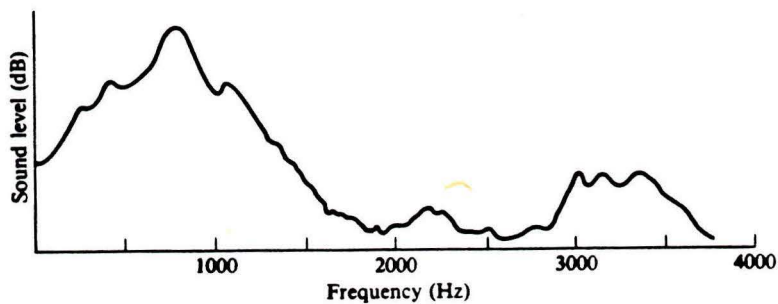
De eerste 6 harmonische van een zaagtand-golf zijn individueel en opgeteld getekend. Er zijn twee typen moderne spectrum-analyzers; digitaal en analoog.

Digitale spectrum-analyzers beginnen met het samplen van een periode van een golf op regelmatige intervallen en sturen deze samples naar een digitaal computer. De computer brekent de amplitude en de fase van iedere harmonische. Analoge spectrum analyzers gebruiken filters of andere elektronische circuits om iedere harmonische te isoleren. Dit gebeurt erg snel (in enkele milisekonden). De analyzer wordt een real time spectrum analyzer genoemd, welke goed te gebruiken is bij het bestuderen van veranderlijke geluiden. Wij hebben gebruik gemaakt van een digitale.

Interessante informatie over timbre kun je krijgen door het gemiddelde te nemen van spectra (zie onderstaand plaatje en bijlage).



(a)



(b)

## EEN MENGSEL VAN COMPLEXE TONEN.

Het meest opmerkelijke van ons gehoorsysteem is de mogelijkheid om complexe tonen uit elkaar te houden, zoals bijv. geluiden van verschillende instrumenten van een symphonie-orkest. het oor interpreteert tonen die bij de verschillende instrumenten behoren. Hiernaar moet nog veel onderzoek gedaan worden. Erickson (1975) geeft drie manieren aan waarop een complex geluid te horen is:

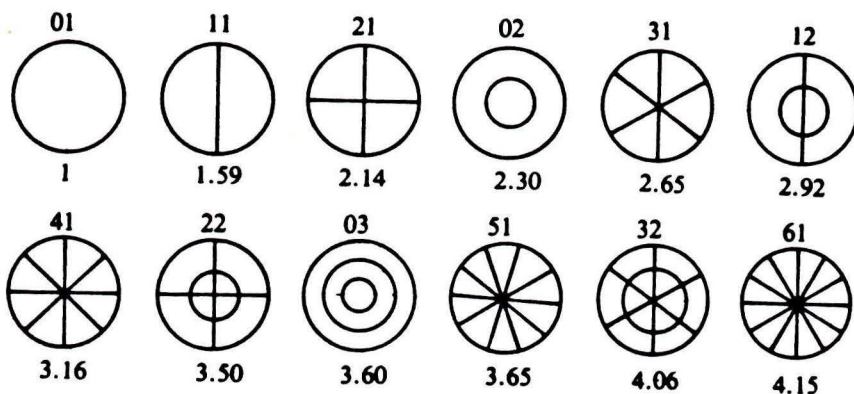
- 1) als een toonhoogte (met timbre).
- 2) als een akkoord.
- 3) of als een geluid in zijn geheel.

het is bekend dat de deeltonen in een pianotoon verder uit elkaar liggen dan die van een harmonische serie. Als je de deeltonen nog verder uit elkaar trekt, wordt het geluid als dat van een bel.

## VIBRATIES VAN MEMBRANEN.

Een ideaal mebraan mag veronderstelt worden als een twee-dimensionale snaar. De uiteindelijke kracht die nodig is bij vibratie van het membraan wordt bepaald door de rand van het membraan op spanning te brengen. Het belangrijkste verschil tussen een membraan en een snaar is dat de bovenfrequentie van een snaar harmonische zijn van de grondtoon, die van een mebraan niet. Een ander verschil is dat op een snaar verschillende noten op gelijke afstand van elkaar liggen terwijl bij een membraan knooplijnen de verschillende noten aangeven. Deze knooplijnen liggen in cirkels en diameters van cirkels (zie figuur).

De getalsetjes boven de cirkels geven a) het aantal diameters aan en b) het aantal cirkels aan. Bijvoorbeeld: 01 : 0 diameters : 1 cirkel. Het getalsetje eronder geeft de frequentie aan t.o.v. de grondtoon.



## KETTLEDRUMS.

Drums bestaan uit een membraan van dierlijke huid of synthetisch materiaal dat lucht omvattend geheel getrokken is.

Sommige drums laten een bepaalde toonhoogte horen, andere bevatten bijna helemaal geen bepaalde toonhoogte. Trommels zijn in bijna alle musikale culturen belangrijk en zijn vaak de meest universele muziekinstrumenten. De pauken zijn de meest belangrijke trommels in een orkest. De laatste eeuw zijn er verschillende mechanismen ontworpen om de spanning te veranderen, om de drum snel te stemmen.

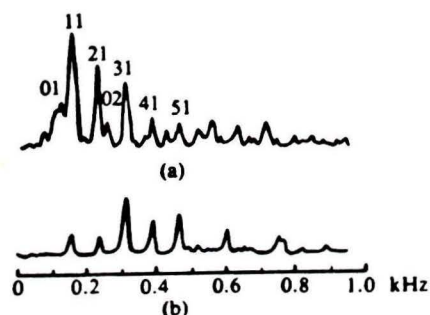
De modernste pauken hebben een pedaal als spanningsmechanisme. Hoewel de verschillende vibraties of een ideaal membraan niet helemaal harmonisch zijn, laat een goed gestemde kettle-drum een sterke toon en twee of meer harmonische overtonen horen. De boventonen van pauken hebben een verhouding.

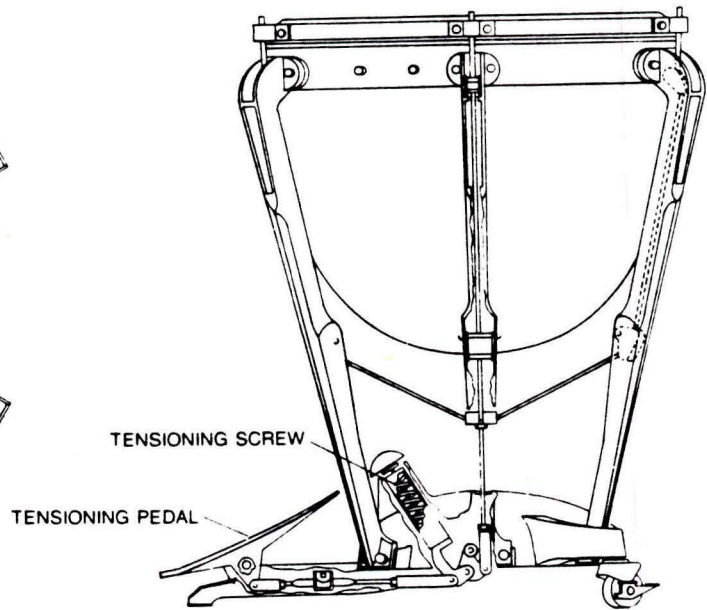
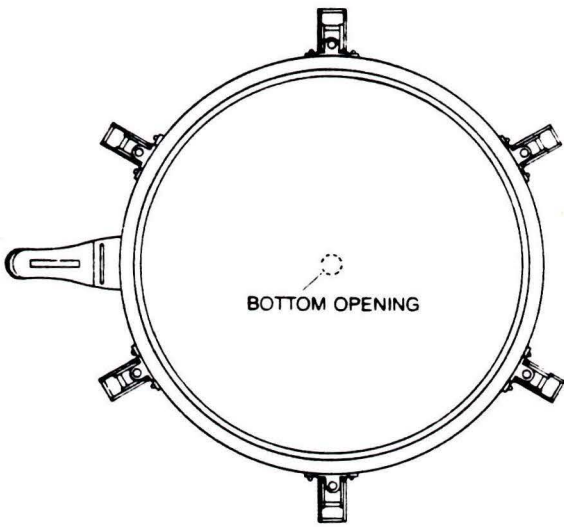
De harmonische delen bij een ideaal membraan zijn te verklaren in een harmonische relatie. Hier dragen drie effecten bij:

- 1) de membraan vibreert in de lucht eronder zodat de frequentie langzaam afneemt.
- 2) de lucht in de ketel resoneert vanzelf en interacteert met de resonantie van het membraan.
- 3) de stijfheid van het membraan verhoogt de frequentie van de hogere tonen.



Recente studies laten zien dat het eerste effect in belangrijke wijze verantwoordelijk is voor het voorkomen van de harmonische relaties bij kettledrums. De beide andere hebben alleen invloed op de frequenties van het geluid.

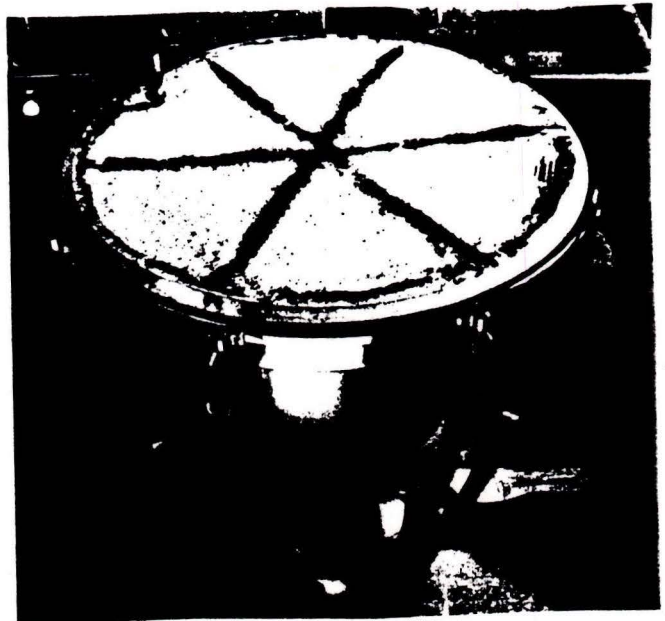
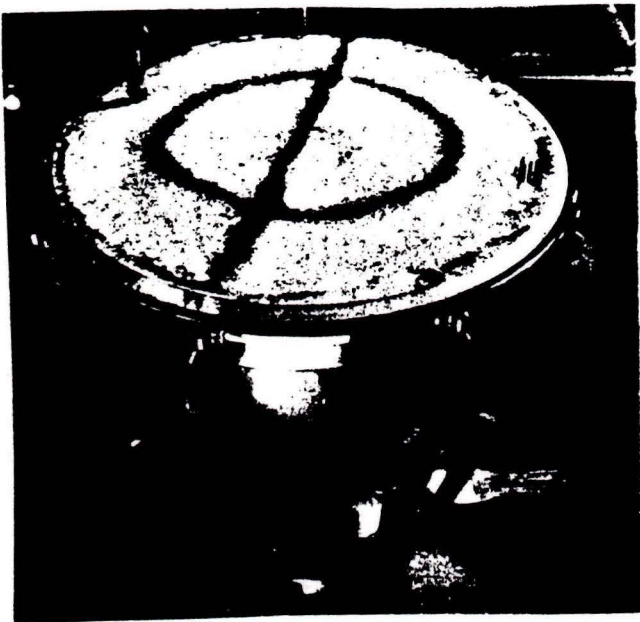




**KETTLEDRUM** is shown schematically in plan and elevation. Visible in the plan view are the six screws around the circumference of the kettle that make it possible to tune the drum over a range of about one octave. The broken circle indicates the opening at the bottom of

the kettle (which is not present in all kettle drums). The partial cut-away view shows the pedal-controlled tensioning mechanism that enables the timpanist to alter the drum's tuning in the course of the performance. This instrument is made by Ludwig Industries of Chicago.

**KETTLEDRUM HEAD, sprinkled with powder**



THE TABLA.

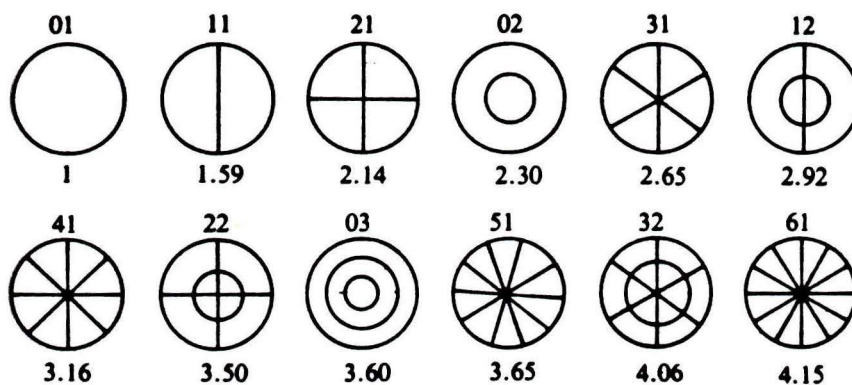


Een trommel die akoestisch gezien heel interessant is, is de tabla uit India, een single-headed trommel met een gesloten resonatiekamer. De tabla is te stemmen door middel van de blokjes die onder de strengen doorlopen (zie tekening).

C.V. Raman ontdekte dat de eerste vier boventonen van de tabla harmbnisch zijn t.o.v. de grondtoon door de eigenschap van de pasta van ironoxide, charcoal starch en gum in het midden op het vel. Later merkte hij dat deze 5 harmonische het resultaat waren van de negen vibratie-toestanden waarvan vele dezelfde frequentie hebben.

De (11) toonschaal is de tweede harmonische. De (02) en (21) vibreren beide op de derde harmonische, de (12) en (31) op de vierde harmonische en de (03), (22) en (41) vibreren op de vijfde harmonische.

Een andere trommel die gebruikt is, is de mridanga met vijf verschillende aanslagen; de deem, thom, nam, chapu en araichapu.





## ALGEMENE KONKLUSIE.

Bij het verwerken van de matches van de proefpersonen bleek dat er duidelijk mensen aan te wijzen waren die erg inconsequent instelden. Derhalve zijn wij voor enkele trommels, te weten KDRUM 1-2-3, NAMM 1 en 2 en NAMFM1 en 2, opnieuw grafieken gaan maken van de matches, uitgaande van de 26 consequent instellende proefpersonen. Wij zagen toen dat wat we verwacht hadden, namelijk dat een groter percentage op de pieken uit het frequentie-spectra vallen.

Het bleek vaak moeilijk om uit het frequentie-spectra konklusies te trekken met betrekking tot de grondtoon, de 1e boventoon etc., omdat er vaak meerdere pieken aan te wijzen zijn in die buurt. Bovendien waren er soms geen verhoudingen aan te geven tussen de sterke pieken (geen g.g.d. te vinden).

Achteraf bleek dat vaak een groot percentage van de matches op een oktaaf-fout van de 1e boventoon viel (de helft van de frequentie van de 1e boventoon) terwijl daar in de buurt ook vaak de grondtoon lag.

K-DRUM		FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN	26 PROEFPERSONEN
1	GRONDTOON	ONTBREEKT	72 Hz.: 12,0%	72 Hz.: 6,0%
	1e BT	146 Hz.	146 Hz.: 33,0%	149 Hz.: 40,0%
	2e BT	224 Hz.	-	-
	3e BT	279 Hz.	295 Hz.: 8,0%	-
2	GRONDTOON	ONTBREEKT	150 Hz.: 13,0%	150 Hz.: 17,6%
	1e BT	292 Hz.	295 Hz.: 26,9%	295 Hz.: 36,8%
	2e BT	444 Hz.	-	-
3	GRONDTOON	ONTBREEKT	300 Hz.: 18,5%	300 Hz.: 20,8%
	1e BT	585 Hz.	?	?
	2e BT	1445 Hz.	?	?
	3e BT	2548 Hz.	?	?
			150 Hz.: 10,6%	150 Hz.: 12,0%



22

### K-DRUM 1-2-3.

In het frequentie-spectra van K-DRUM 1 zien we dat de grondtoon ontbreekt. De 1e bt is de sterkste spektraal-komponent omdat de grondtoon beneden de 100 Hz. ligt zijn er maar weinig proefpersonen die hierop afstemmen (12% van de matches van 42 proefpersonen; 6% van de matches van 26 proefpersonen). Het merendeel van de proefpersonen stemt af op de 1e bt (één oktaaf hoger), namelijk 33% van de matches van de 42 proefpersonen; 40% van de matches van 26 proefpersonen), waarschijnlijk omdat deze iets hogere toon beter te vergelijken is met de sinustoon. 8% van de 42 proefpersonen stemt af op de 3e bt.

K-DRUM 2 is een twee maal versnelde versie van K-DRUM 1. De grondtoon ligt dan ook op + twee maal 72 Hz., namelijk 150 Hz. (13% van de matches van de 42 proefpersonen stemt hierop af en 17,6% van de matches van 26 proefpersonen).

Omdat deze toon hoger ligt zien we duidelijk dat ook meer proefpersonen op de grondtoon afstemmen. Toch stemt hier ook het grootste gedeelte af op de 1e bt (namelijk 26,9% van de matches van de 42 proefpersonen en 36,8% van de matches van 26 proefpersonen), maar al minder dan bij K-DRUM 1.

K-DRUM 3 is een vier maal versnelde versie van K-DRUM 1 en zoals verwacht ligt de grondtoon dan ook op + 4 x 72 Hz. = 300 Hz.

Omdat de sinustoon niet hoger af te stemmen was dan + 400 Hz. is deze meting niet erg nauwkeurig.

Het percentage dat hier op de grondtoon afstemt is weer groter dan bij K-DRUM 2 (namelijk 18,5% van de matches van 42 proefpersonen en 20,8% van de matches van 26 proefpersonen), verder stemt + 25% af op de hoogst mogelijk in te stellen toon -die van 400 Hz.- maar hier kunnen we dus geen andere konklusie aan verbinden dan dat de toon hoger had moeten zijn.

		FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN
ARCHM-1	GRONDTOON	117 Hz.	117 Hz.: 14,2%
	1e BT	256 Hz.	256 Hz.: 19,8%
	2e BT	349 / 359 Hz.	350 Hz.: 17,7%
ARCFM-1	GRONDTOON	231 Hz. 278 Hz.	{ 250 Hz.: 16,0%
	1e BT	510 Hz.	510 Hz.: 26,6%
	2e BT	769 Hz.	-
ARCHM-2	GRONDTOON	156 Hz.	156 Hz.: 18,3%
	1e BT	292 / 346 Hz.	292 Hz.: 32,9%
	2e BT	446 Hz.	446 Hz.: 4,8%
	3e BT	593 Hz.	593 Hz.: 8,5%
ARCFM-2	GRONDTOON	317 Hz.	317 Hz.: 34,0%
	1e BT	590 Hz.	-
	2e BT	896 Hz.	-

24

#### ARCHM-1.

Volgens het frequentie-spectra van de ARCHM-1 ligt de grondtoon op 117 Hz., de 1e bt op 256 Hz. en de 2e bt op 349 Hz.

Een groot percentage van de matches ligt op 128 Hz., namelijk 18%, waarschijnlijk een oktaaf-fout van de 1e bt (256 Hz.).

Op de grondtoon liggen 14,2% van de matches, op 256 Hz. 19,8% en op 349 Hz. 17,7% .

De 2e bt heeft op een gebied van 50 Hz. dezelfde geluidsterkte dus was het voor de proefpersonen moeilijk vast te stellen waar precies de sterkste component lag.

#### ARCFM-1.

Uitgaande van de sterkste spektraal-komponenten vinden we de grondtoon op 231 Hz., de 1e bt op 510 Hz. en de 2e bt op 769 Hz.

Omdat vlak naast de grondtoon nog een sterke piek ligt, namelijk op 278 Hz., valt 19% van de matches precies tussen de grondtoon en de 278 Hz. in (op de helft van 1e bt!).

Op de 1e bt ligt wel 26,6% van de matches.

#### ARCHM-2.

De grondtoon ligt op 156 Hz. (met 18,3% van de matches) en de 1e bt op 292 Hz. (met 32,9% van de matches).

In het frequentie-spectra zitten erg veel pieken, toch ligt 50% van de matches op de pieken die ook in het spectra voorkomen.

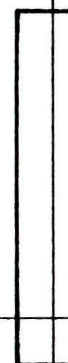
Omdat er in totaal maar 82 matches zijn geweest, is er verder weinig van te zeggen.

#### ARCFM-1.

Omdat er in totaal maar 74 matches zijn geweest en 34% valt op 317 Hz, (de grondtoon) kunnen we verder over de matches weinig zeggen. Er komt maar één piek voor.

		FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN
CHAPM-1	GRONDTOON 1e BT 2e BT	141 Hz. 258 Hz. 395 Hz.	141 Hz.: 20,5% 158 Hz.: 19,7% 395 Hz.: 9,0%
CHPFM-1	GRONDTOON 1e BT 2e BT	231 Hz. 510 Hz. 771 Hz.	260 Hz.: 18,0% 510 Hz.: 12,6% -
26 CHAPM-2	? GRONDTOON ? 1e BT 2e BT	117 Hz. 150 Hz. 219 Hz. 295 Hz. 449 Hz.	117 Hz.: 5,0% 150 Hz.: 14,5% 219 Hz.: 9,5% 295 Hz.: 11,0% 449 Hz.: 5,0%
CHPFM-2	? GRONDTOON 1e BT 2e BT	234 Hz. 300 Hz. 441 Hz. 588 Hz.	234 Hz.: 7,0% 300 Hz.: 10,0% 441 Hz.: 10,1% 588 Hz.: 18,1%

x2



#### CHAPM-1.

In het frequentie-spectra zien we duidelijk drie pieken, namelijk de grondtoon op 141 Hz (20,5%), de 1e bt op 258 Hz. (19,7% van de matches) en op 395 Hz. de 2e bt (9% van de matches).

#### CHPFM-1.

Volgens het frequentie-spectra liggen de grondtoon en de 1e bt respectievelijk op 231 en 510 Hz. 18% van de matches ligt echter op 255 Hz., precies de helft van 1e bt. Op 510 Hz. ligt 12,6% van de matches.

#### CHAPM-2.

Omdat in dit spectra heel veel sterke componenten voorkomen, blijkt het voor de proefpersonen moeilijk te zijn geweest om op de grondtoon af te stemmen.

De grondtoon 151 Hz. (hieorp ligt 14,5% van de stemmen) heeft vlak bij zich nog twee sterke componenten 117 (5%) en op 219 Hz. (9,5%). Op de 1e bt 295 Hz. (11% en op de 2e bt 449 Hz. (5%).

#### CHPFM-2.

Omdat bij de CHAPM-2 de grondtoon op 151 Hz. ligt, verwachten we hier de grondtoon op het dubbele 302 Hz. Echter voor deze frequentie liggen nog twee sterke componenten; op 173 Hz. (4%) en op 234 Hz. (7,0%). Op de 300 Hz. (de vermoedelijke grondtoon) liggen 11% van de matches. Verdere sterke pieken liggen in het frequentie-spectra op 441 Hz. (10%) en op 588 (de sterkste) 18,1% van de matches.

Ook tussen deze frequenties in vonden we een groot gedeelte van de matches, waarschijnlijk omdat bij de CHPFM-2 geen enkel harmonisch verband te vinden is.

			FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN
DEEMM-1	GRONDTOON	x2	137 Hz.	137 Hz.: 44,9%
	1e BT		254 / <u>276</u> Hz.	254/276 Hz.: 19,9%
	2e BT		388 / <u>415</u> Hz.	-
DEMFM-1	GRONDTOON		278 Hz.	278 Hz.: 42,7%
	1e BT		510 / <u>556</u> Hz.	-
	2e BT		783 / <u>834</u> Hz.	-
DEEMM-2	GRONDTOON	x2	156 Hz.	156 Hz.: 30,9%
	1e BT		337 Hz.	337 Hz.: 6,3%
	2e BT		446 / 474 Hz.	-
DEMFM-2	?		315 Hz.	315 Hz.: 52,6%

28



### DEEMM-1.

Uit het frequentie-spectra van de DEEMM-1 blijkt dat de grondtoon op 137 Hz. ligt, de 1e bt op 276 Hz. en de 2e bt op 415 Hz. Net voor de 1e en 2e bt liggen op 254 en 388 Hz. nog twee sterke spektraal-komponenten, daarom is het moeilijk om precies op de 1e bt af te stemmen voor de 42 proefpersonen (19% van de matches is afgestemd tussen de 254 en 276 Hz.). Duidelijk blijkt dat de grondtoon hier de sterkste spektraal-komponent is (44,9% van de matches is hierop afgestemd).

### DEMFM-1.

Hier zien we hetzelfde als bij de DEEMM-1, vlakbij de 1e en 2e bt bevindt zich nog een sterke spektraal-komponent. De DEMFM-1 is een twee maal versnelde DEEMM-1. De grondtoon ligt dan ook op 278 Hz. en de 1e bt op 556 Hz. (42,7% is afgestemd op de grondtoon en 8% op het gebied rond de 1 bt). Opmerkelijk is hier dat 24% van de matches lager zijn afgestemd dan de grondtoon, waarvan 8% precies op de helft van de grondtoon, namelijk 140 Hz., terwijl daar helemaal geen spektraal-komponent van terug te vinden is in het frequentie-spectra.

### DEEMM-2.

Uit het frequentie-spectra zou je de konklusie trekken dat op 156 Hz. de grondtoon ligt, op 337 Hz. de 1e bt en op 474 Hz. de 2e bt. Kijken we naar de matches van de proefpersonen, dan zien we dat 30,6% van de matches op de grondtoon liggen en 16% precies op het dubbele, t.w. 312 Hz., daar waar je ook zou verwachten dat de 1e bt ligt. Op 337 Hz. is maar 6% van de matches afgestemd.

### DEMFM-2.

Bij de twee maal versnelde versie van DEEMM-2 blijkt zoals verwacht de grondtoon op 315 Hz. te liggen (zelfs 52,6% van de matches zijn hierop afgestemd). Een heel klein percentage is afgestemd op de helft van de grondtoon. Verder komen er in de matches geen pieken meer voor. Waarschijnlijk omdat de hoogste piek in het spectra 40 decibel hoger ligt dan de grondtoon.

		FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN	26 PROEFPERSONEN
NAMM-1	GRONDTOON	120 Hz.	120 Hz.: 11,9%	120 Hz.: 16,1%
	1e BT	256 Hz.	254 Hz.: 15,6%	254 Hz.: 20,6%
	2e BT	388 Hz.	387 Hz.: 19,4%	392 Hz.: 27,5%
NAMFM-1	GRONDTOON	230 / 277 Hz.	230/277 Hz.: 27,5%	230/277 Hz.: 22,6%
	1e BT	513 Hz.	510 Hz.: 10,1%	510 Hz.: 9,5%
	2e BT	774 Hz.	770 Hz.: 8,0%	770 Hz.: 9,53
NAMM-2	GRONDTOON	156 hz.	150 Hz.: 14,4%	150 Hz.: 19,1%
	1e BT	295 Hz.	295 Hz.: 18,1%	295 Hz.: 21,4%
	2e Bt	446 Hz.	-	-
		598 Hz. (339 Hz. ?)	598 Hz.: 7,0%	-
NAMFM-2	?	231 Hz.	-	-
		590 Hz.	590 Hz.: 16,0%	590 Hz.: 24,3%
		676 Hz.	-	-
		893 Hz.	-	-

#### NAMM-1.

Bij deze aanslag van de trommel zien we duidelijk de harmonische verdeling in de pieken.

De geluidssterkte van de grondtoon, 1e en 2e bt, verschillen niet zoveel. De grondtoon ligt op 131 Hz. (hiervan ligt bij de 42 proefpersonen 11,9% van de matches en bij de 26 proefpersonen 16,1%). Op de 1e bt (256 Hz.) 15,6% van de matches van de 42 proefpersonen en 20,6% van de 26 proefpersonen.

Op de 2e bt (388 Hz.) ligt bij 42 proefpersonen 19,5% van de matches en bij 26 proefpersonen 27,5%. Zelfs de 3e bt (515 Hz.) heeft respectievelijk percentages van 8% en 9%.

#### NAMM-2.

Omdat er op 40 Hz. verschil van de grondtoon een even sterke piek zit, zien we dat proefpersonen er tussen in gaan afstemmen, namelijk op 252 Hz. (27,5%) terwijl de grondtoon op 234 Hz. ligt en de toon er naast op 278.

De eerste bt op 513 Hz. (10,1%) en 774 Hz. (8%). De g.g.d. zou 255 Hz. zijn en hierop stemmen de proefpersonen dan ook af terwijl daar geen piek ligt.

#### NAMM-2.

In dit spectra zitten erg veel sterke componenten, ervan uitgaande dat op 156 Hz. de grondtoon ligt en op 446 Hz. de 2e bt, kiezen we de 1e bt op 295 Hz., terwijl er een even sterke component op 339 Hz. ligt. De 3e bt ligt op 598 Hz.

#### NAMFM-2.

In dit spectra liggen veel pieken, de sterkste vier op: 231 Hz., 590 Hz., 676 Hz. en 893 Hz. gezien de grondtoon van de NAMM-2 zou deze grondtoon op  $156 \times 2 = 312$  Hz. moeten liggen. In het spectra vinden we een kleine piek op 317 Hz., maar geen enkele match is daarop afgesteld.

16% van de 79 matches (erg weinig matches) is afgestemd op 590 Hz.

		FREQUENTIESPECTRA	42 PROEFPERSONEN
TUMM-1	GRONDTOON	139 Hz.	139 Hz.: 25%
	1e BT	256 Hz.	256 Hz.: 30%
	2e BT	386 Hz.	386 Hz.: 5%
TUMFM-1	GRONDTOON	234 - 278 Hz.	278 Hz.: 8%
	1e BT	512 Hz.	512 Hz.: 13%
	2e BT	773 Hz.	-
32 TUMM-2	GRONDTOON	156 Hz.	156 Hz.: 20%
	1e BT	295 Hz.	(218 Hz.: 15%)
	2e BT	446 Hz.	295 Hz.: 21,1%
	3e BT	600 Hz.	600 Hz.: 5%
TUMFM-2	GRONDTOON	231 Hz.	231 Hz.: 8,1%
	1e BT	588 Hz.	(300 Hz.: 19%
	2e BT	896 Hz.	588 Hz.: 13,1%

BT = boventoon

### TUMM-1.

Bij de TUMM-1 zien we een vrijwel harmonisch verloop in de pieken waarvan de grondtoon en 1e bt (256 Hz.) en 2e bt (386 Hz.) op dezelfde geluidssterkte liggen.

Bij de matches zien we dan ook nagenoeg dezelfde percentages (25% op de grondtoon en 30% op de 1e bt).

### TUMFM-1.

Als we ervan uitgaan dat de grondtoon op  $2 \times 139 = 278$  Hz. ligt en de 1e en 2e bt op respectievelijk 512 en 773 Hz. (niet harmonische) omdat dat de sterkste pieken zijn, dan zien we ook nog pieken op 234 en 468 Hz.

Omdat van deze trommel maar 95 matches gegeven zijn aan de 42 proefpersonen samen, kunnen we aan deze matches geen konklusies verbinden, er komen namelijk geen pieken voor.

### TUMM-2.

Hier zien we een vrijwel harmonisch verloop van de pieken waarvan de grondtoon ligt op 156 Hz. en de 1e bt op 295 Hz. (20% is afgestemd op de grondtoon en 21% op de 1e bt).

Tussen deze tonen bevinden zich op 219 Hz. en op 339 Hz. nog twee pieken waarbij vooral op 219 Hz. door veel proefpersonen wordt afgestemd, namelijk 15% van de matches.

### TUMFM-2.

Deze heeft de grondtoon op 231 Hz. (8,1% van de matches ligt hierop) en de 1e bt op 588 Hz. (hierop liggen 13,1% van de matches).

Dat er een vrij sterke spektraal-komponent in het frequentie-spectra voorkomt, nl. op 302 Hz. blijkt ook uit de matches, 19% hiervan ligt op deze frequentie (dat ongeveer de helft is van de 1e bt!).

De toonhoogten-verschillen tussen de 350 en 450 Hz. zijn zo klein dat ook duidelijk blijkt dat proefpersonen geen piek vast kunnen stellen, maar een heel gebied. 22% van de matches liggen dan ook in dit gebied.

## EINDEVALUATIE.

Deze eindevaluatie is onder andere geschreven aan de hand van de evaluatievragen uit de handleiding voor bedrijfsstage van de afdeling WiNa.

Bij het onderzoek naar toonhoogte-waarnemingen van kortdurig samengestelde geluiden, waar de heren Rossing en Houtsma twee jaar geleden mee gestart zijn, heb ik kunnen proeven hoe het is om verantwoordelijk te zijn voor een gedeelte van het onderzoek.

De manier van werken en overleg is heel anders dan wij dagelijks op het N.L.O. meemaken, waardoor het in het begin best wennen was. Je bent afhankelijk van vele mensen en materialen en vaak is het hollen of stilstaan.

Omdat de tijd voor deze stage zo kort was, zijn we verder gegaan waar het onderzoek gestaakt was, zodat de eerste weken naast het ontvangen van proefpersonen er veel gelezen moest worden over het onderzoek en de te gebruiken apparatuur.

Opvallend was dat de mensen die in dezelfde ruimte werken, erg geïnteresseerd zijn in je werk en je resultaten, en vaak was het zo dat als je andere mensen uitleg gaf en er met hen over praatte, je zelf ook weer iets meer begreep van wat je nu eigenlijk aan het doen was. Dit werkte bij mij erg motiverend.

Doordat iedere vrijdagmorgen colloquia gegeven worden door medewerkers, weten anderen waar je mee bezig bent en dit versterkt de omgang tussen de mensen hier.

Ook in de pauzes proef je iets van de prettige omgang; iedereen schuift daar waar plaats is aan, terwijl wij op het I.P.O. altijd met dezelfde groep bij elkaar zitten.

De gegevens die uit het onderzoek kwamen, waren zeer redelijk te verklaren na het doorlezen van de literatuur hierover en de gesprekken met de begeleider.

Eigenlijk zijn we weinig moeilijkheden tegen gekomen en hebben we ons redelijk aan de tijdsplanning gehouden.

Naast het vertellen van ervaringen denk ik niets uit deze stage te kunnen gebruiken als leerstof of begeleidingsmateriaal, vooral omdat het nivo voor ons al erg hoog ligt en dit onderwerp in de natuurkunde weinig aan bod komt.

Terugkijkend op de stage kan ik zeggen dat ik er erg veel van geleerd heb en dat het zeker de moeite waard is geweest.

Mary Somers

## EINDEVALUATIE.

Van een door de heren Rossing en Houtsma opgesteld experiment heb ik een gedeelte mogen uitvoeren en verwerken. Hierbij heb ik de verantwoordelijkheid gekregen en gedragen over het op de juiste manier uitvoeren van het experiment. Tevens heb ik verantwoording na te komen t.o.v. de proefpersonen.

De werkzaamheden dienden goed gepland te worden omdat meerdere mensen van hetzelfde computer-systeem en dezelfde ruimte gebruik moesten maken. Ondanks de drukke bezetting van genoemde apparatuur heb ik zeer prettig samengewerkt met de betreffende medewerkers. In het algemeen was de werksfeer goed. Men toonde belangstelling en interesse in andermans werk en men was altijd bereid elkaar te helpen.

Om te weten waar eenieder mee bezig is, worden er op het I.P.O. colloquia. In deze colloquia houdt men een voordracht waar hij/zij mee bezig is en wat het inhoudt. Na zo'n voordracht is er ruimte om vragen te stellen. Ook komen er regelmatig gastsprekers uit het buitenland over een bepaald onderzoek wat uiteen zetten.

Natuurlijk was het in het begin wennen. Ik kwam in aanraking met een voor mij nieuwe computer-taal en elektronische apparatuur. Het viel niet mee om in een paar dagen de werking en gebruiksmogelijkheden van deze apparatuur onder de knie te krijgen. Gelukkig had ik hierbij de steun van de heer Houtsma en een tweetal I.P.O.-medewerkers.

Om te weten wat je in werkelijkheid aan het doen bent, heb ik de nodige literatuur doorgeworsteld. Het was niet makkelijk om deze literatuur 1.2.3 te begrijpen. Daarom ben ik herhaaldelijk te raden gegaan bij de heer Houtsma, die vervolgens een goede en begrijpelijke uitleg gaf.

In deze stage heb ik gezien en van dichtbij meegemaakt hoe een experiment opgezet en uitgevoerd wordt (zie verslag). Er komt nogal wat bij kijken. Op dit nivo ontkomen de wetenschappelijke onderzoekers er niet aan om internationale wegen te bewandelen en internationale contacten te onderhouden.

Wat ik als het moeilijkst heb ervaren, is het gedeelte dat na het testen van de proefpersonen komt, namelijk: konklusies verbinden aan de data van het experiment.

In zijn geheel genomen heb ik deze stage als boeiend en zeer leerzaam ervaren, mede doordat ik de wis- en natuurkunde in de praktijk heb kunnen toepassen. De gedane activiteiten en de opgedane leerstof zijn op de middelbare scholen zoals LTS en MAVO helaas niet toe te passen, daar het nivo veel te hoog is. Maar ik heb dit niet als een nadeel in mijn stage ervaren.

Tevreden kan ik terug kijken op een leuke en zinvolle stage.

Ben Coenen

BIJLAGE.

Programma Drum K	blz. 1
Programma Drums	2
Programma M:Proc	3
Frequentie-spectra	4 - 27
Grafieken matches (42 proefpersonen)	28 - 39
Grafieken matches (26 proefpersonen)	39 - 40
Gebruikte apparatuur	41
Instelling Data 6000	42



PRT /S.DRUMK

DATE 03 /07 /86 TIME 09H-03M-00S-

LABEL = HOUTSMA U1 DATE = 05 05 85 40M PACK NBR = 0000 N.C

```
0000 IDENT DRUMK
0001 DIMENSION ISECT(200),IW(5000),IRFF(100),ATF(100)
0002 DEFINE FILE 11 (25,200,U,ISTAT)
0003 DEFINE FILE 12 (25,200,U,ISTAT)
0004 DEFINE FILE 13 (25,200,U,ISTAT)
0005 WRITE(2,(''$NAME OUTPUT FILE (MAX.6 CHAR.) '''))
0006 READ(1,('1A6'))AAM
0007 CALL ASGDK(10,ISTAT)
0008 IDR=3
0009 IDX=0
0010 WRITE(2,(''$NUMBER OF TRIALS '''))
0011 NUM=ININT(1,1,INUM)
0012 WRITE(2,(''$NUMBER BETWEEN 1 AND 100 '''))
0013 NUM=ININT(1,1,N)
0014 DO 1 I=1,N
0015 X=RANDOM(X)
0016 1 CONTINUE
0017 2 CALL ADC(INF)
0018 IF (INF.NE.1) GO TO 2
0019 4 L=11+INT(RANDOM(X)*IDR)
0020 K=0
0021 DO 10 I=1,25
0022 READ(L,I)ISECT
0023 DO 5 J=1,200
0024 IW(K+J)=I6*ISECT(J)
0025 5 CONTINUE
0026 K=K+200
0027 10 CONTINUE
0028 CALL DAC2(0,IW(1),IW,5000,ISTAT)
0029 CALL ADC(INF)
0030 IF (INF.EQ.1) GO TO 50
0031 AINF=INF*0.1
0032 IAT=0
0033 IF (AINF.LT.500.) IAT=(500-INT(AINF))/20
0034 CALL SWI(0,1)
0035 CALL ATT(IAT,1)
0036 CALL OSC(2,1,AINF,0.31,0)
0037 CALL WAITL(500)
0038 CALL SWI(1,1)
0039 CALL WAITL(100)
0040 CALL SWI(0,1)
0041 CALL WAITL(1000)
0042 GO TO 10
0043 50 WRITE(2,('16.'''',F7.1)) L,AINF
0044 CALL WAITL(2000)
0045 IRFF(IDX+1)=L
0046 ATF(IDX+1)=AINF
0047 IDX=IDX+1
0048 IF (IDX.NE.INUM) GO TO 4
0049 WRITE(10,('14.'')) INUM
0050 DO 60 I=1,IDX
0051 WRITE(10,('15.F7.1'))IRFF(I),ATF(I)
0052 60 CONTINUE
0053 END FILE 10
0054 CALL KPF(10,AAM,ISTAT)
0055 STOP OK
0056 END
:EOF
```

PRT /5.DRUMS  
DATE U4 /06 /86 TIME 08H-30M-00S-

LABEL = HOUTSMA UJ DATE = 05 09 85 40M PACK NBR = COL NLC

```
0000 IDENT DRUMS
0001 DIMENSION ISECT(200),IW(5000),IRFF(100),ATF(100)
0002 DEFINE FILE 11 (25,200,U,ISTAT)
0003 DEFINE FILE 12 (25,200,U,ISTAT)
0004 DEFINE FILE 13 (25,200,U,ISTAT)
0005 DEFINE FILE 14 (25,200,U,ISTAT)
0006 DEFINE FILE 15 (25,200,U,ISTAT)
0007 DEFINE FILE 16 (25,200,U,ISTAT)
0008 DEFINE FILE 17 (25,200,U,ISTAT)
0009 DEFINE FILE 18 (25,200,U,ISTAT)
0010 WRITE(2,(''$WHICH DRUM FILE VERSION ?'''))
0011 NUM=ININT(1,1,10)
0012 WRITE(2,(''$NAME OUTPUT FILE (MAX.6 CHAR.)'''))
0013 READ(1,('LA6'))AAM
0014 CALL AS6DK(10,ISTAT)
0015 IDR=8
0016 IDX=0
0017 WRITE(2,(''$NUMBER OF TRIALS ?'''))
0018 NUM=ININT(1,1,INUM)
0019 WRITE(2,(''$ NUMBER BETWEEN 1 AND 100'''))
0020 NUM=ININT(1,1,N)
0021 DO 1 I=1,N
0022 X=RANDOM(X)
0023 1 CONTINUE
0024 2 CALL ADC(INF)
0025 IF (INF.NE.1) GO TO 2
0026 4 L=11+INT(RANDOM(X)*IDR)
0027 K=0
0028 DO 10 I=1,25
0029 READ(L,I)ISECT
0030 DO 5 J=1,200
0031 IW(K+J)=16*ISECT(J)
0032 5 CONTINUE
0033 K=K+200
0034 10 CONTINUE
0035 CALL DAC2(0,IW(1),IW,5000,ISTAT)
0036 CALL ADC(INF)
0037 IF (INF.EQ.1) GO TO 50
0038 AINF=INF*0.25
0039 CALL SWI(0,1)
0040 IAT=0
0041 IF (AINF.LT.500) IAT=(500-INT(AINF))/20
0042 CALL ATT(IAT,1)
0043 CALL OSC(2,1,AINF,0,1,0)
0044 CALL WAITL(500)
0045 CALL SWI(1,1)
0046 CALL WAITL(100)
0047 CALL SWI(0,1)
0048 CALL WAITL(1000)
0049 GO TO 10
0050 50 WRITE(2,('I6, '' ''',F7.1)) L,AINF
0051 CALL WAITL(2000)
0052 IRFF(IDX+1)=L
0053 ATF(IDX+1)=AINF
```

```
0054 IDX=IDX+1
0055 IF (IDX.NE.INUM) GO TO 4
0056 WRITE(10,('214')) ID,INUM
0057 DO 60 I=1,IDX
0058 WRITE(10,('I5,F7.1'))IRFF(I),ATF(I)
0059 60 CONTINUE
0060 END FILE 10
0061 CALL KPF(10,AAM,ISTAT)
0062 STOP OK
0063 END
:EOF
```

PRT M:PROC  
DATE 04 /06 /86 TIME 08H-30M-00S-

LABEL = HOUTSMA U1 DATE = 05 09 85 40M PACK NBR = 0000 NLG

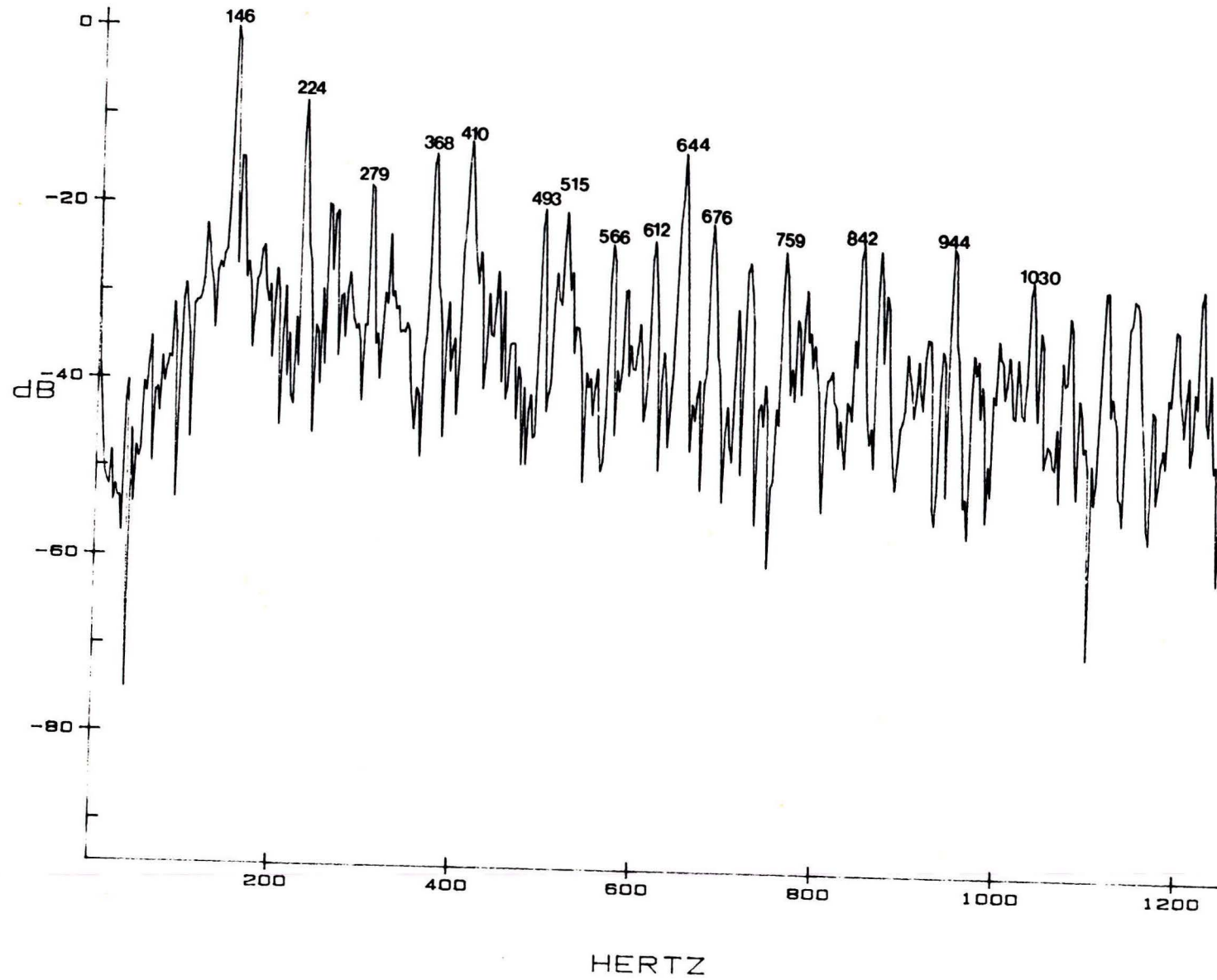
0000 \*KLOK  
0001 ASG 11.DK.KLOK2  
0002 RUN RDPLAY  
0003 ASG 11.DK.KLOK3  
0004 RUN RDPLAY  
0005 END \*KLOK  
0006 \*DRUMS1  
0007 ASG 18.DK.NAMM2  
0008 ASG 17.DK.DEMFM2  
0009 ASG 16.DK.ARCHM1  
0010 ASG 15.DK.CHAPM1  
0011 ASG 14.DK.DEEMM1  
0012 ASG 13.DK.KDRUM3  
0013 ASG 12.DK.NAMM1  
0014 ASG 11.DK.KDRUM1  
0015 RUN DRUMS  
0016 END \*DRUMS1  
0017 \*DRUMS2  
0018 ASG 11.DK.KDRUM2  
0019 ASG 12.DK.DEMFM1  
0020 ASG 13.DK.TUMM1  
0021 ASG 14.DK.NAMFM2  
0022 ASG 15.DK.TUMFM1  
0023 ASG 15.DK.CHAPM2  
0024 ASG 16.DK.ARCFM2  
0025 ASG 17.DK.DEEMM2  
0026 ASG 18.DK.TUMM2  
0027 RUN DRUMS  
0028 END \*DRUMS2  
0029 \*DRUMS3  
0030 ASG 11.DK.TUMFM2  
0031 ASG 12.DK.CHPFM1  
0032 ASG 13.DK.CHPFM2  
0033 ASG 14.DK.ARCFM1  
0034 ASG 15.DK.ARCHM2  
0035 ASG 16.DK.NAMFM1  
0036 ASG 17.DK.KDRUM1  
0037 ASG 18.DK.KDRUM2  
0038 RUN DRUMS  
0039 END \*DRUMS3  
0040 \*DRUMK  
0041 ASG 11.DK.KDRUM1  
0042 ASG 12.DK.KDRUM2  
0043 ASG 13.DK.KDRUM3  
0044 RUN DRUMK  
0045 END \*DRUMK  
0046 \*DRUMS5  
0047 ASG 11.DK.DEEMM1  
0048 ASG 12.DK.DEEMM2  
0049 ASG 13.DK.DEMFM1  
0050 ASG 14.DK.DEMFM2  
0051 ASG 15.DK.TUMM1  
0052 ASG 16.DK.TUMM2  
0053 ASG 17.DK.TUMFM1  
0054 ASG 18.DK.TUMFM2

0055 RUN DRUMS  
0056 END \*DRUMS5  
0057 \*DRUMS4  
0058 ASG 11.DK.NAMM1  
0059 ASG 12.DK.NAMM2  
0060 ASG 13.DK.NAMFM1  
0061 ASG 14.DK.NAMFM2  
0062 ASG 15.DK.CHAPM1  
0063 ASG 16.DK.CHAPM2  
0064 ASG 17.DK.CHPFM1  
0065 ASG 18.DK.CHPFM2  
0066 RUN DRUMS  
0067 END \*DRUMS4  
0068 \*DRUMS6  
0069 ASG 11.DK.ARCHM1  
0070 ASG 12.DK.ARCHM2  
0071 ASG 13.DK.ARCFM1  
0072 ASG 14.DK.ARCFM2  
0073 ASG 15.DK.DEEMM1  
0074 ASG 16.DK.DEEMM2  
0075 ASG 17.DK.DEMFM1  
0076 ASG 18.DK.DEMFM2  
0077 RUN DRUMS  
0078 END \*DRUMS6  
0079 \*TEST  
0080 ASG 11.DK.NAMM1  
0081 ASG 12.DK.NAMM1  
0082 ASG 13.DK.NAMM1  
0083 RUN DRUMK  
0084 END \*TEST  
:EOF

3

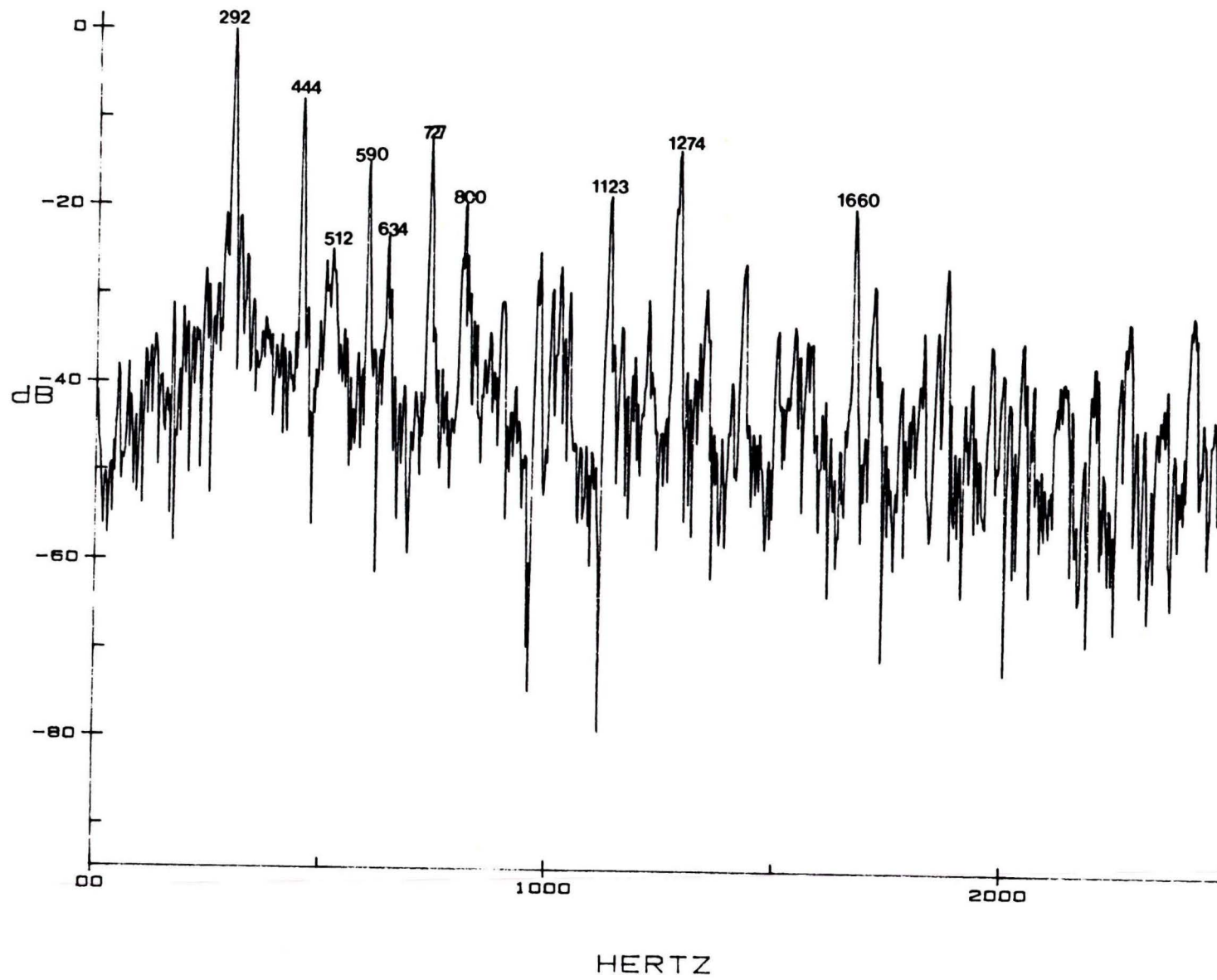
RLOGA 1

KDRUM 1



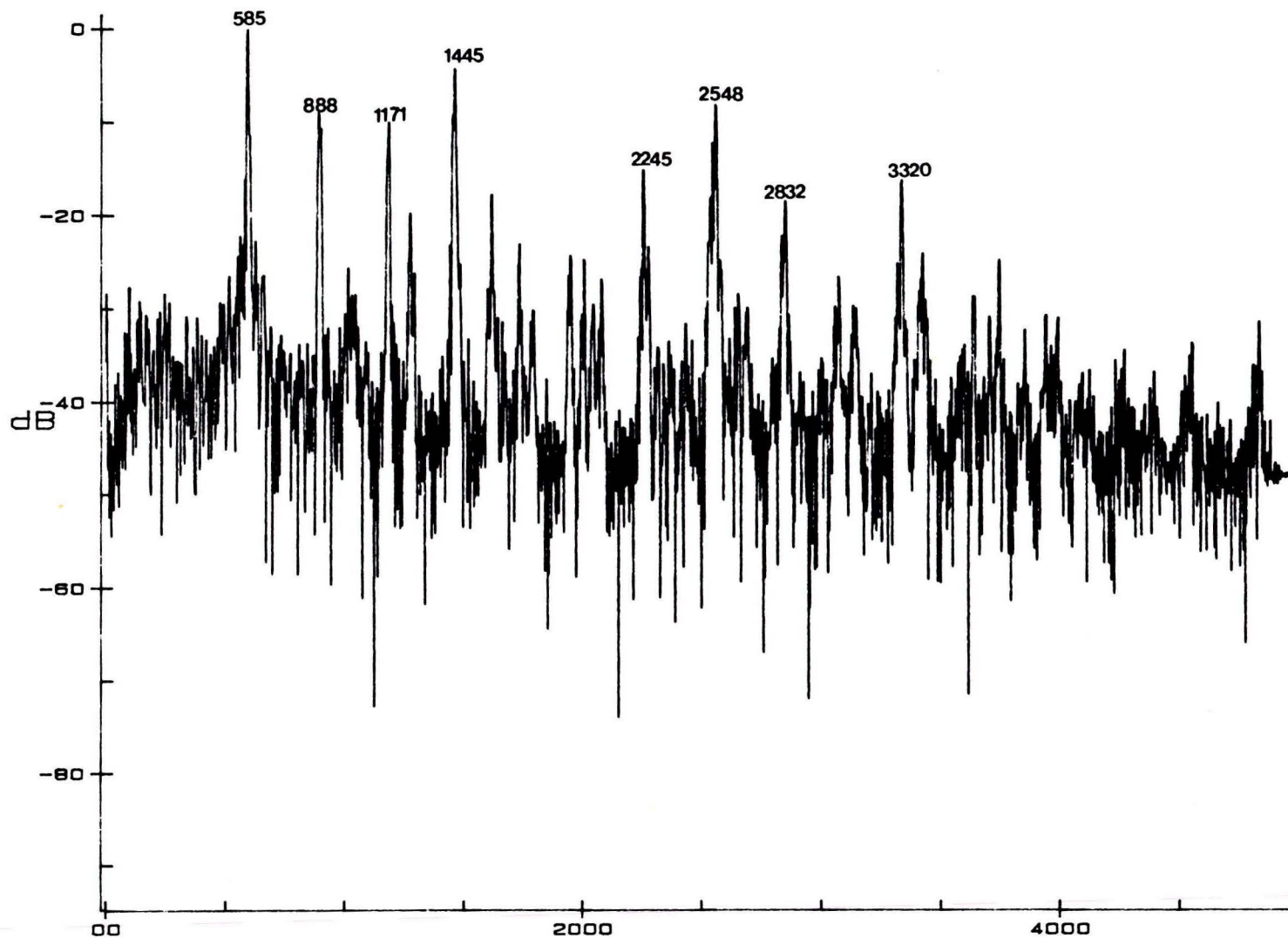
RLOGA 1

KDRUM2



RLOGA 1

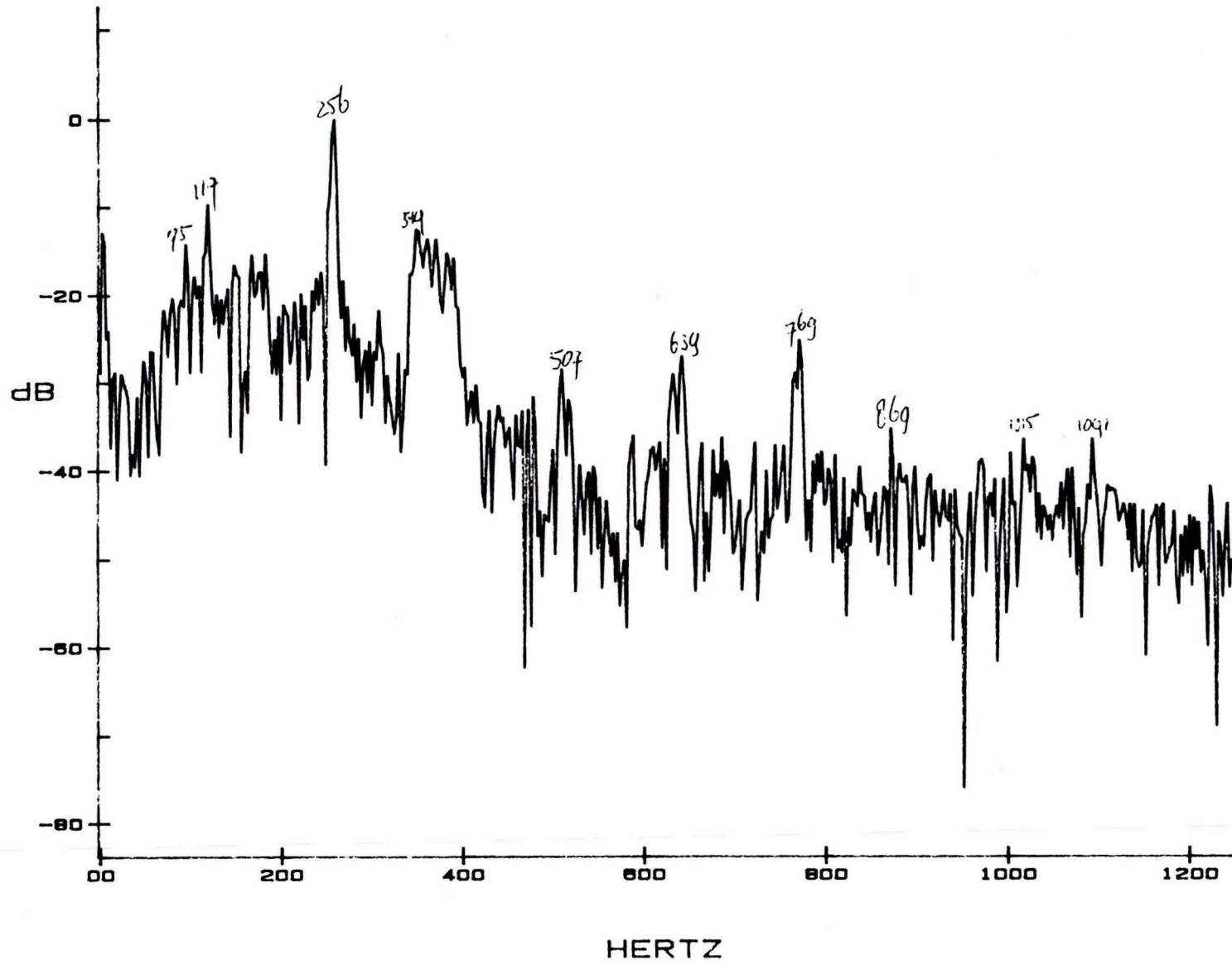
KDRUM3



HERTZ

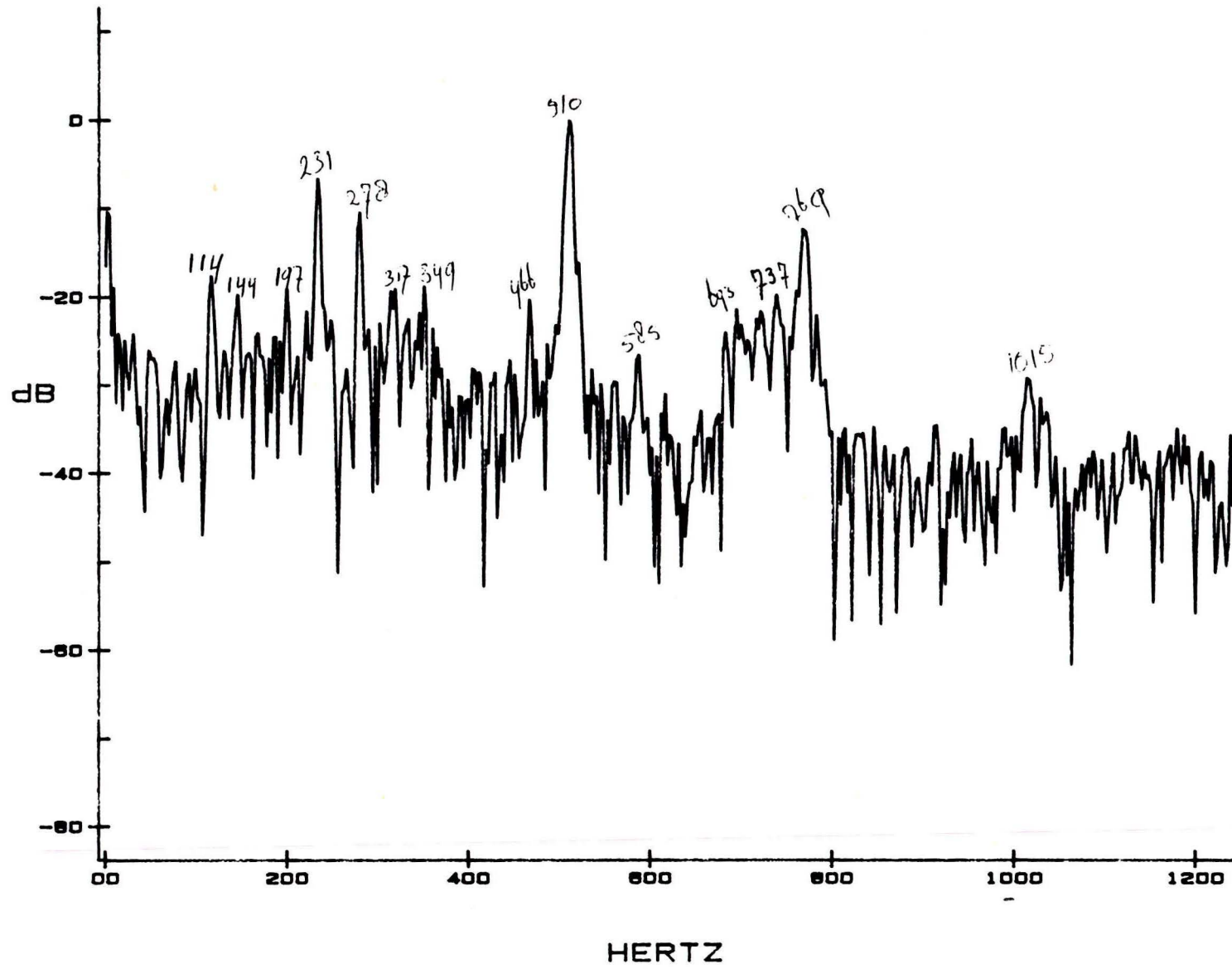
RLOGA1

ARCHM1



RLOGA1

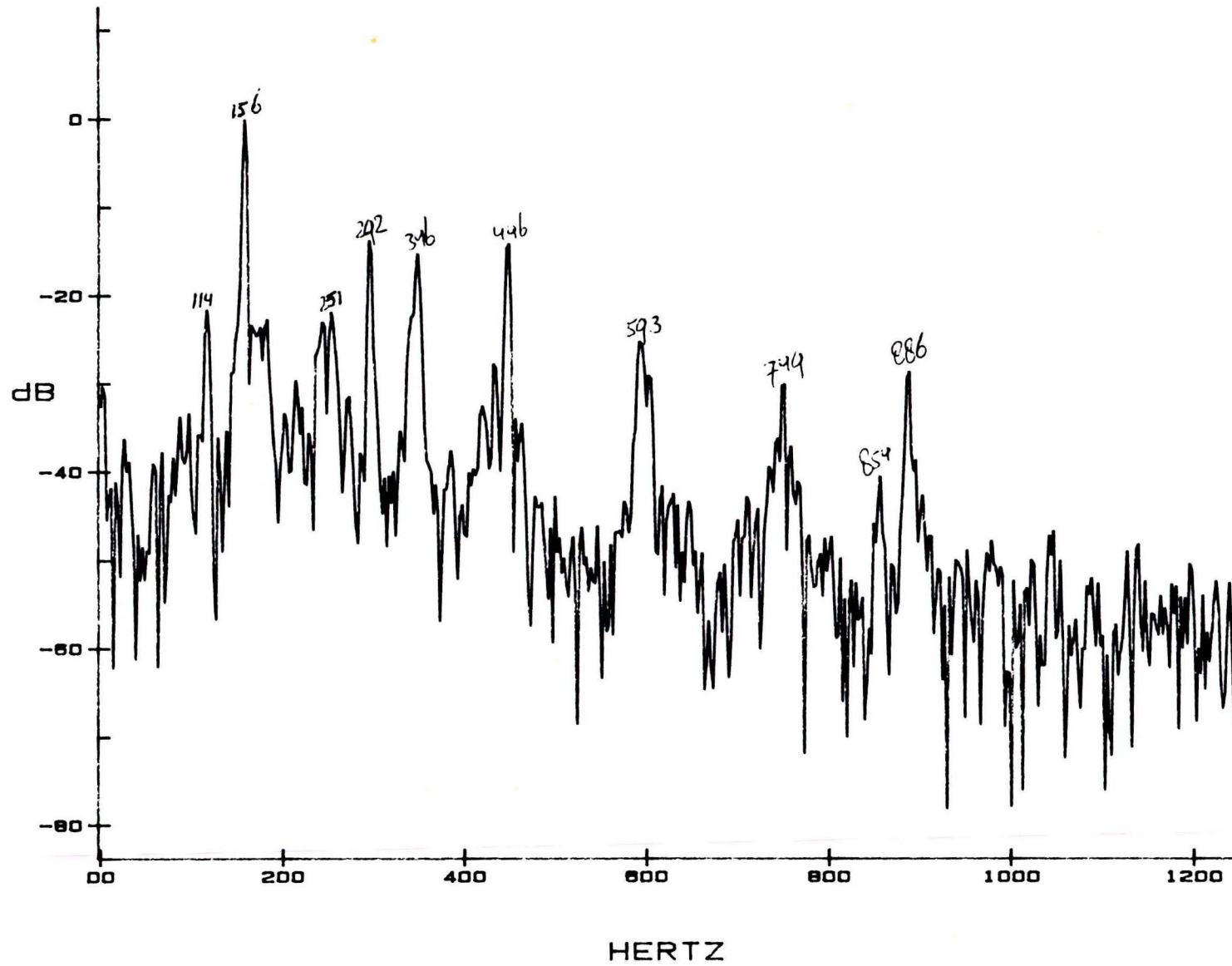
ARCFM1





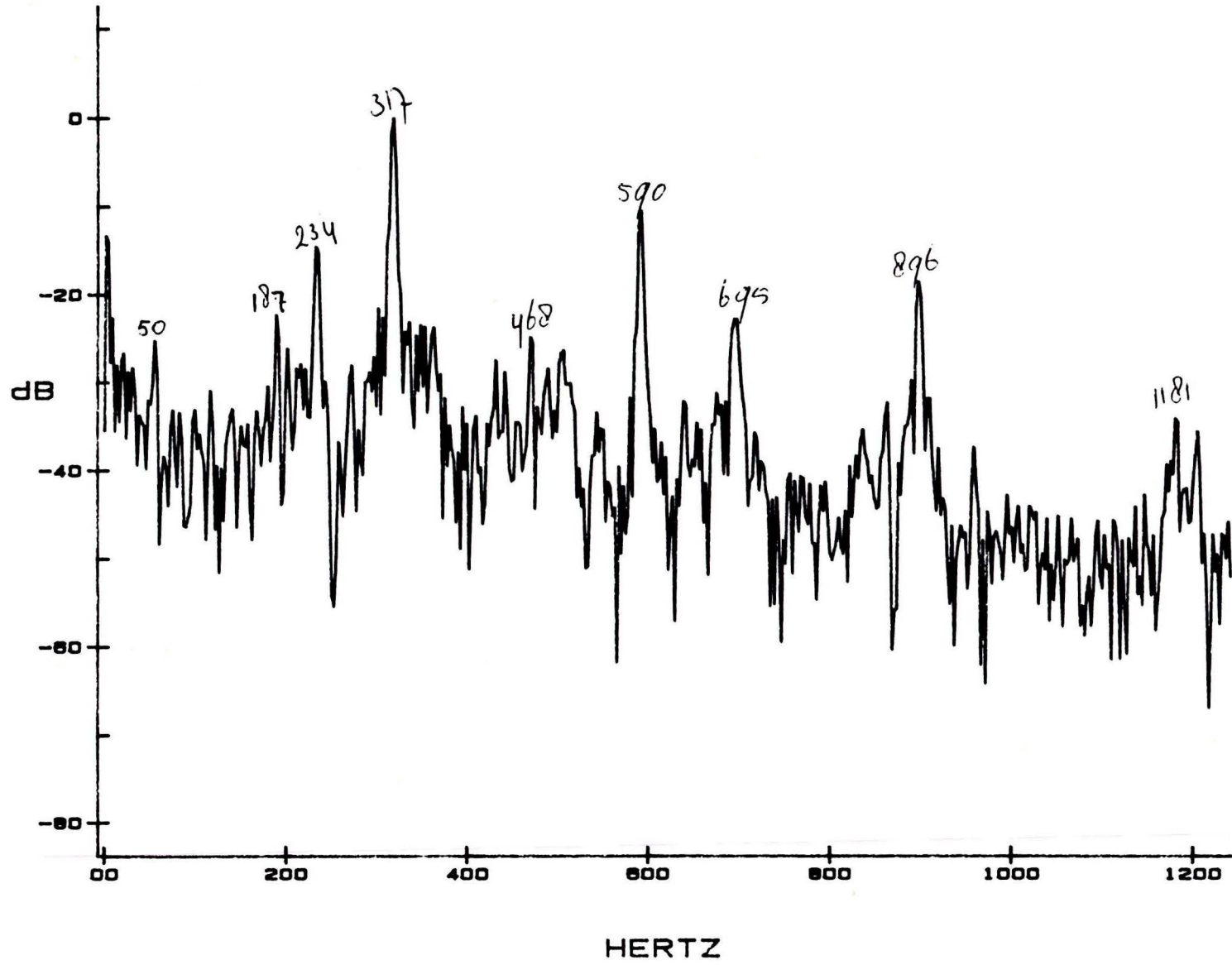
RLOGA 1

ARCHM2



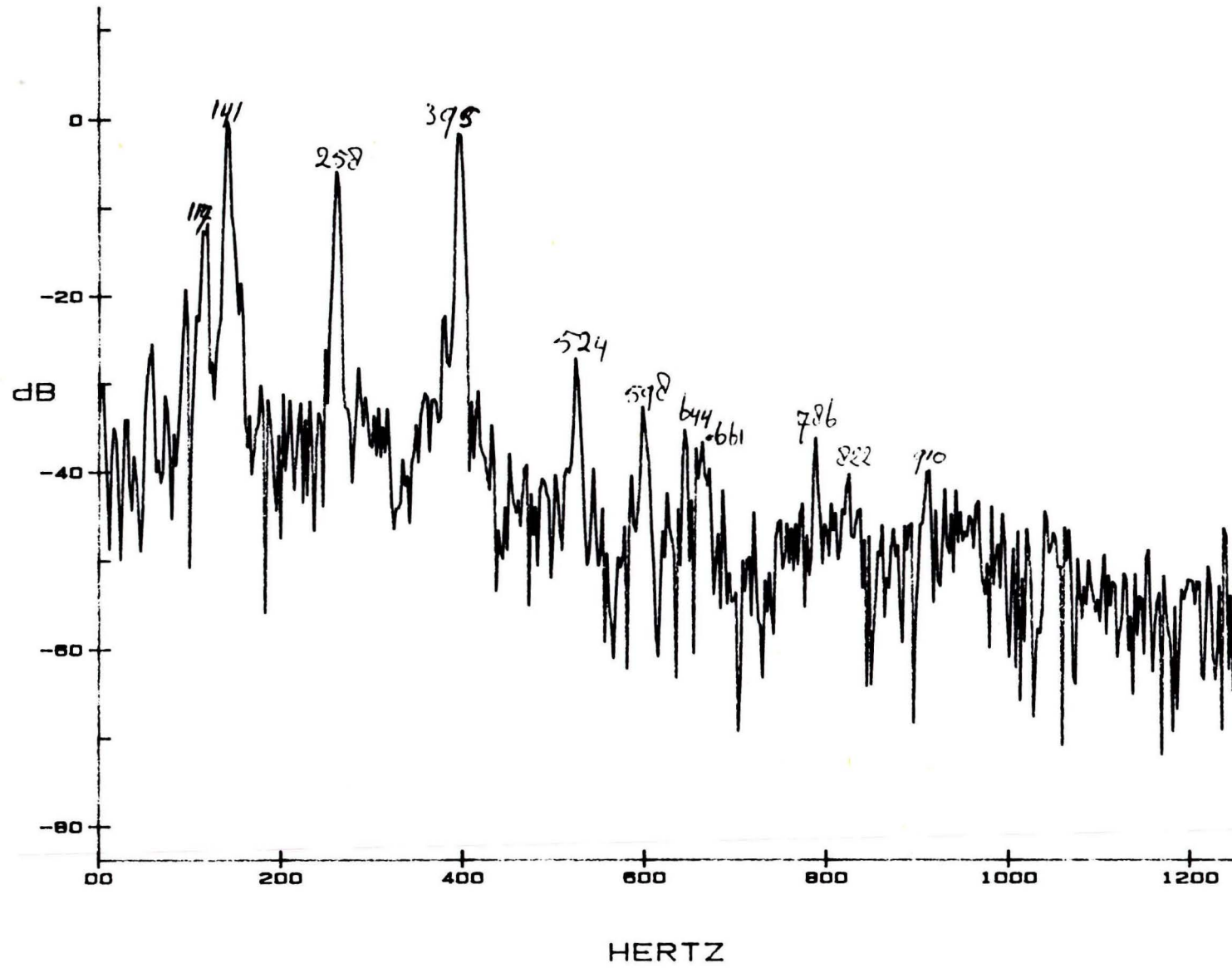
RLOGA1

ARCFM2



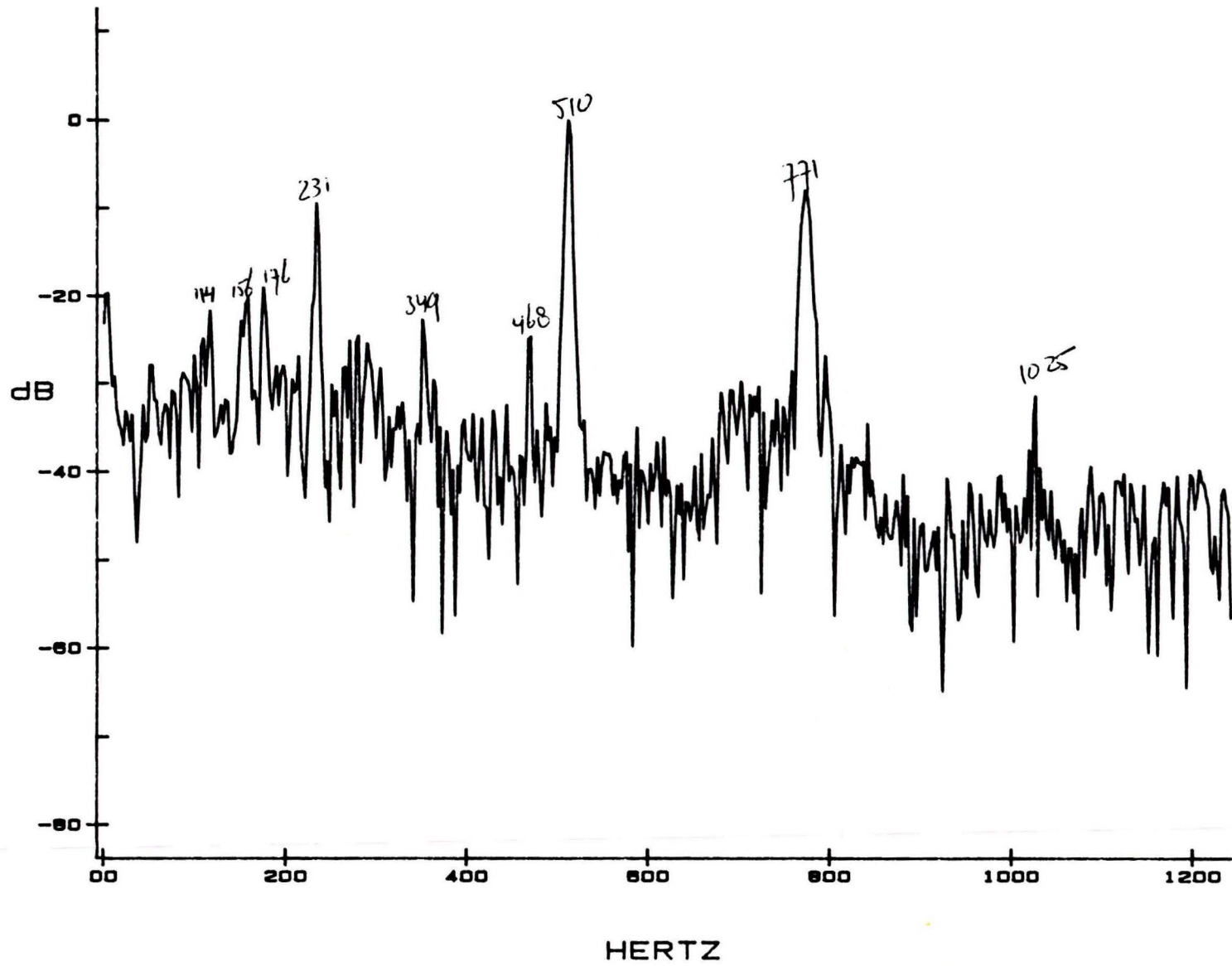
RLOGA1

CHAPM1



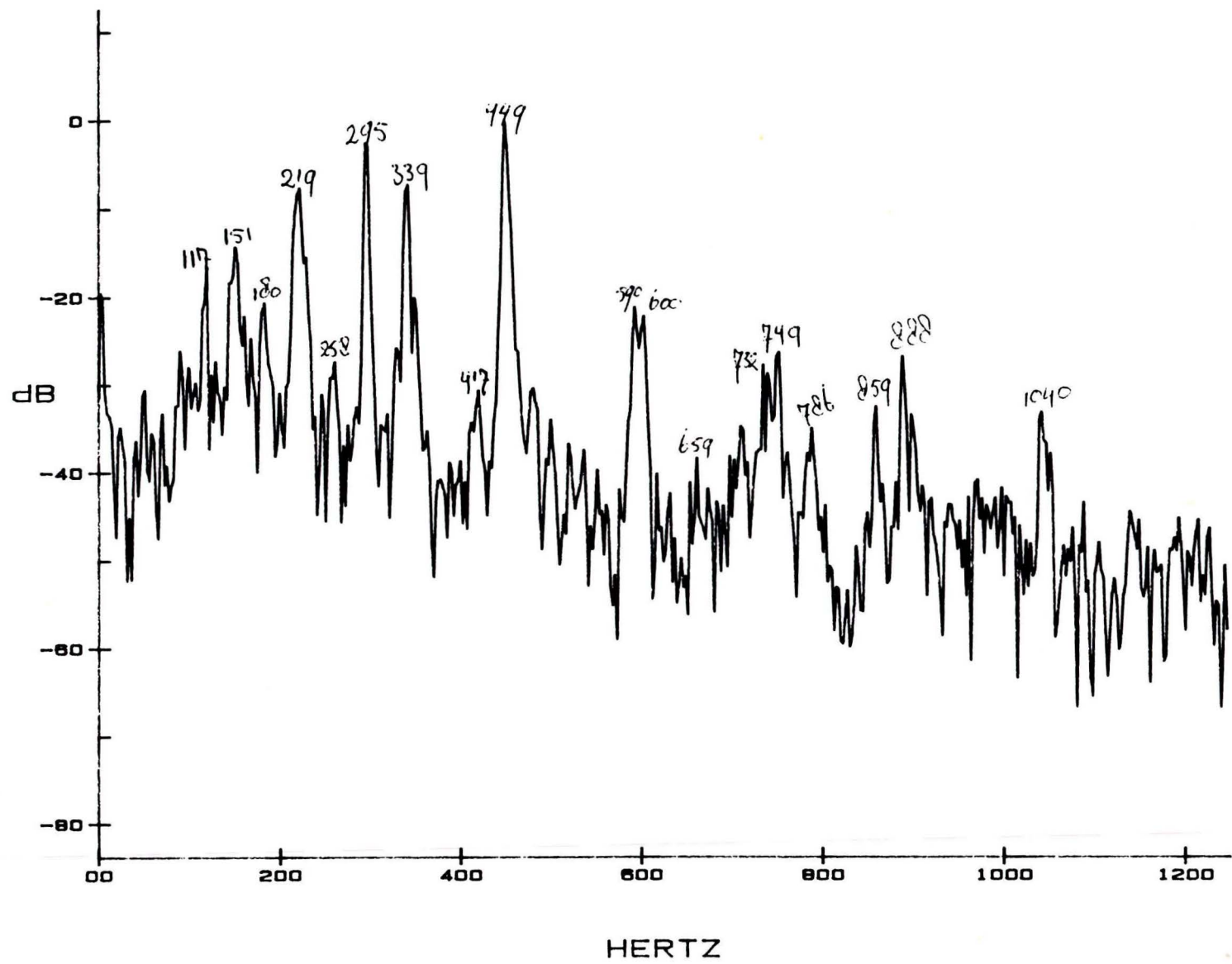
RLOGA1

CHPFM1



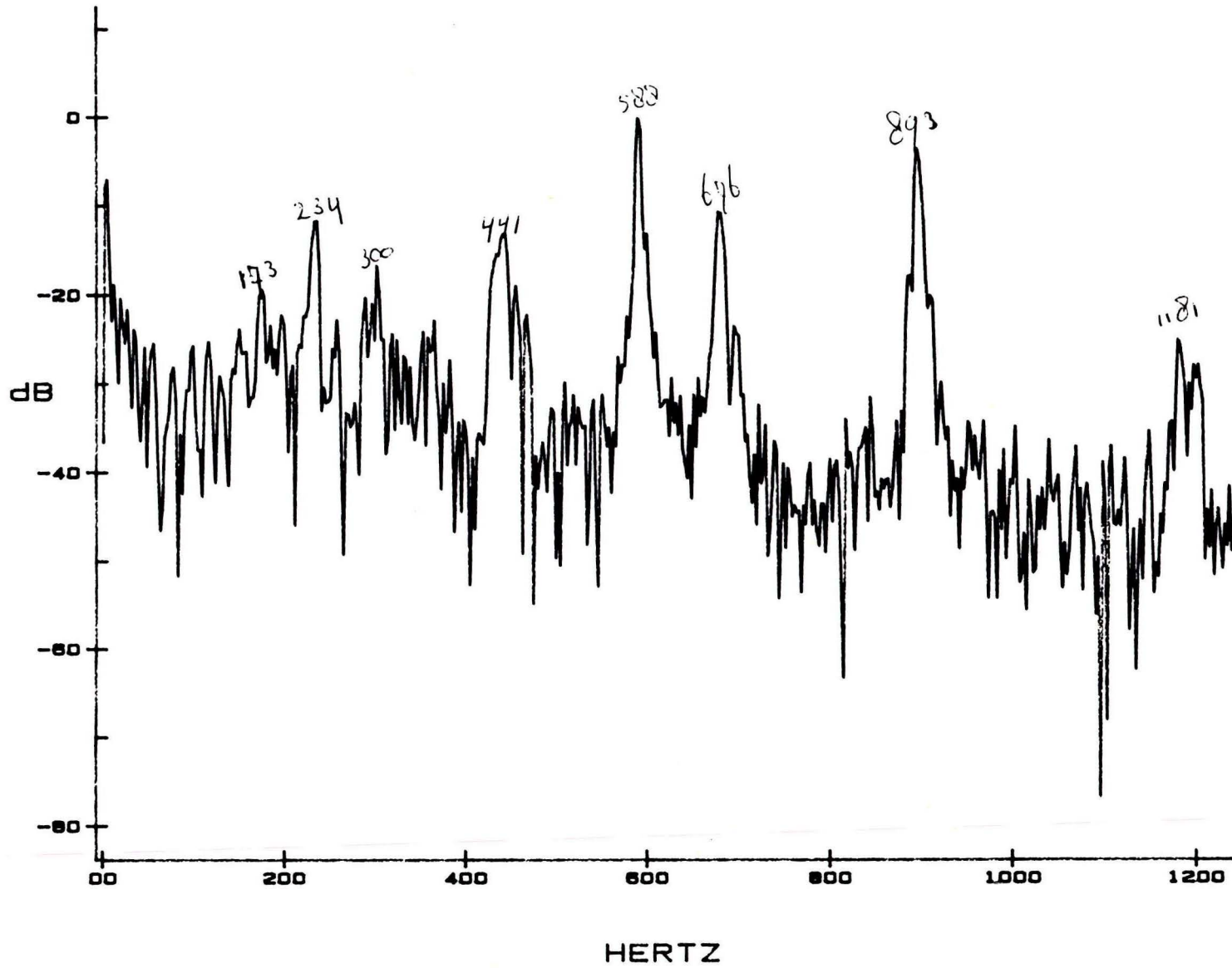
RLOGA 1

CHAPM2



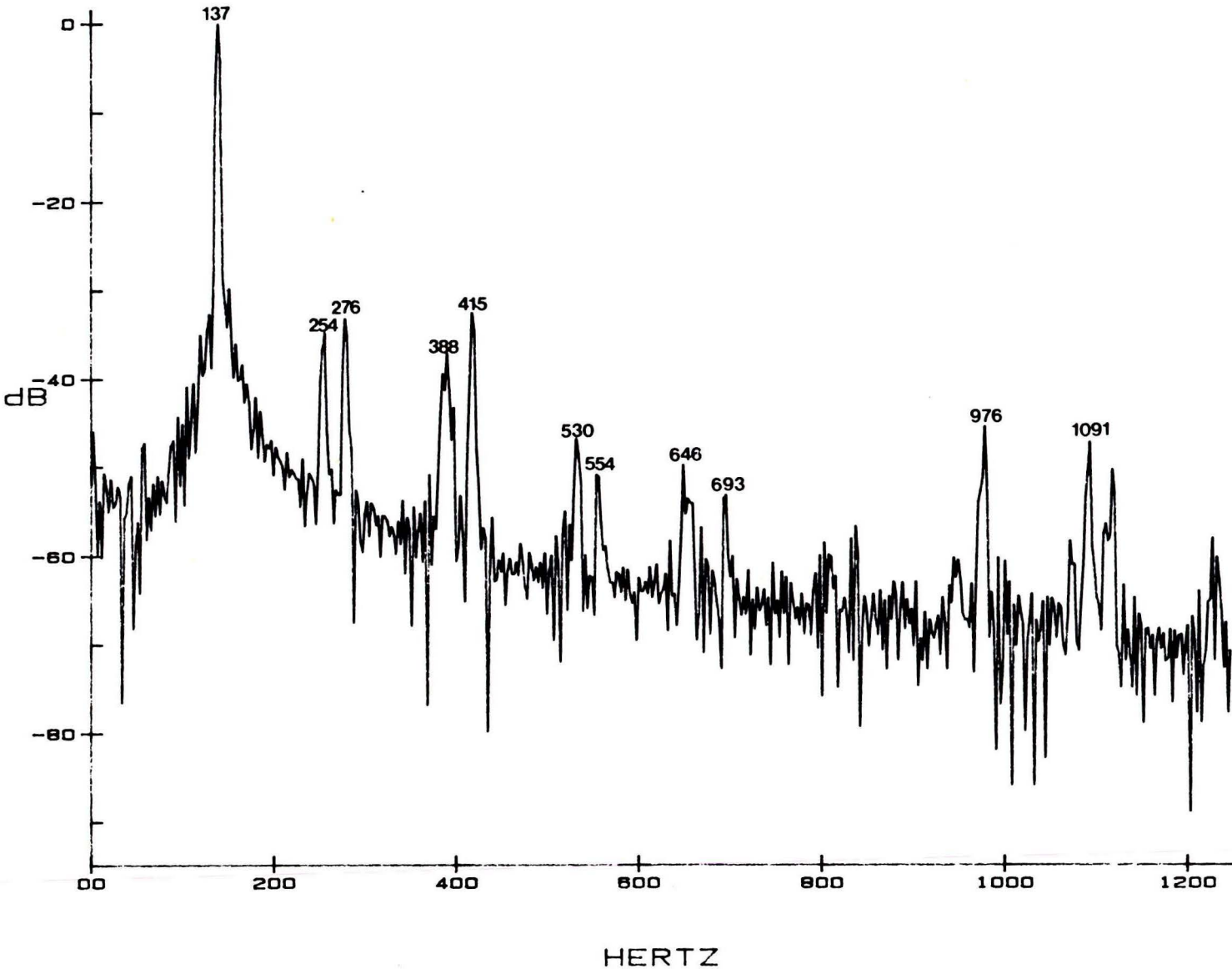
RLOGA1

CHPFM2



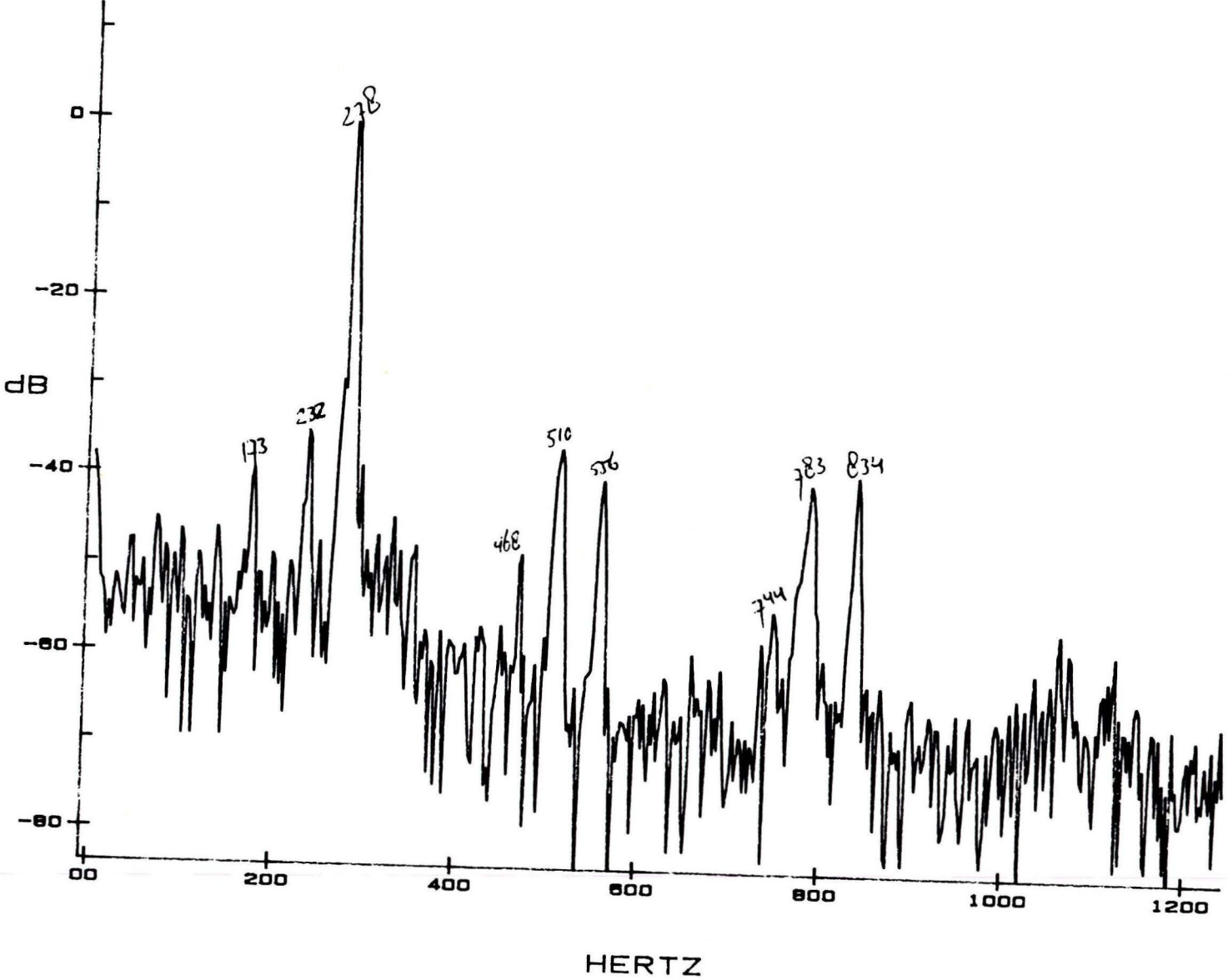
RLOGA 1

DEEMM1



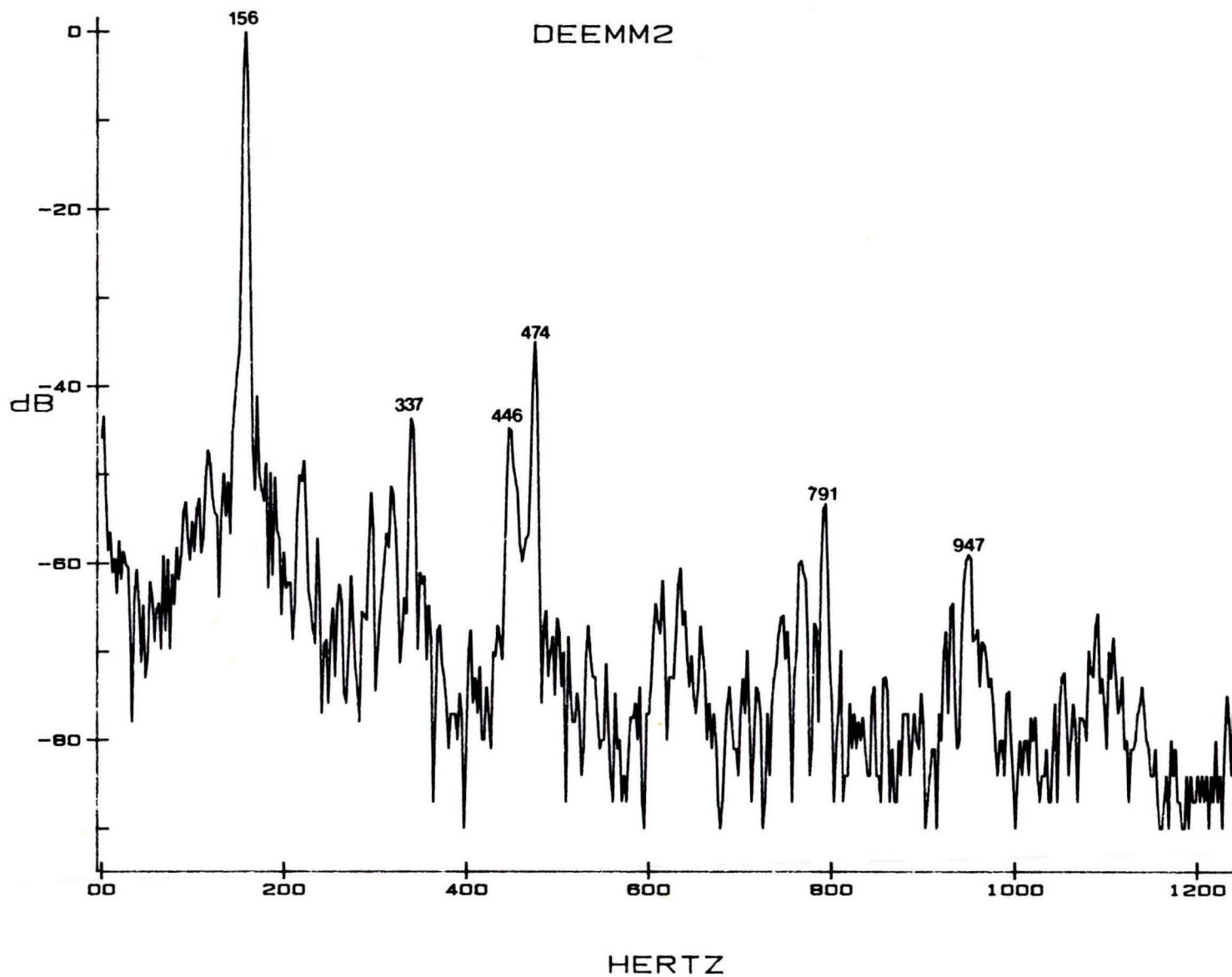
RLOGA 1

DEMFM1



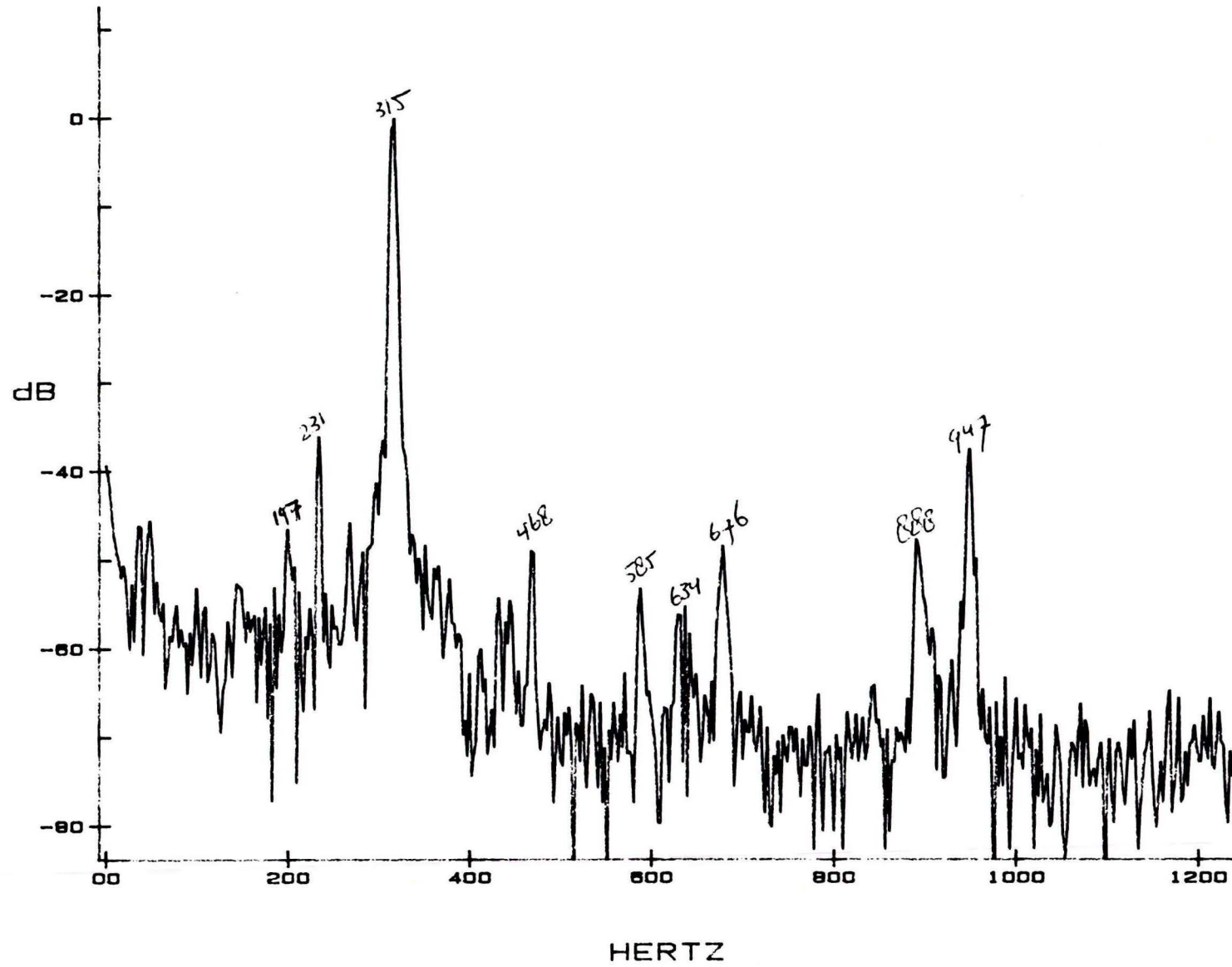


RLOGA1



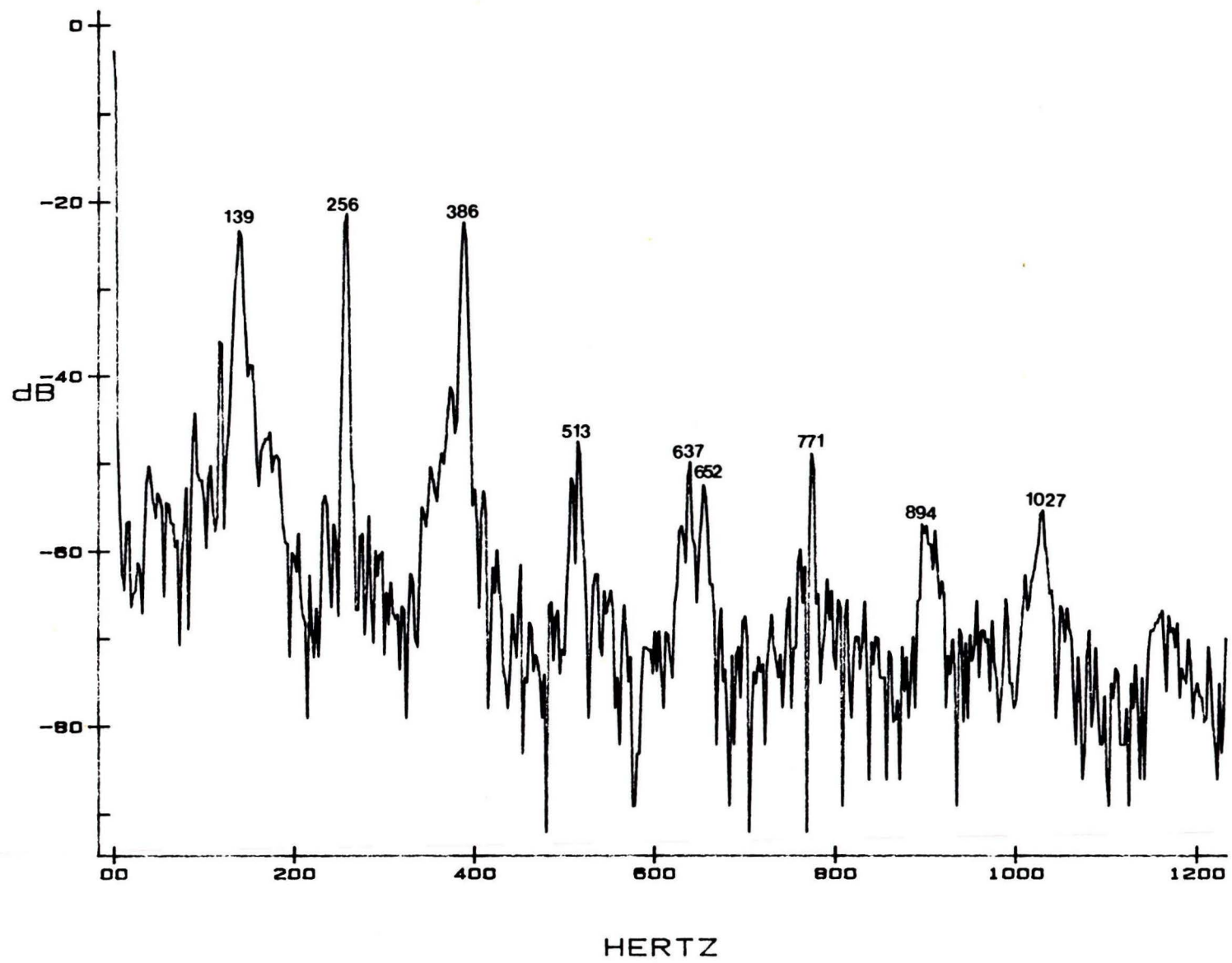
RLOGA 1

DEMFM2



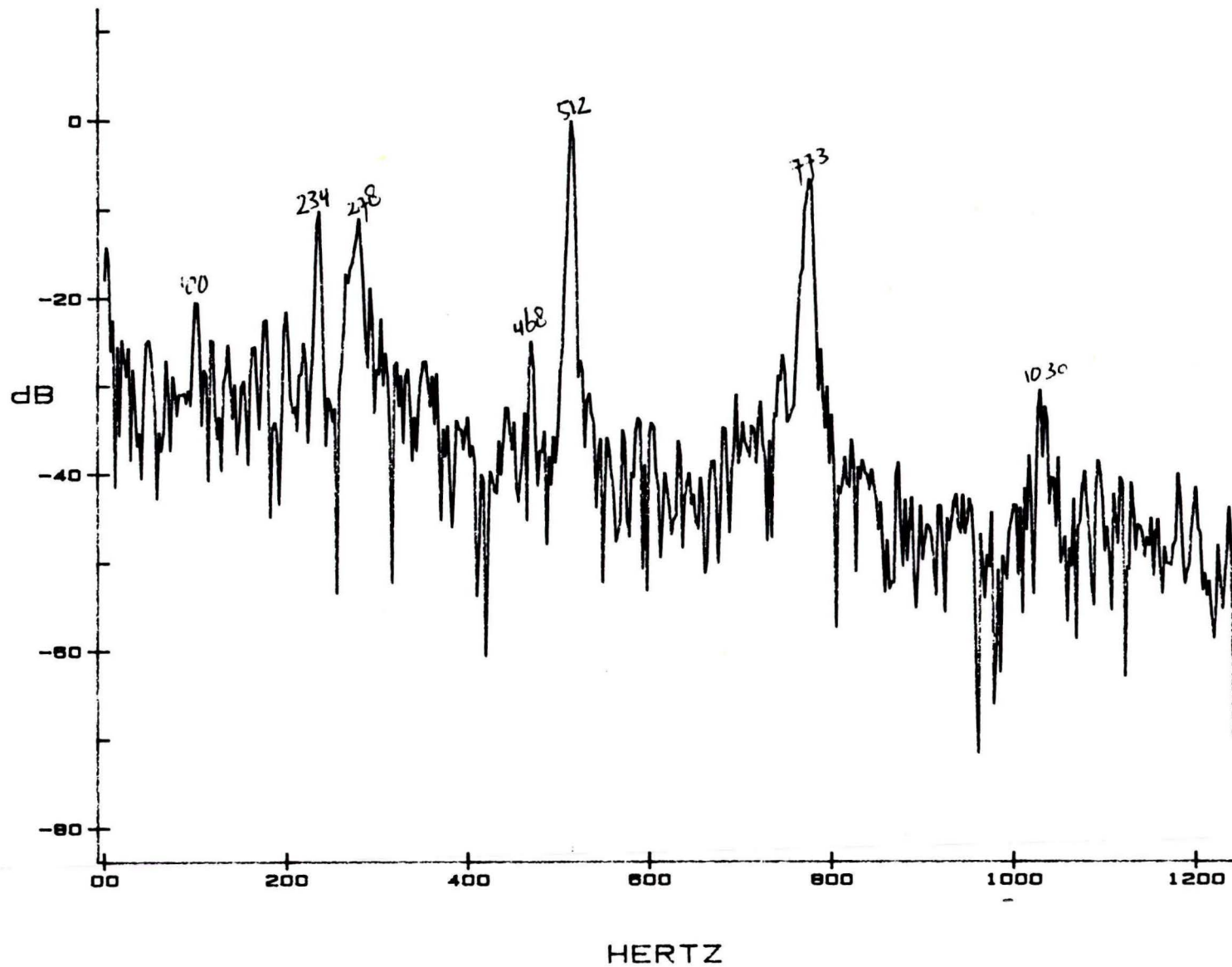
RLOGA1

TUMM1



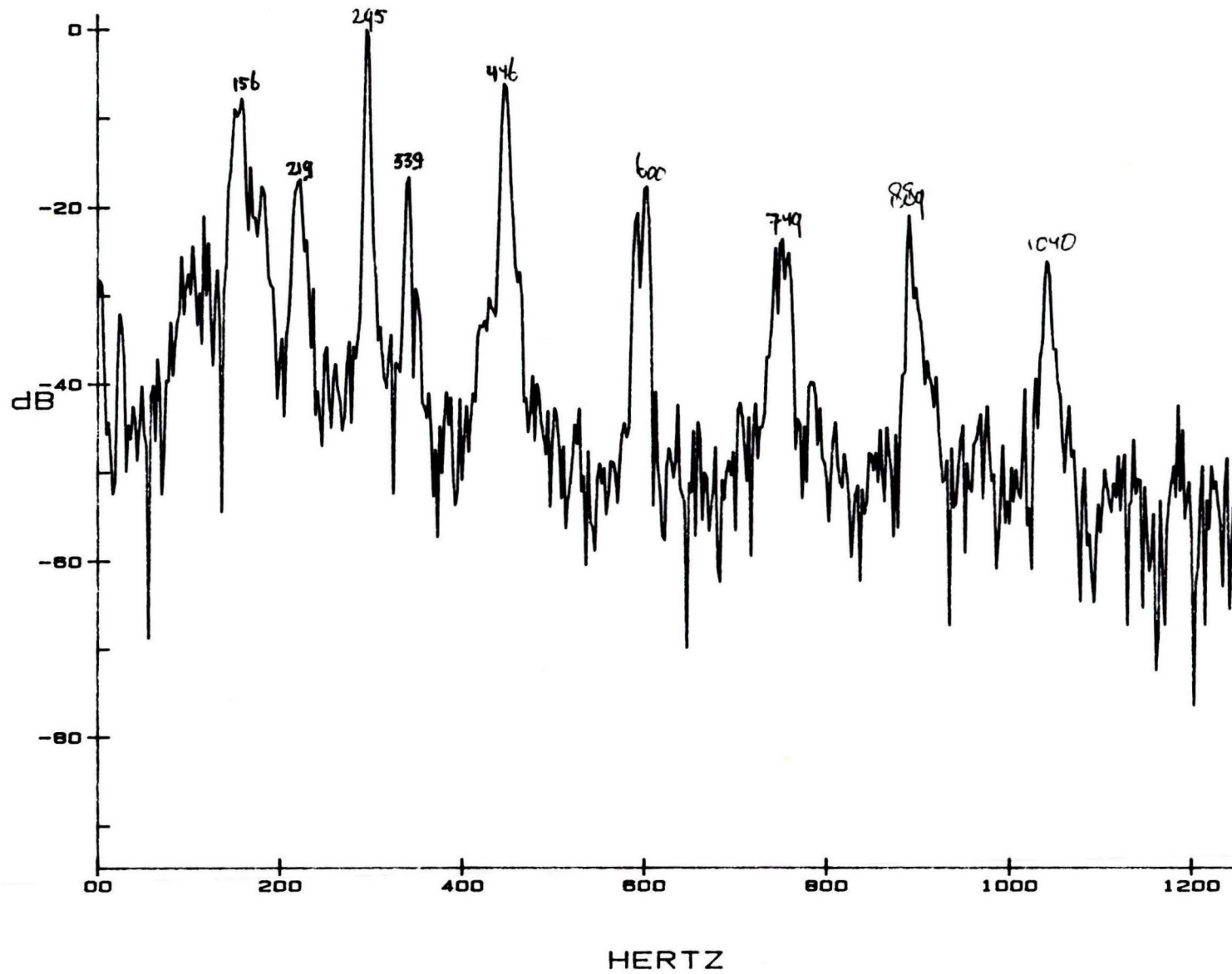
RLOGA1

TUMFM1



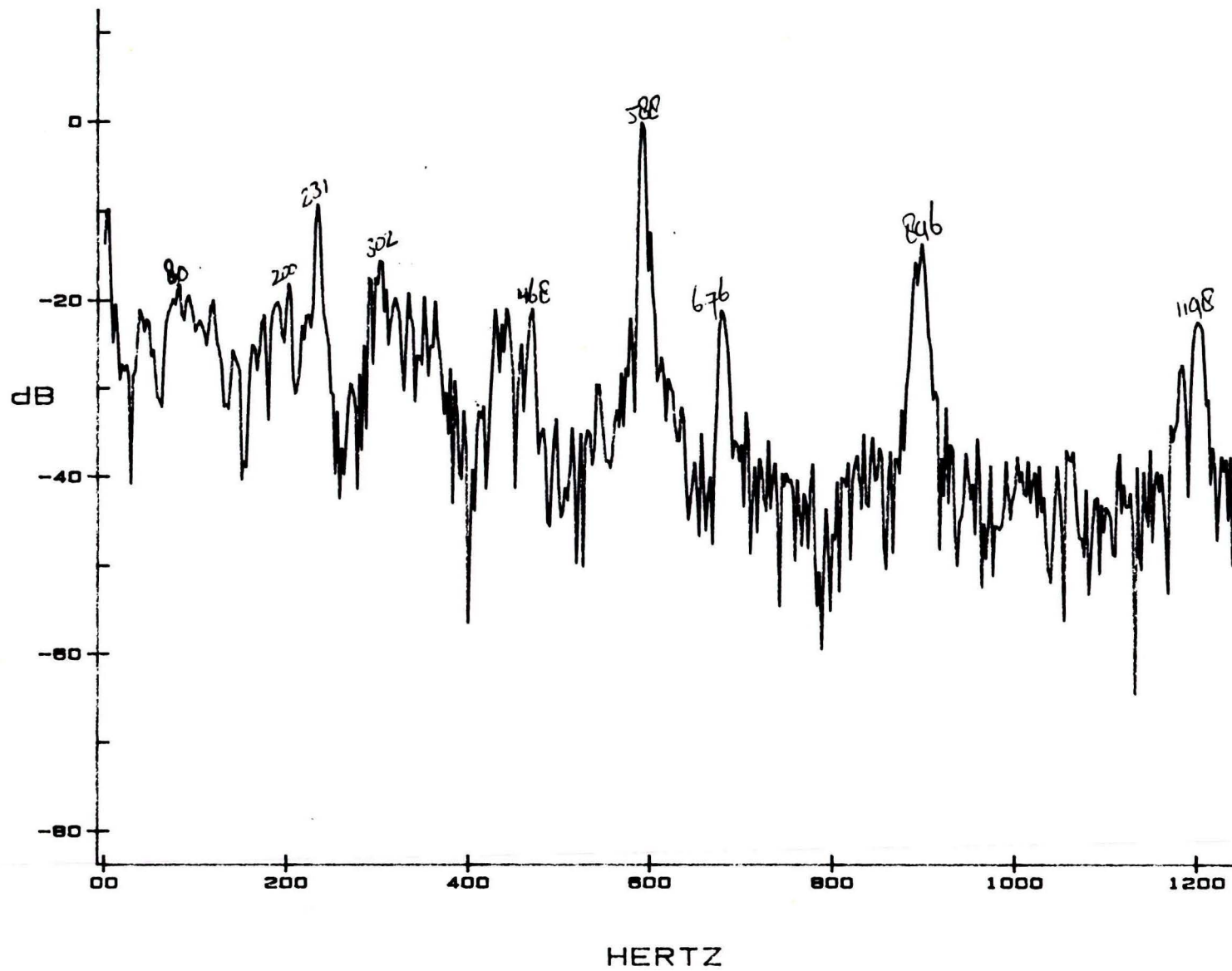
RLOGA 1

TUMM2



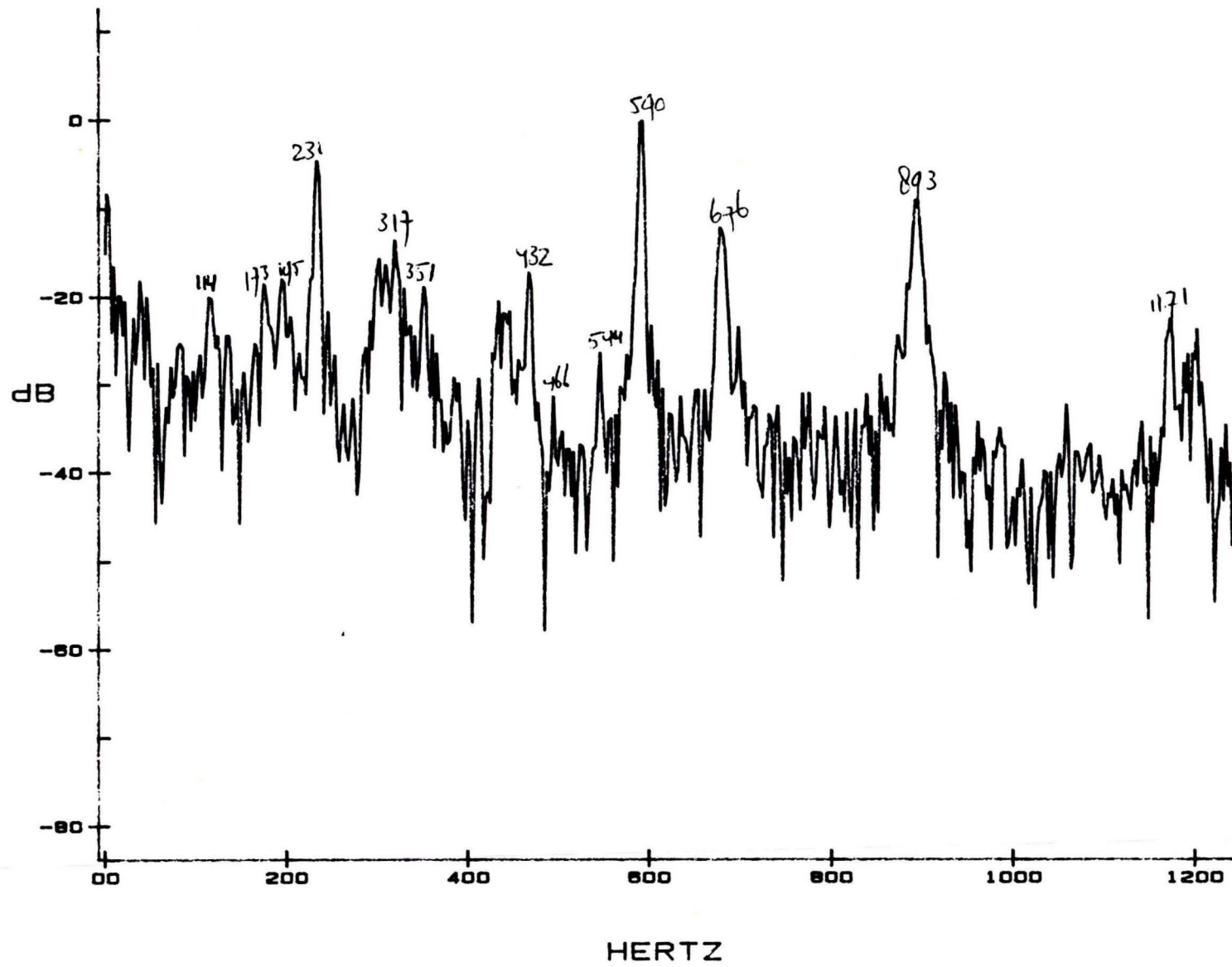
RLOGA 1

TUMFM2



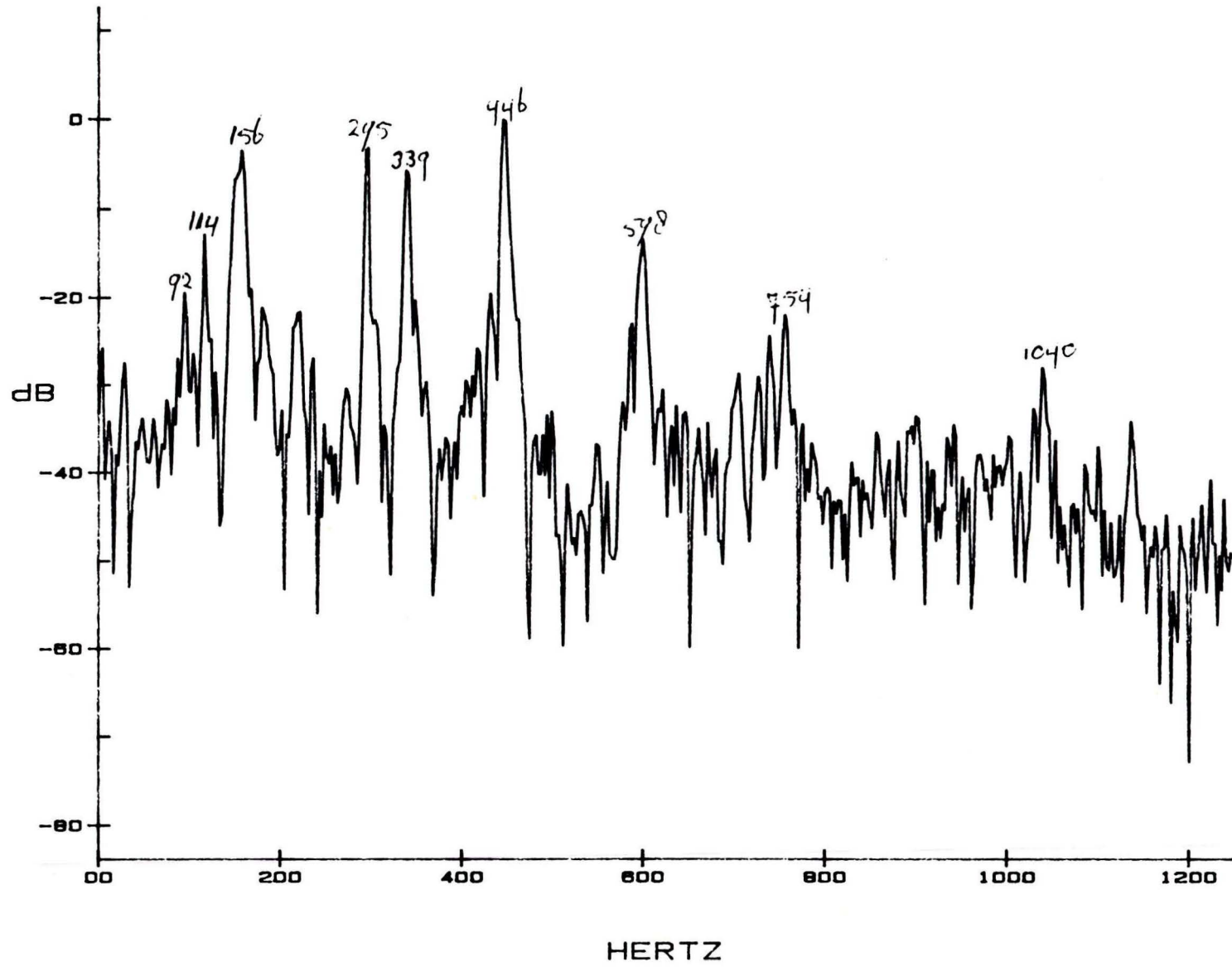
RLOGA1

NAMFM2



RLOGA1

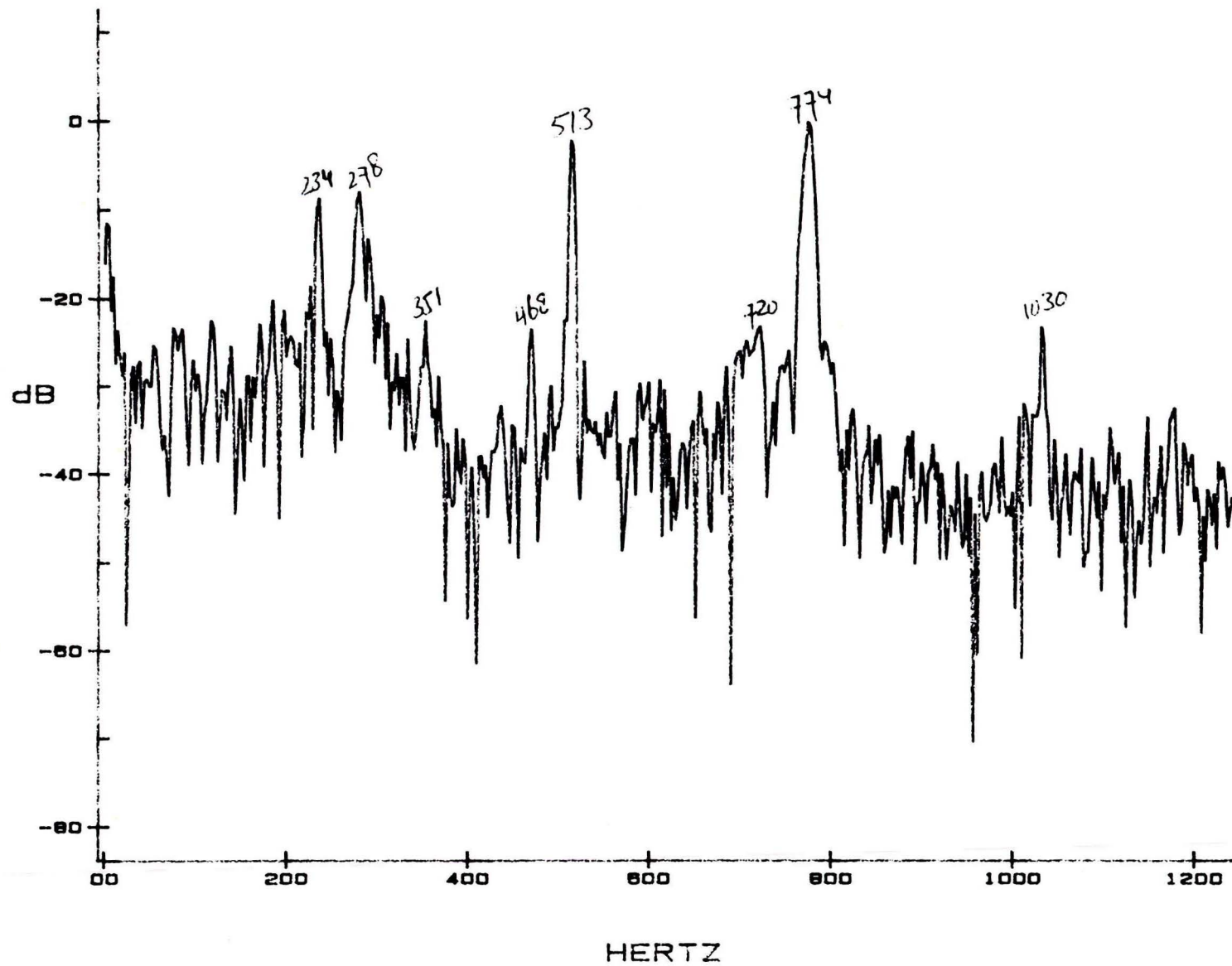
NAMM2





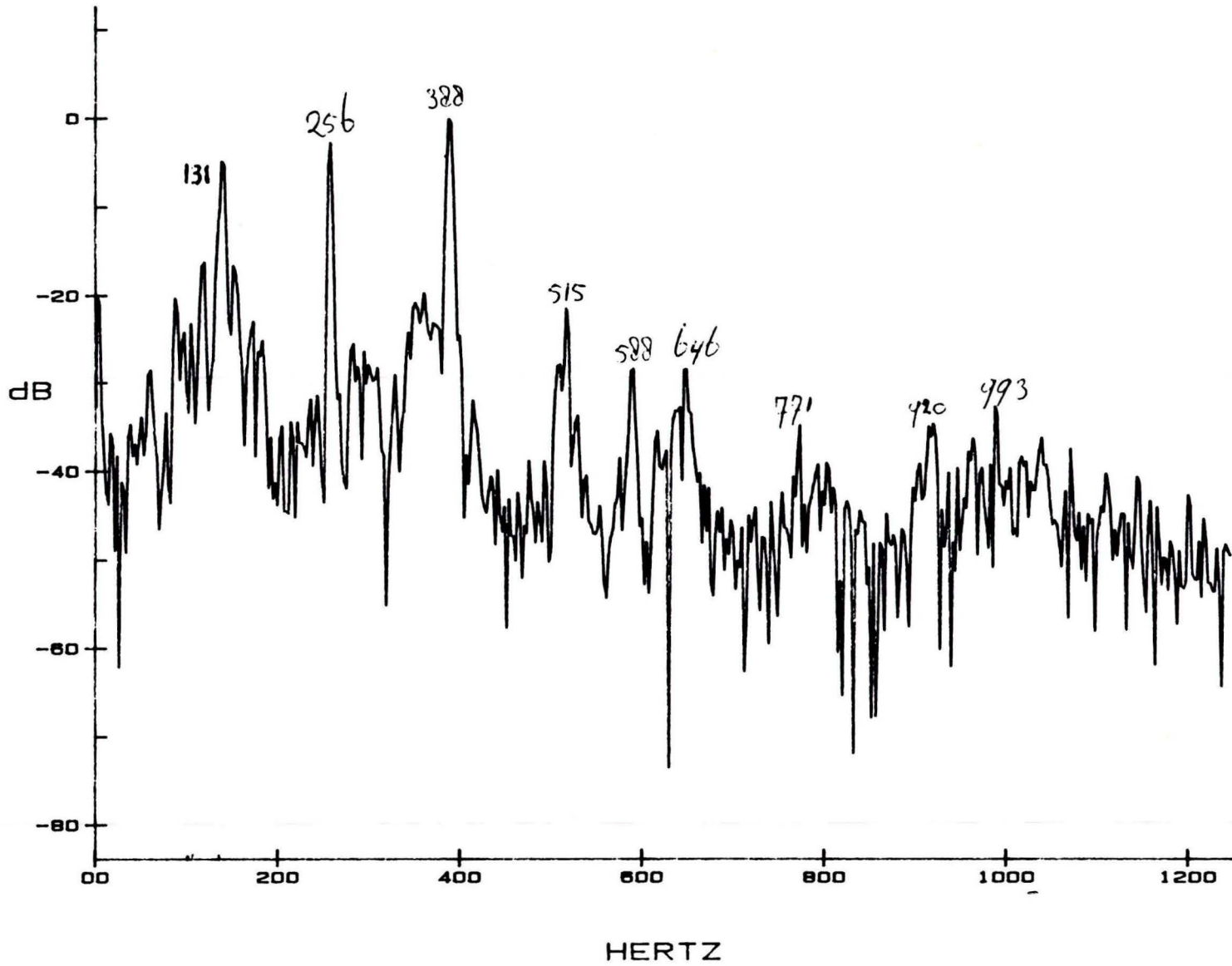
RLOGA1

NAMFM1



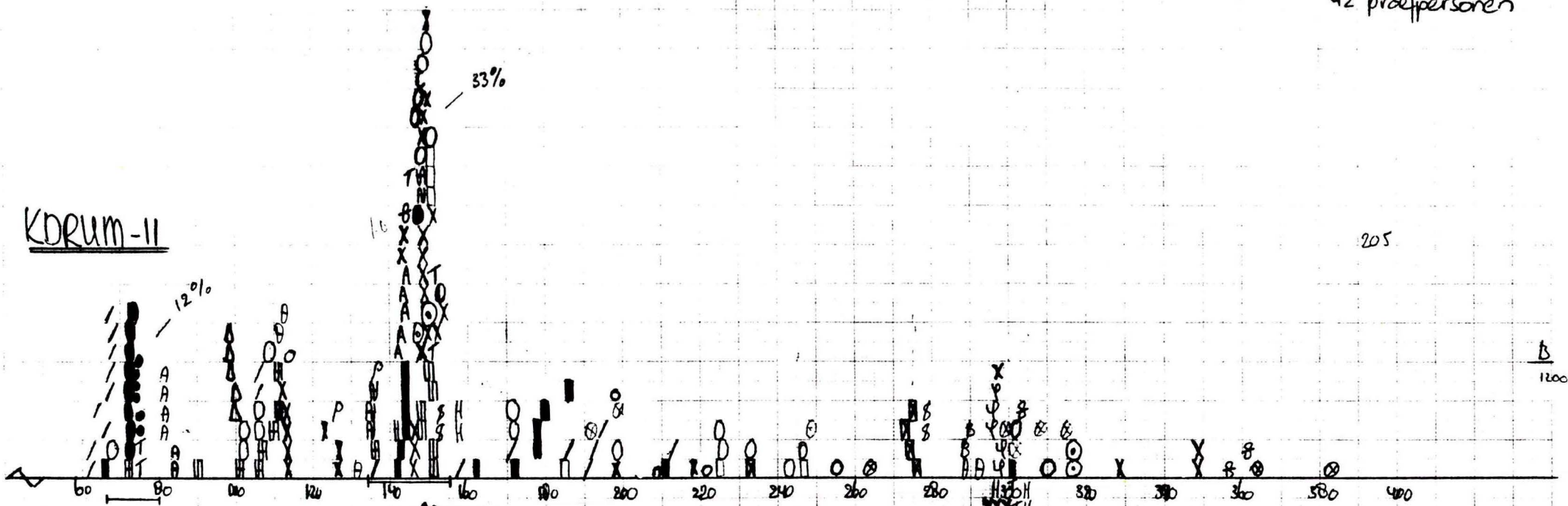
RLOGA 1

NAMM1



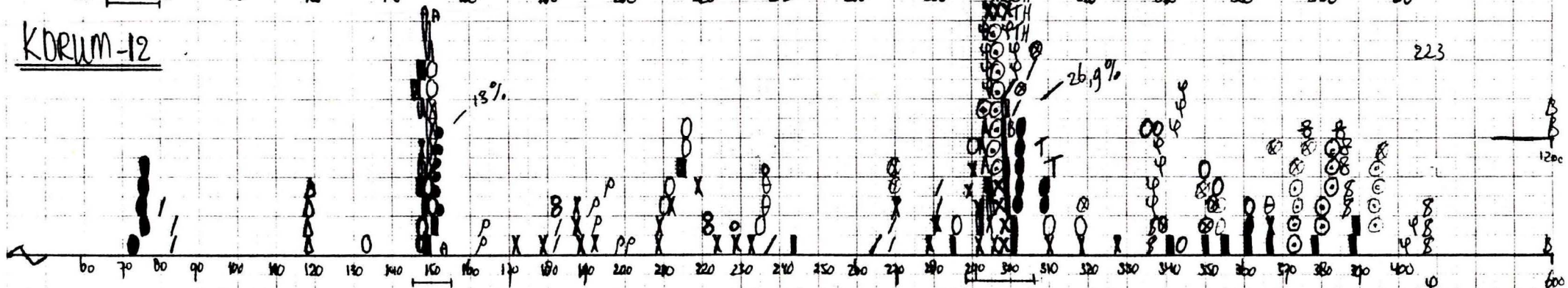
KORUM-11

205



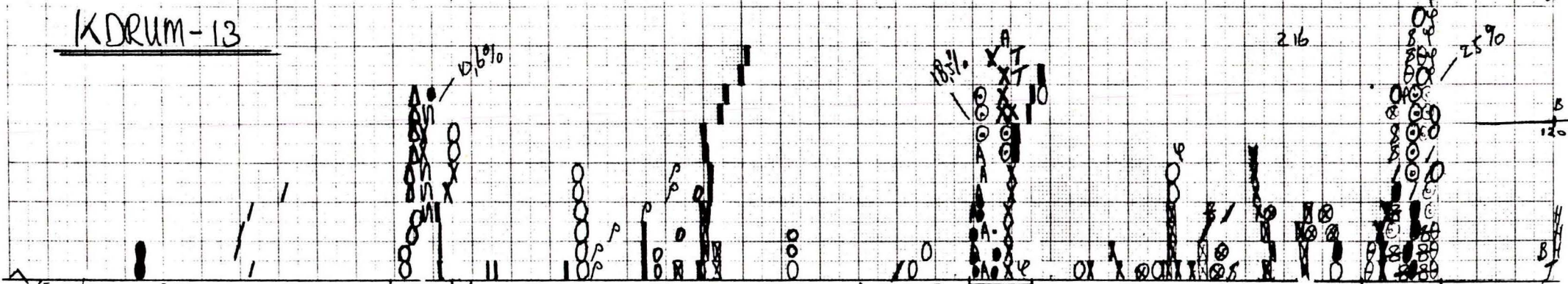
KORUM-12

223

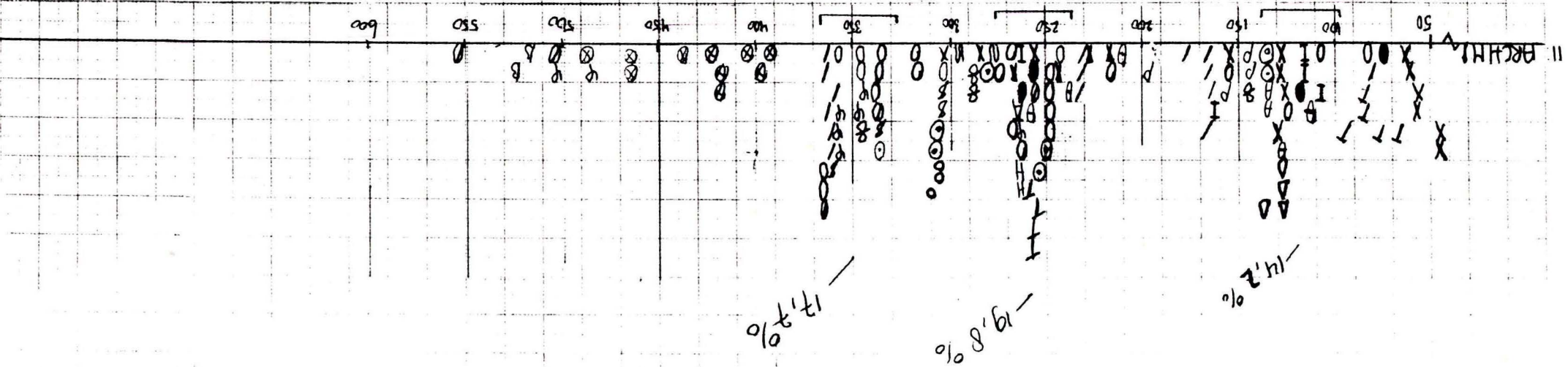


KORUM-13

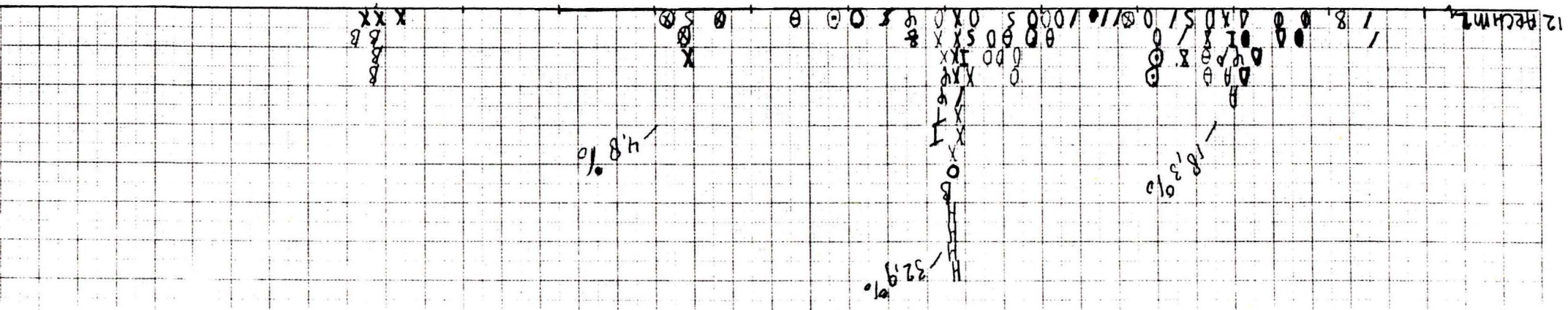
216



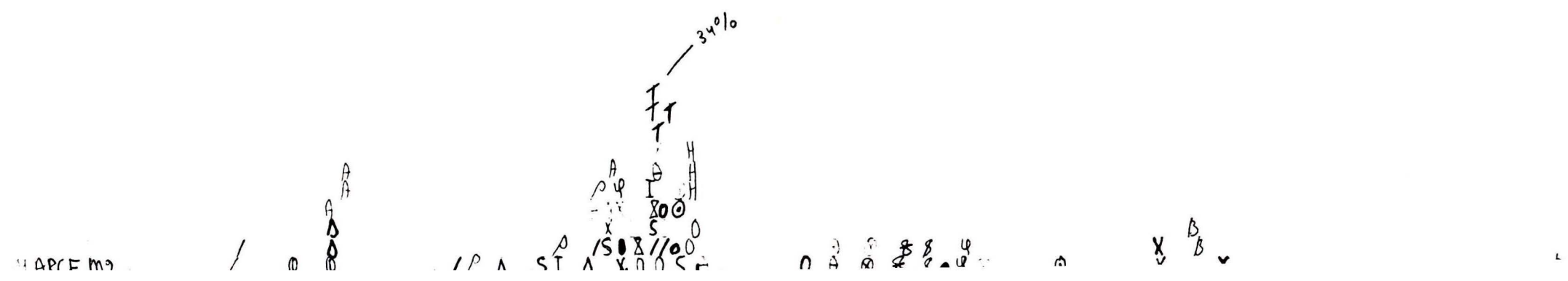
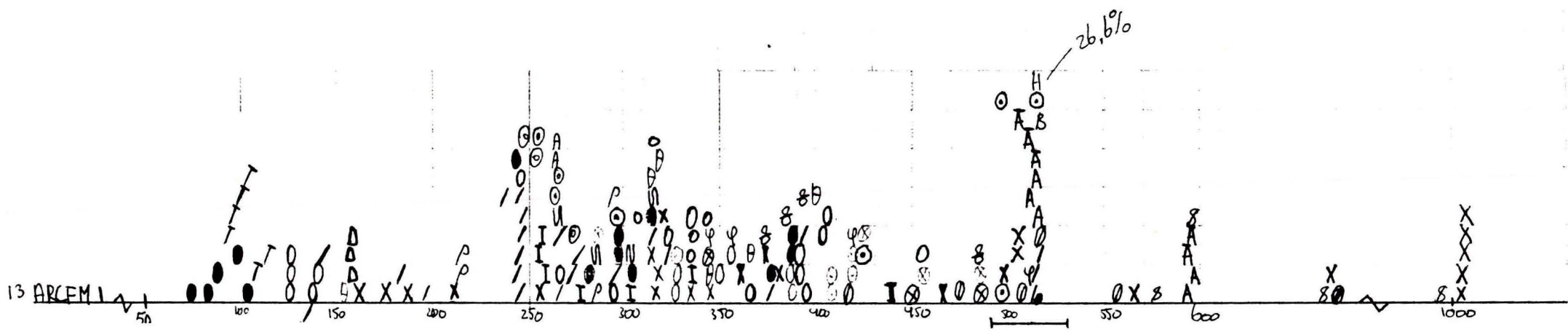
141

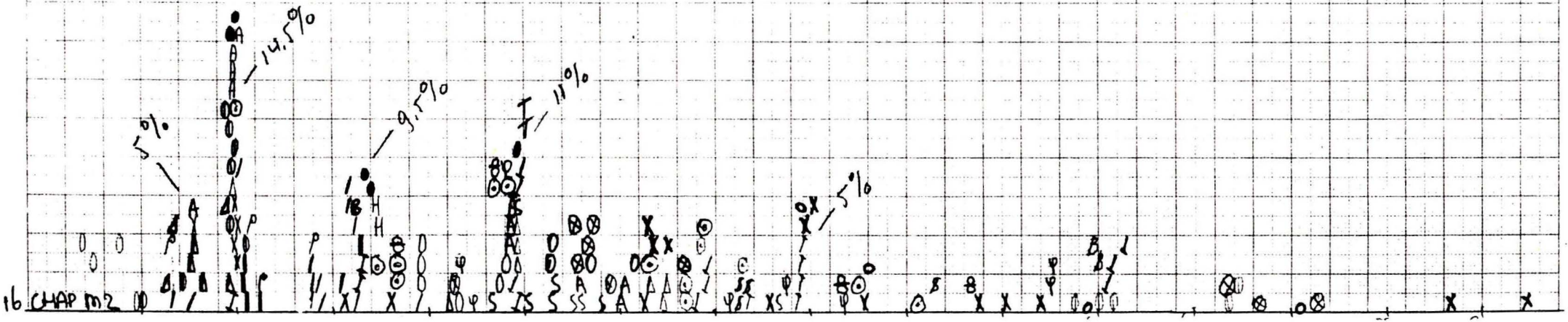
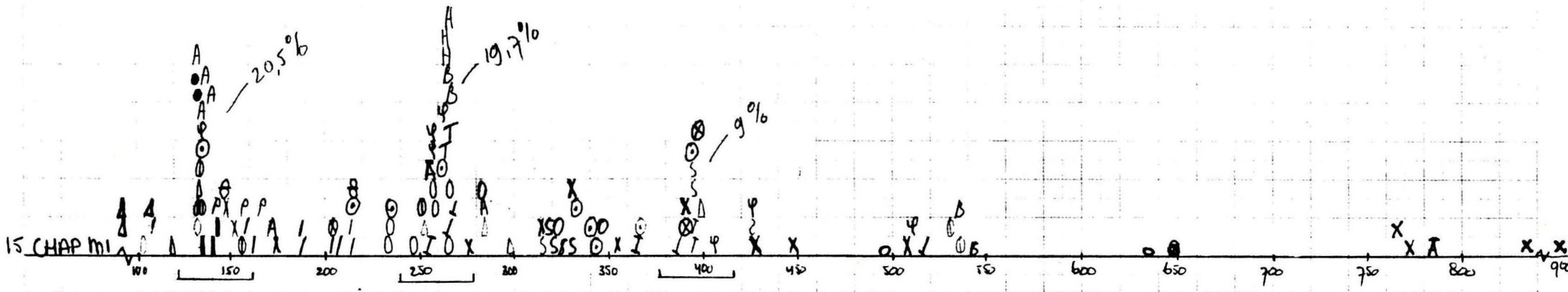


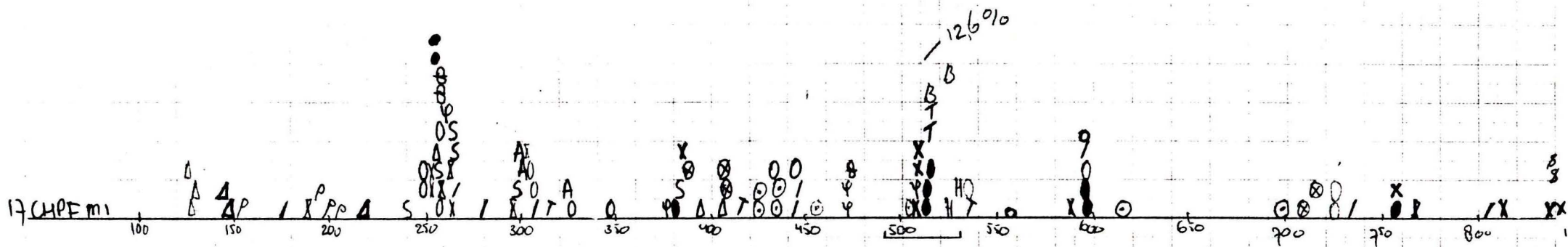
82



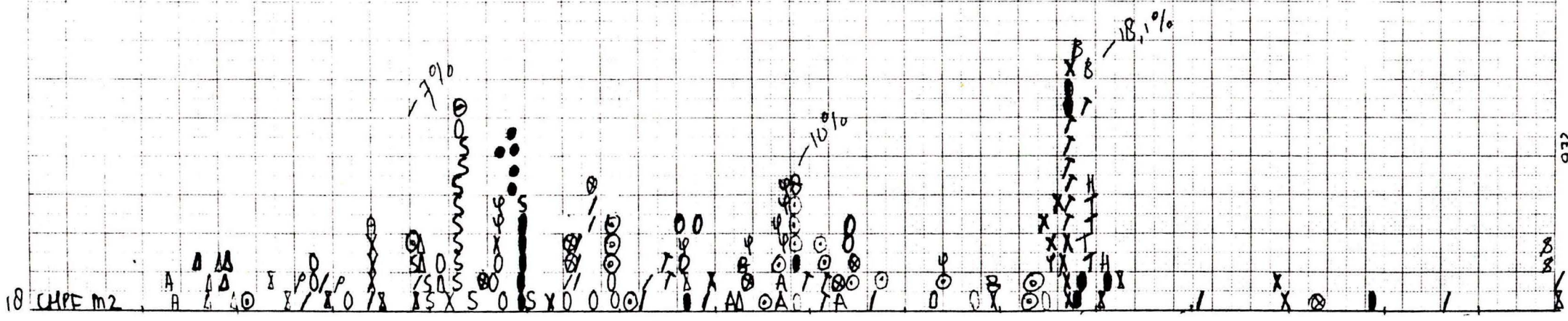
11  
106

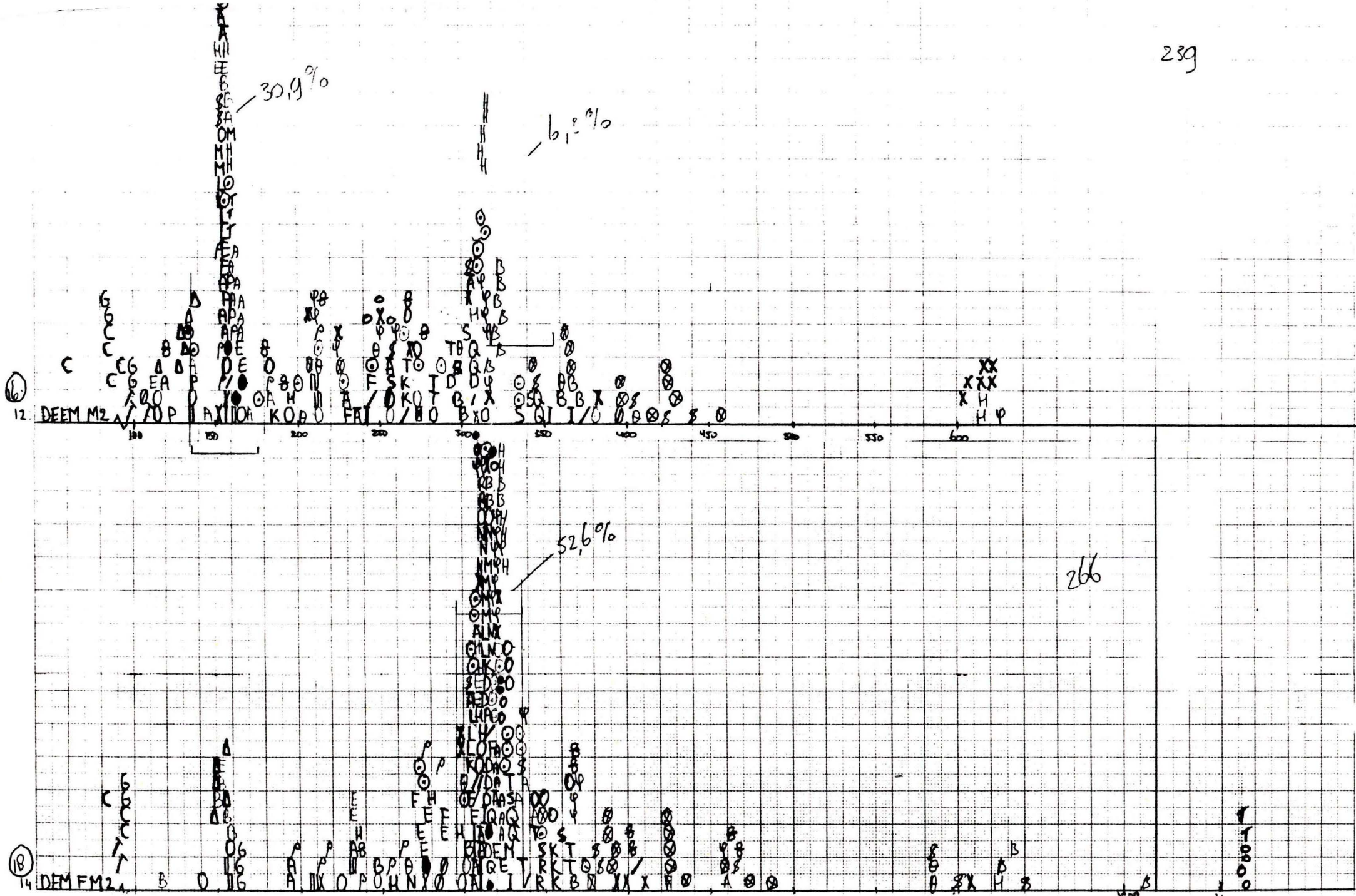






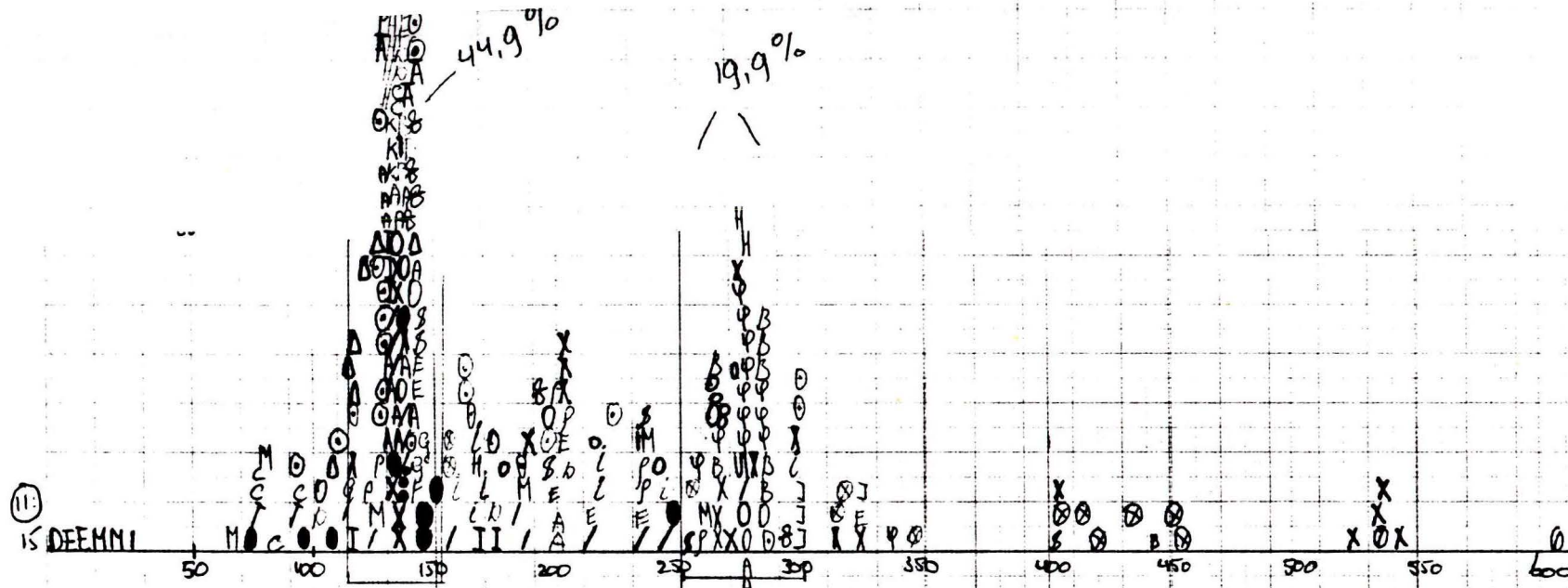
188



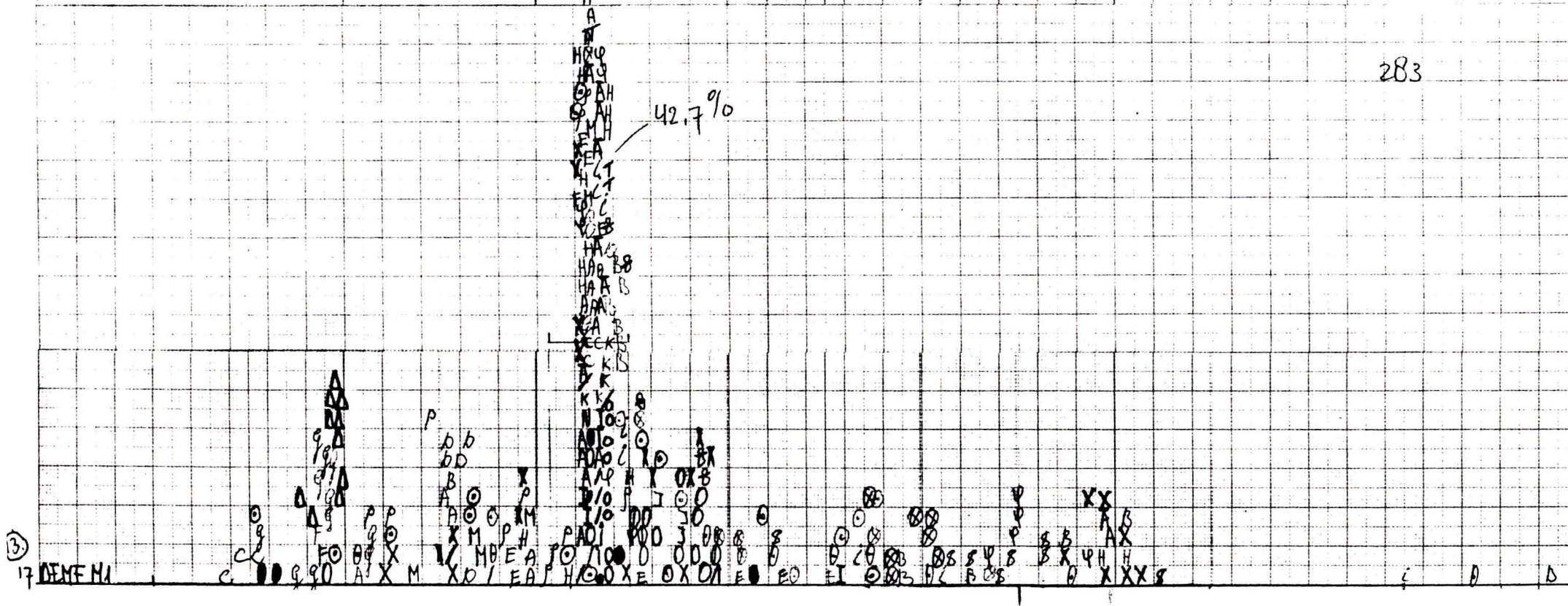


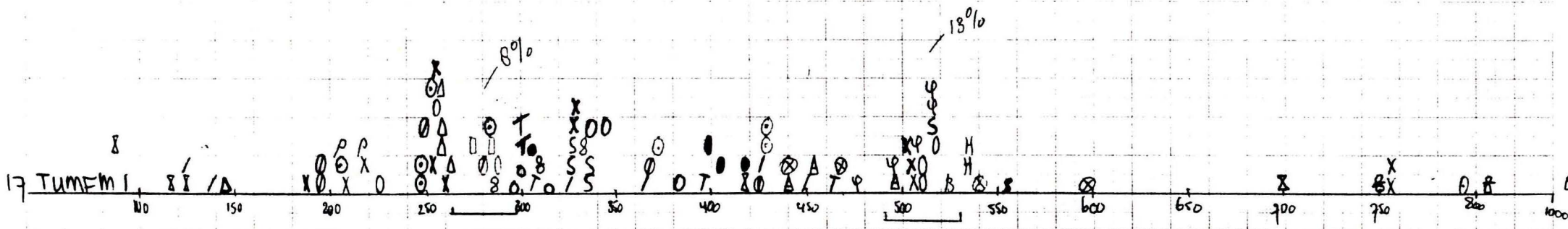


256

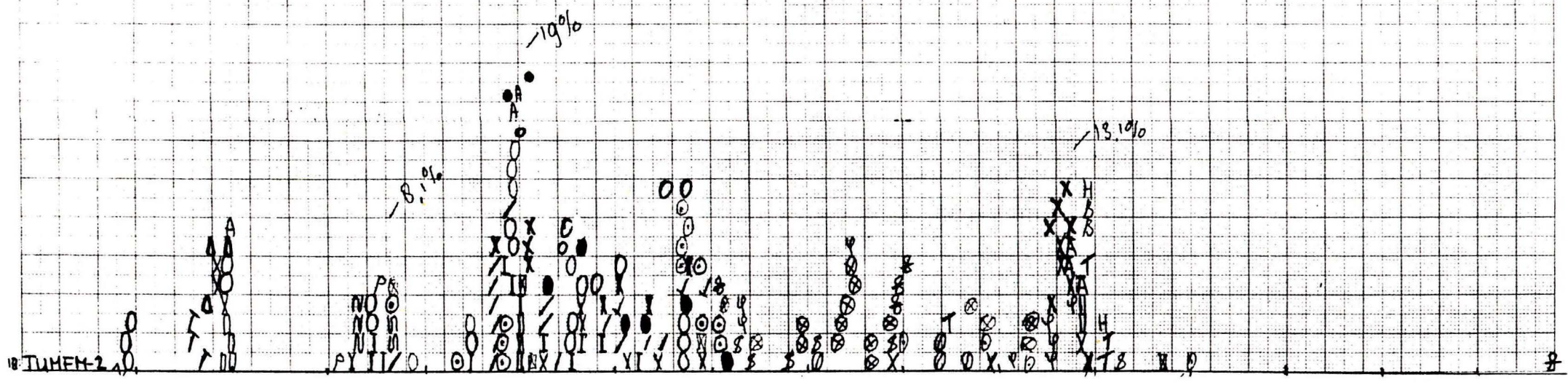


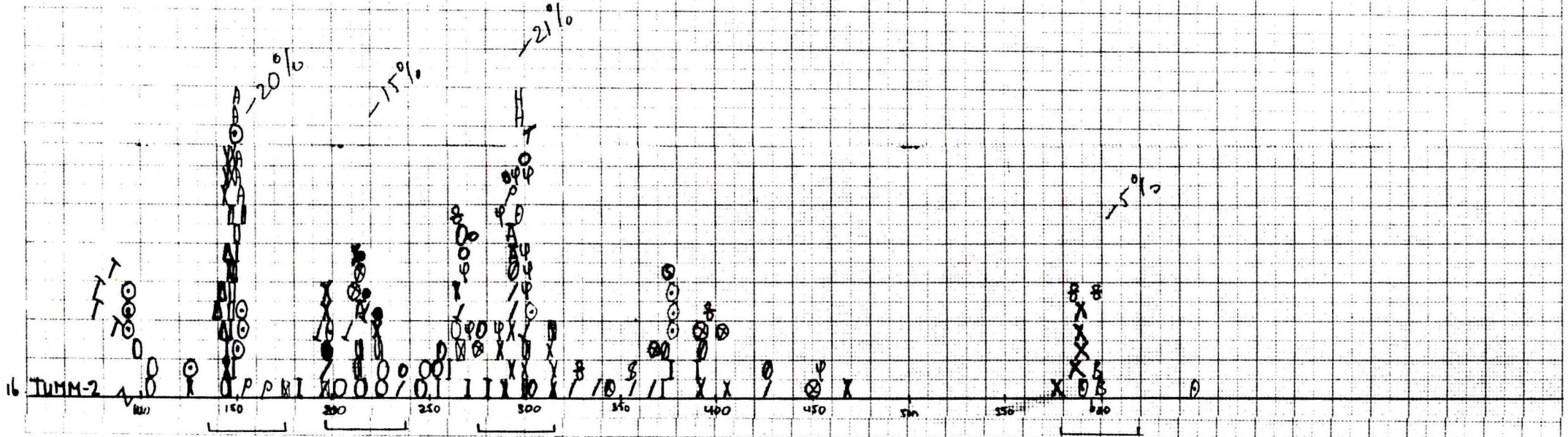
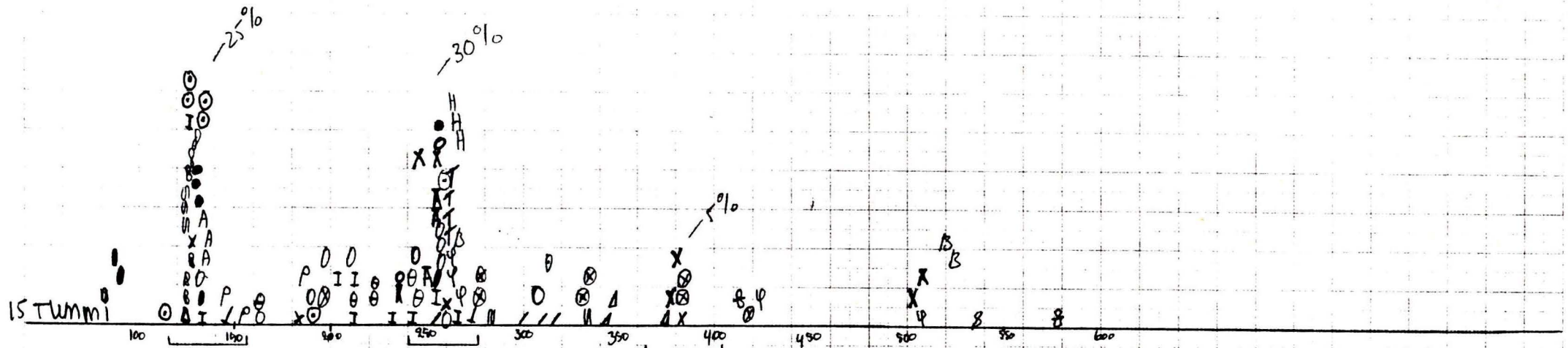
283



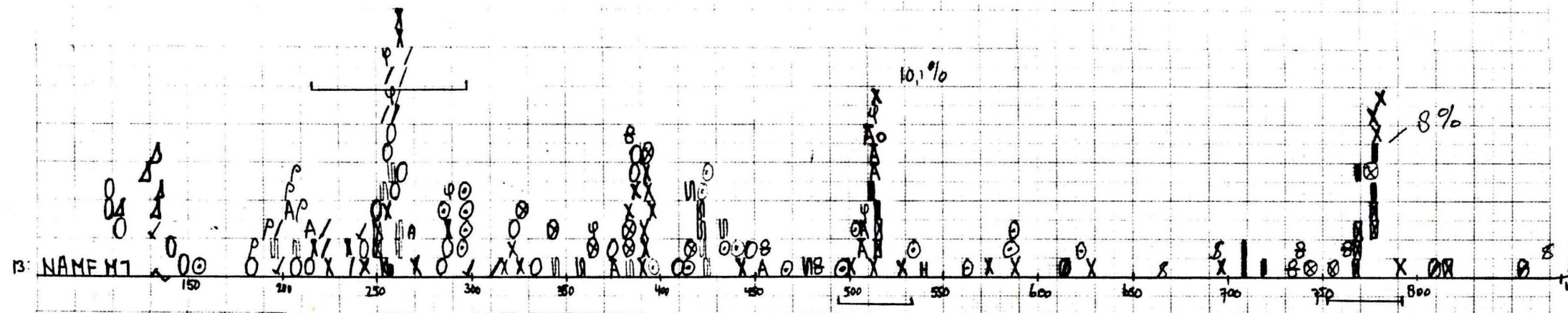


178

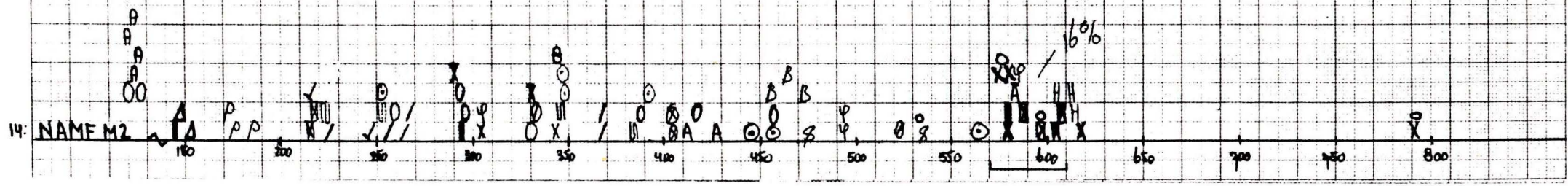


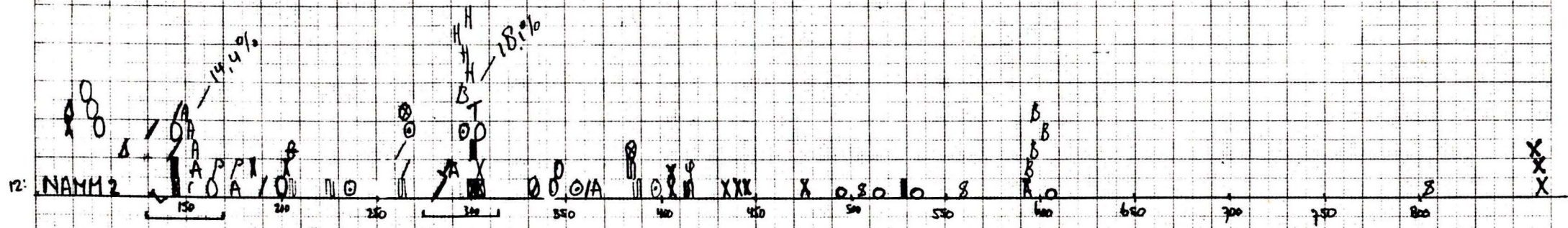
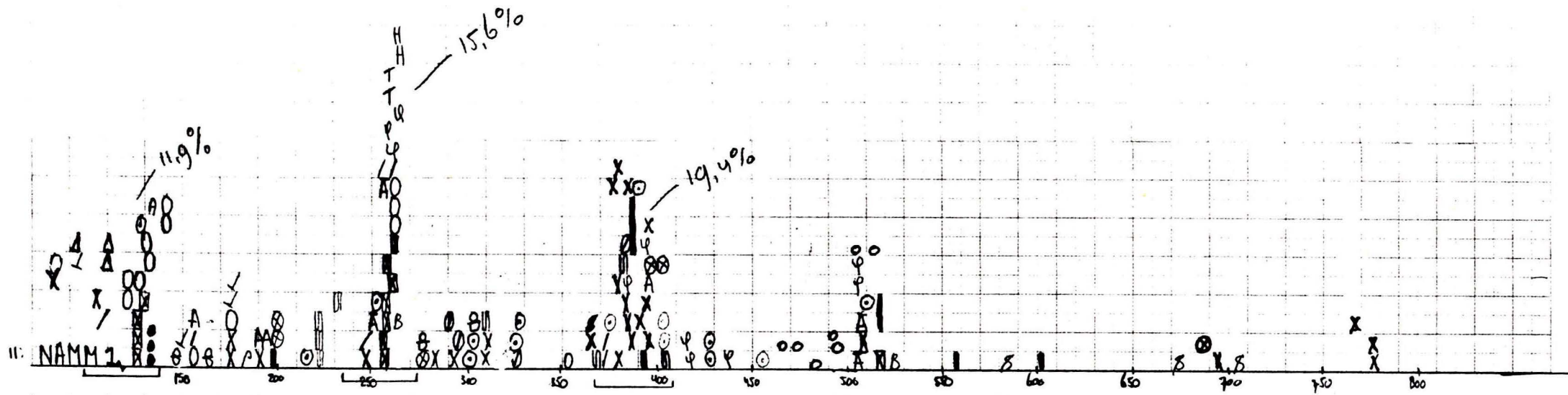


22.5%

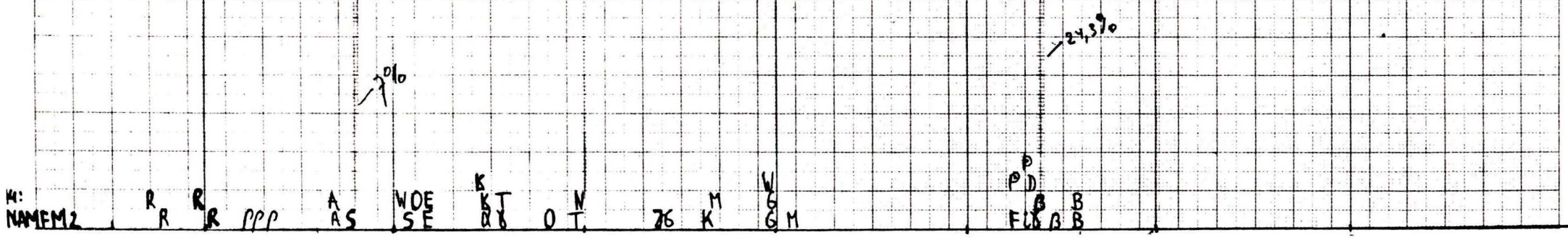
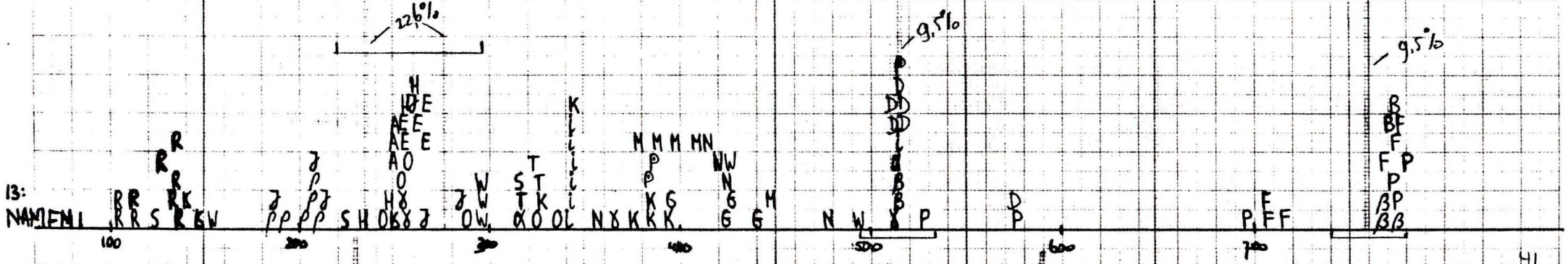
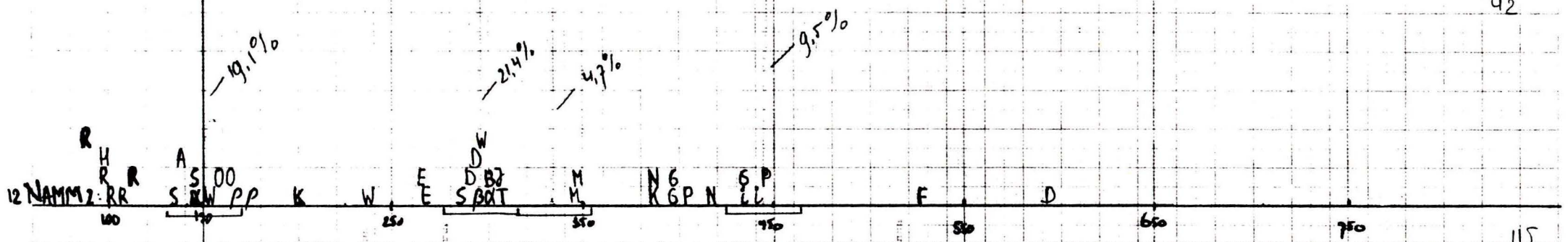
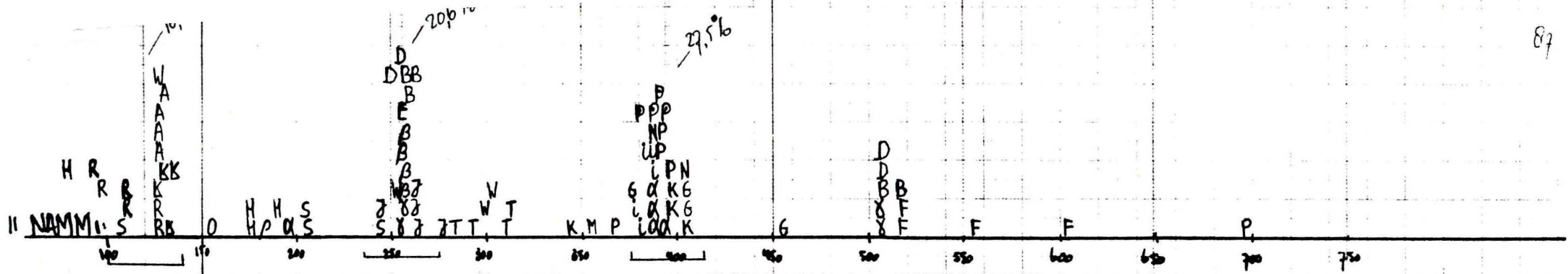


79









## GEBRUIKTE APPARATUUR.

Het geluid van alle trommelslagen is digitaal opgenomen en in de computer gezet. Voor dit experiment is een computer-programma (geschreven in Fortran) en het computer-systeem P 800 gebruikt.

Via de terminal kan het geluid van de trommelslagen teruggehaald worden. Met behulp van een oscillator wordt een sinustootje gegenereerd, dat als vergelijkingstootje voor de proefpersonen dient.

Een voor- en eindversterker zorgt er voor dat de geluidssterkte van de trommelslag en het sinustootje op een nivo van + 40 decibel gebracht wordt.

Een meng-unit maakt het mogelijk dat zowel de trommelslag als het sinustootje op beide kanalen van de koptelefoon te horen zijn. Een digitale versterker past de geluidssterkte van het sinustootje onder de 500 Hz. aan aan ons gehoor. De versterking is + 1/20 decibel per Hz.

Met een varidac poort (= schakel-unit), gestuurd door de computer, wordt de tijdsduur van de trommelslag en sinustootje bepaald en achter elkaar hoorbaar gemaakt en herhaald.

Via een oscilloscoop worden de geluiden zichtbaar gemaakt.

Met een geheugoscoop, de Data 6000, hebben wij de frequentie-spectra zichtbaar gemaakt en geanalyseerd.

Bij de Fourier-analyse (met de Data 6000) zorgen twee filtereenheden er voor dat de frequentie van de trommelslagen beneden de hiervoor vereiste frequentie blijft.

Uiteindelijk worden de frequentie-spectra met een plotter verwerkt.



INSTELLING VAN DE DATA 6000.

Buffer A1.  
Timebase A1.

	<u>Filter frequentie (Hz.)</u>	<u>Sample periode (S)</u>	<u>Points</u>
KDRUM 1	2500	400.000	1024
2	5000	200.000	2048
3	10000	100.000	4096
DEEMM 1	1100	400.000	1024
M 2	1100	400.000	1024
DEMFM 1	2300	200.000	2048
M 2	2300	200.000	2048
TUMM 1	1100	400.000	1024
M 2	1100	400.000	1024
TUMFM 1	2300	200.000	2048
M 2	2300	200.000	2048
NAMM 1	1100	400.000	1024
M 2	1100	400.000	1024
NAMFM 1	2300	200.000	2048
M 2	2300	200.000	2048
CHAPM 1	1100	400.000	1024
M 2	1100	400.000	1024
CHPFM 1	2300	200.000	2048
M 2	2300	200.000	2048
ARCHM 1	1100	400.000	1024
M 2	1100	400.000	1024
ARCFM 1	2300	200.000	2048
M 2	2300	200.000	2048

Trig: mode normal  
source ch1  
level 20,00000 MV tot. 500,000 MV

Disp: single

Inp: range 500 MV

Opt: rel log (FFt)