

Dariusz Madej, Wanda Nowakowska

REALIZACJA MIKROKOMPUTEROWEGO  
MODELU GENERACJI SYGNAŁU MOWY

3/1987

P. 269



WARSZAWA 1987

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 18 listopada 1986 r.



56842



N a p r a w a c h   r ę k o p i s u

---

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 160 egz. Ark.wyd. 0,8 Ark.druk. 1,5

Oddano do drukarni w styczniu 1987 r.

Nr zamówienia 87/87

---

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,  
ul. Śniadeckich 8

Dariusz Madej

Wanda Nowakowska

Zakład Akustyki Cybernetycznej

IPPT PAN

## REALIZACJA MIKROKOMPUTEROWEGO

## MODELU GENERACJI SYGNAŁU MOWY.

### 1. Wstęp

Symulacyjne modelowanie toru głosowego, traktowanego jako akustyczny układ transmisyjny zasilany ze źródła krtaniowego i zakończony otworem wylotowym ust i nosa jest przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych na świecie. Badania są prowadzone na różnych płaszczyznach i służą do różnych celów, bądź jako prace o charakterze poznawczym, zmierzające do wyjaśniania wielu zjawisk z zakresu akustyki mowy i fonetyki akustycznej, bądź jako ukierunkowane badania podstawowe o zastosowaniach technicznych, związanych z analizą i automatycznym rozpoznawaniem mowy w oparciu o artykulacyjną klasyfikację głosek oraz z konfiguracyjną syntezą mowy. Dodatkowo badania modelowe narządu mowy mają szczególne znaczenie przy rozwijaniu akustycznych metod diagnostycznych w laryngologii i foniatryi. Szczególnie przydatne są w czasie obserwacji i dokumentacji procesu rehabilitacji osób po przebytych operacjach narządu mowy. Wymaga ona bowiem ciągłego porównywania bieżącego stanu pacjenta z przewidywanym stanem możliwym przy jego strukturze anatomicznej.



W Pracowni Akustyki Mowy opracowano symulacyjny model kanału głosowego działający na minikomputerze MERA 400. W ten sposób uzyskano narzędzie badawcze do realizacji badań modelowych nad tym układem biologicznym [7], [8], [9]. W oparciu o nie wyznaczono przekroje artykulacyjne sześciu polskich samogłosek, obliczono odpowiadające im częstotliwości formantowe i szerokości pasm formantowych. Opracowano sposób zamodelowania miejsca rozgałęzienia toru gardłowo-ustnego i nosowego. Ponadto przebadano jakie zmiany w strukturze formantowej wymawianych głosek może spowodować wymuszona nazalizacja, która ma miejsce w przypadku rozszczepu podniebienia miękkiego. Przy tej okazji wyznaczono przekroje artykulacyjne odpowiadające polskiemu spółgłoskom nosowym.

W celu zwiększenia zakresu praktycznych zastosowań badań modelowych toru głosowego zdecydowano się na realizację modelu narządu mowy na prostym, ogólnie dostępnym mikrokomputerze. Do realizacji wybrano mikrokomputer ZX Spectrum firmy Sinclair ze względu na popularność tego modelu w Polsce oraz stosunkowo niską cenę.

## 2. Akustyczna struktura modelu i jej odwzorowania w układzie zastępczym.

Modelowanie toru głosowego, jako układu biologicznego, polega na odwzorowaniu w fizycznych układach zastępczych jego struktury anatomicznej, zwłaszcza konfiguracji geometrycznej w trakcie artykulacji dźwięków mowy.

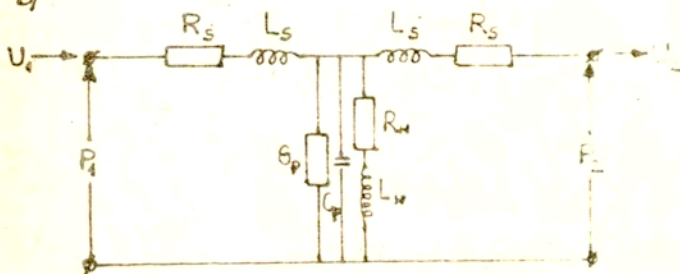
Utworzenie modelu symulacyjnego sprowadza się do opracowania

modelu analogowego o założonej geometrii toru nosowego i ust-  
nego oraz przedstawieniu ich w postaci sieci elementarnych  
układów fizycznych. Układy te w omawianym przypadku reprezento-  
wane są przez rury cylindryczne o długości  $l$  i odpowiadają ele-  
mentarnemu segmentowi toru o tej samej długości. Fant [1], [2]

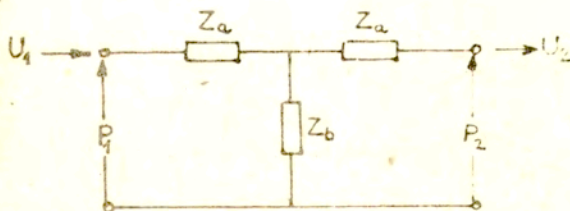
a)



b)



c)



Rys.1 Rura cylindryczna o długości  $l$  i przekroju poprzecznym  $A$ , reprezentująca elementarny segment toru głosowego /a/ oraz jej czwórnikowe schematy zastępcze /b/ i /c/.  
 $P$  - ciśnienie akustyczne,  $U$  - prędkość objętościowa.

oraz Kacprowski [3], [4], [5].

W tym przypadku układem zastępczym jednorodnej rury cylindrycznej o długości  $l$  i przekroju  $A$  jest symetryczny czwórnik typu T, opisany przez parametry akustyczne  $L_s$ ,  $R_s$ ,  $C_p$ ,  $G_p$ ,  $R_w$  i  $L_w$ .

$$(1) \quad L_s = \frac{\rho \cdot l}{2 A}$$

- masa akustyczna

$$(2) \quad C_p = \frac{A \cdot l}{\rho \cdot c^2}$$

- podatność akustyczna

$$(3) \quad R_s = \frac{l \cdot S \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot \omega}}{2 \sqrt{2} A^2}$$

- akustyczna rezystancja strat

$$(4) \quad G_p = \frac{(\gamma - 1) \cdot l \cdot S}{\rho c^2} \sqrt{\frac{\lambda \cdot \omega}{2 \cdot \xi \cdot S}}$$

- akustyczna konduktancja strat wskutek przewodnictwa cieplnego.

Symbole literowe, użyte w wyrażeniach (1) + (4) i stosowane do obliczeń, mają następujące znaczenia fizyczne i wartości liczbowe:

$\rho$  - 1.14 [kg·m<sup>-3</sup>] - gęstość powietrza

$\mu$  - 1.86 10<sup>5</sup> [N·s·m<sup>-2</sup>] - współczynnik lepkości powietrza,

$c$  - 350 [m·s<sup>-1</sup>] - prędkość fali dźwiękowej w wilgotnym powietrzu o temperaturze 37°C,

$\gamma$  - 1.4 stała adiabatyka powietrza,

$\lambda$  - 2.3 10<sup>2</sup> [J·deg<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>] współczynnik przewodności cieplnej powietrza,

$\xi$  - 10<sup>3</sup> [J·kg<sup>-1</sup>·deg<sup>-1</sup>] - ciepło właściwe powietrza

Parametry  $R_w$  i  $L_w$  określają własności stratnościowe ścian toru głosowego, które nie są idealne sztywne, lecz posiadają skończoną impedancję powierzchniową o charakterze bezwładnościowym. Stosując wprowadzone oznaczenia wyznaczono impedancję  $Z_s$  wzdłużnych ramion oraz admitancję  $Y_b = 1/Z_b$  ramienia poprzecznego



czwórnika T jako:

$$(5) \quad Z_a = R_s + j\omega L_s$$

$$(6) \quad Y_b = \frac{1}{Z_b} = G_p + j\omega C_p + 1/(R_w + j\omega L_w)$$

Analogowym modelem toru głosowego jest zatem układ utworzony z konkatencji n takich czwórników, z których każdy opisany został przez macierz łańcuchową  $A_i$ ,  $i=1,2,3,\dots,n$  postaci:

$$(7) \quad A_i = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_a}{Z_b} & 2Z_a + \frac{Z_a^2}{Z_b} \\ \frac{1}{Z_b} & 1 + \frac{Z_a}{Z_b} \end{bmatrix}$$

Macierz łańcuchowa całkowitego układu jest iloczynem n macierzy  $A_i$ .

$$(8) \quad A_i = \prod_{i=1}^n = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

Sposoby opisanie i uwzględniania impedancji głośni, impedancji promieniowania ust i nosa oraz metody potraktowania impedancji ścian zostały dokładnie opisane we wcześniejszych pracach [1], [2], [3].

Opracowany model symulacyjny służy do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych /widmowych/ ciśnienia akustycznego u wylotu ust oraz nosa przy zadanych konfiguracjach artykulatoryjnych torów. Zagadnienie tak pojętego modelowania statycznego w domenie częstotliwości sprowadza się do obliczenia funkcji transmitancji  $T(f)$ , wyrażonej stosunkiem prędkości objętości-

wych  $U_2/U_1$ , ze wzoru:

$$(9) \quad T = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{A_{22} + A_{21}Z_0}$$

w którym  $A_{21}$ ,  $A_{22}$  są elementami macierzy łańcuchowej  $A_1$ ,  $Z_0$  natomiast impedancją promieniowania otworów /ust lub nosa/.

Spektralną funkcję ciśnienia akustycznego  $P_2(f)$  wyznaczono z zależności:

$$(10) \quad P_2(f) = U_2(f) \cdot Z_0(f) = U_1(f) \cdot T(f) \cdot Z_0(f)$$

Wartości ciśnienia akustycznego  $P_2(f)$  dogodnie było przedstawiać w jednostkach względnych, odnosząc je do wartości ciśnienia przy częstotliwości  $f=100$  Hz oznaczanej jako  $P(100)$ . Ostatecznie względne wartości ciśnienia akustycznego w otworze ust / lub nosa / dla częstotliwości bieżącej  $f$ , oznaczone przez  $P(f)$  określa zależność:

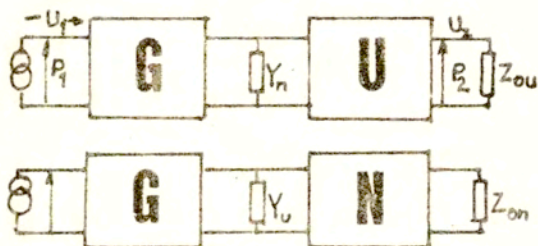
$$(11) \quad P(f) = \frac{U_1(f)}{U_1(100)} \cdot \frac{Z_0(f)}{Z_0(100)} \cdot \frac{T(f)}{T(100)}$$

Stosunek  $U(f)/U(100) = k$ , zależy jedynie od przyjętego kształtu charakterystyki częstotliwościowej źródła i jest określony stromością, która w przyjętych trójkątnych impulsach krtaniowych jest równa -12 dB/oktawę. Stosunek  $Z(f)/Z(100)$  wyraża charakterystykę częstotliwościową impedancji promieniowania ust lub nosa.

W przypadku udziału toru gardłowo-ustnego i nosowego jednocześnie, obliczanie widma sygnału akustycznego u wylotu torów polega na obliczaniu wartości ciśnienia akustycznego  $P_2$  na wyjściu torów w dwu przypadkach: (a) z włączoną w punkcie rozgałęzienia admitancją wejściową  $Y_n$  toru nosowego, bocznikującego tor gardłowo-ustny (G+U) rys.2a oraz (b) z włączoną w



punkcie rozgałęzienia admitancją wejściową  $Y_u$  toru ustnego boczniującego tor gardłowo-nosowy (G+N) rys. 2b, a następnie na wektorowym sumowaniu sygnałów wyjściowych obu torów na zasadzie superpozycji ciśnień akustycznych fal głosowych emitowanych przez otwory ust i nosa.



Rys.2 Uproszczone schematy zastępcze toru gardłowo-ustnego (G+U) z uwzględnieniem admitancji wejściowej toru nosowego oraz toru gardłowo-nosowego (G+N) z uwzględnieniem admitancji wejściowej toru ustnego.

### 3. Realizacja mikrokomputerowego modelu kanału głosowego.

#### Założenia wstępne.

Do realizacji wybrano język BASIC ZX Spectrum ze względu na konieczną w tym przypadku dużą precyzję obliczeń. BASIC zapewnia prowadzenie obliczeń z dokładnością do dziewięciu cyfr znaczących w zakresie od  $10E-63$  do  $10E38$ . Żaden inny język dostępny na tym komputerze nie daje tak wysokiej precyzji, np. w Pascalu /firmy Hisoft/ jest siedem cyfr znaczących. Dla porównania można podać, że dokładność obliczeń na minikomputerze

MERA 400 w języku fortran, w którym realizowana była poprzednia wersja modelu symulacyjnego wynosiła 14 cyfr znaczących. Wstępne analizy wykazały, że mniejsza w stosunku do MERY 400 precyzja obliczeń ZX Spectrum jest wystarczająca do przybliżonego modelu układu biologicznego. Pełna weryfikacja tego wniosku będzie możliwa dopiero po przeprowadzeniu kolejnych symulacji dla różnorodnych ukształtowań torów.

Istotną zaletą wybranego języka jest łatwość uruchamiania i testowania programu przy użyciu interpretera języka BASIC. Pozwala on na:

- wykonywanie poszczególnych instrukcji lub podprogramów niezależnie od reszty programu,
- uruchamianie programu krokowo, tzn. instrukcja po instrukcji,
- przerywanie wykonywania programu i drukowanie wartości bieżących zmiennych,
- zmienianie wartości zmiennych i wznowianie wykonywania programu.

Edytor BASICa sprawdza poprawność instrukcji w czasie wprowadzania instrukcji do pamięci i sygnalizuje błędy w składni języka, interpreter natomiast precyzyjnie wykrywa i lokalizuje błędy powstałe w czasie działania programu.

Komunikacja z użytkownikiem przebiega interakcyjnie, tzn. na zasadzie dialogu. Użytkownik odpowiada na pytania zadawane przez komputer, komputer natomiast sprawdza poprawność odpowiedzi, np. wprowadzanych danych i w przypadku wykrytego błędu informuje o nim użytkownika po czym ponawia pytanie.

Duże możliwości graficzne tego języka pozwalają na atrakcyjną formę prezentacji wyników. ZX Spectrum posiada kolorową grafi-

kę o rozdzielczości 175 wierszy po 255 punktów / lub 24 wiersze po 40 znaków/. Język BASIC rozszerzony został o instrukcje graficzne, np. rysowania linii, punktu i okręgu.

Realizacja omawianego problemu wymaga wykonywania szeregu obliczeń w dziedzinie liczb zespolonych. Język BASIC / w odróżnieniu od Fortranu na MERE 400 / nie posiada arytmetyki liczb zespolonych. Żaden z dostępnych na ZX Spectrum języków programowania nie zapewnia tego. Uwaga ta dotyczy także innych mikrokomputerów za wyjątkiem języka Fortran 77 działającego na komputerach pracujących pod kontrolą systemu operacyjnego CP/M lub MS DOS, np. IBM PC. W opracowanym programie liczby zespolone reprezentowane są w programie symulatora przez parę liczb rzeczywistych. Powoduje to jednak znaczne skomplikowanie obliczeń. Dla przykładu mnożenie macierzy o elementach zespolonych w Fortranie zapisywano w postaci:

$$SD(1)=SA(1)*SB(1)+SA(2)*SB(3)$$

$$SD(2)=SA(1)*SB(2)+SA(2)*SB(4)$$

$$SD(3)=SA(3)*SB(1)+SA(4)*SB(3)$$

$$SD(4)=SA(3)*SB(2)+SA(4)*SB(4)$$

Natomiast obliczenie elementów wynikowej macierzy łańcuchowej A, uzyskane poprzez wymnożenie macierzy reprezentujące kolejne segmenty toru o elementach zespolonych wymaga napisania w BASICu następującego podprogramu:



```
200 rem mnozenie macierzy
220 rem c=a*b proc.smult(191-203)
230 c(1,1)=a(1,1)*b(1,1)-a(1,2)*b(1,2)+a(2,1)*b(3,1)-a(2,2)*b(3,2)
240 c(1,2)=a(1,1)*b(1,2)+a(1,2)*b(1,1)+a(2,1)*b(3,2)+a(2,2)*b(3,1)
250 c(2,1)=a(1,1)*b(2,1)-a(1,2)*b(2,2)+a(2,1)*b(4,1)-a(2,2)*b(4,2)
260 c(2,2)=a(1,1)*b(2,2)+a(1,2)*b(2,1)+a(2,1)*b(4,2)+a(2,2)*b(4,1)
270 c(3,1)=a(3,1)*b(1,1)-a(3,2)*b(1,2)+a(4,1)*b(3,1)-a(4,2)*b(3,2)
280 c(3,2)=a(3,1)*b(1,2)+a(3,2)*b(1,1)+a(4,1)*b(3,2)+a(4,2)*b(3,1)
290 c(4,1)=a(3,1)*b(2,1)-a(3,2)*b(2,2)+a(4,1)*b(4,1)-a(4,2)*b(4,2)
300 c(4,2)=a(3,1)*b(2,2)+a(3,2)*b(2,1)+a(4,1)*b(4,2)+a(4,2)*b(4,1)
310 return
```

Utrudnieniem w procesie modelowania w języku BASIC jest jego ubogość, w szczególności brak procedur z parametrami oraz zmiennych lokalnych / w języku Fortran takie konstrukcje występują/. Parametry do podprogramów są przekazywane za pomocą zmiennych języka BASIC. Natomiast lokalność zmiennych realizuje się w ten sposób, że wybrane zmienne nie mogą przechowywać wyników obliczeń, mogą być używane jedynie w czasie ich wykonywania we wszystkich miejscach programu. Pozostałe zmienne, które przechowują wartości wykorzystywane wielokrotnie w programie np. impedancja wejściowa toru, impedancja promieniowania otworów ust lub nosa, impedancja głośni etc. mogą być zmieniane tylko w określonych miejscach programu. Konieczne jest prowadzenie specyfikacji zmiennych i instrukcji. Specyfikacja taka zawiera informacje takie, jak: które zmienne reprezentują wartości określonych parametrów, a które są lokalnymi, oraz w których instrukcjach rozpoczynają się podprogramy, a także które zmienne są używane do przekazywania parametrów oraz wartości obliczonych funkcji.

Wadą jest także powolność działania programu, która wynika z małej mocy obliczeniowej komputera oraz zastosowania inter-

pretera. Planuje się przetłumaczenie uruchomionego programu i przetestowanie go za pomocą translatora języka BASIC Blast firmy OCCP. Wstępne próby pozwalają ocenić, że czas potrzebny do wykonania pojedynczej symulacji skróci się sześciokrotnie.

#### Algorytm

Realizację modelu toru głosowego można podzielić na kilka etapów:

a / Wprowadzanie danych wejściowych: danych opisujących geometrię torów, gardłowo-ustnego i nosowego, w postaci liczby opisującej promień kolejnych segmentów toru. Długość pojedynczego segmentu przyjęto stałą, równą 1 cm. Wybór ten wynika z wcześniejszych analiz dotyczących opisu układu za pomocą stałych skupionych.

Zapewniono możliwość korekcy danych wejściowych i kontynuowania eksperymentu. Wprowadzenie danych odbywa się na zasadzie dialogu użytkownika z komputerem.

CZY NOWA KONFIGURACJA (T/N)? T

KANAŁ USTNY

LICZBA SEGMENTÓW? 5

1? 12

2? 13

3? 14

4? 15

5? 16

ROZGAŁĘBIENIE PO NUMERZE? 3

LICZBA SEGMENTÓW? 3

NUMER PROMIEN

1? 12

2? 13

3? 14

CZY ZMIANY KONFIGURACJI (T/N)? N

CZESTOTLIWOŚĆ

CZESTOTLIWOŚĆ F0? 100

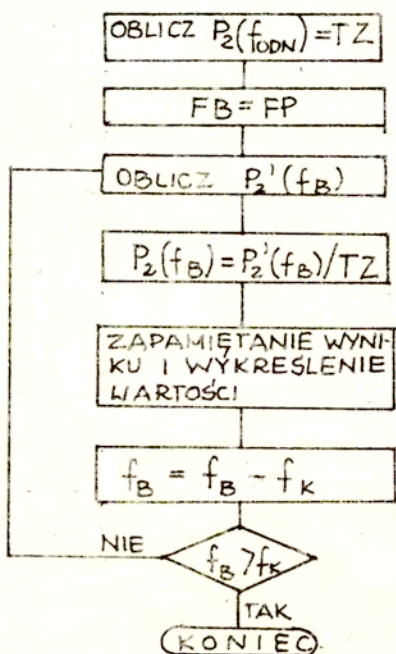
CZESTOTLIWOŚĆ POCZĄTKOWA? 50

CZESTOTLIWOŚĆ KONCOWA? 700

SKOK? 10

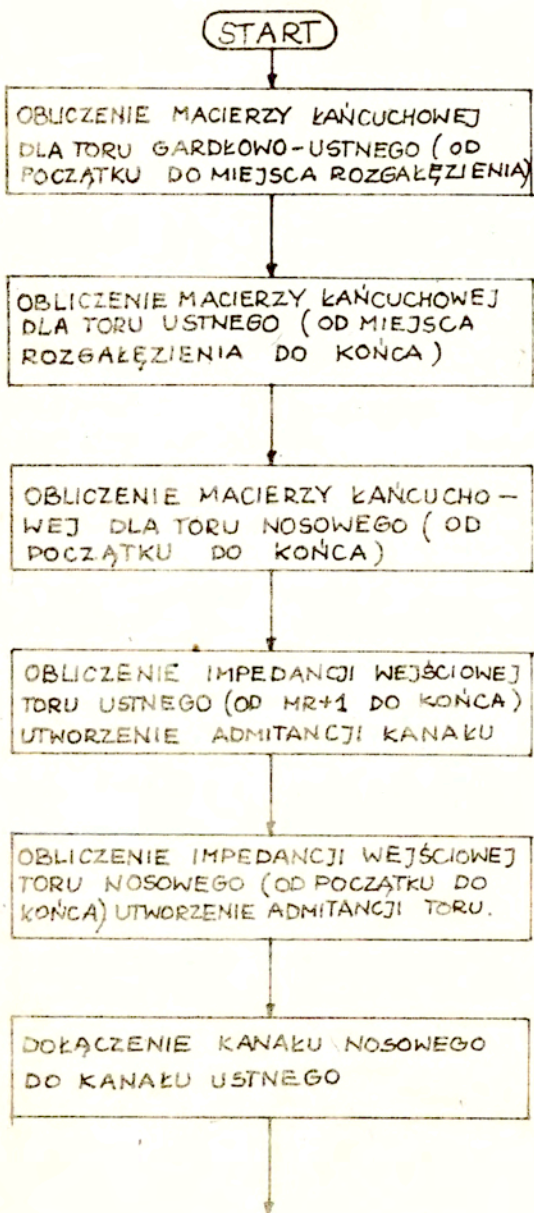
O.K. (T)? T

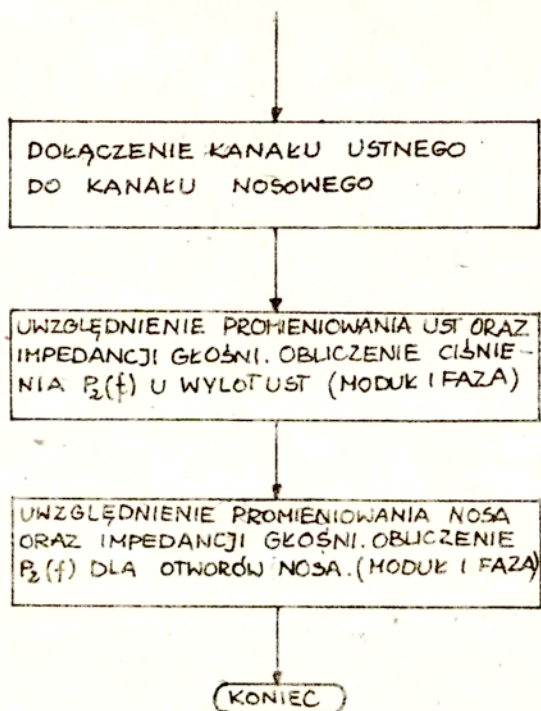
b/ Obliczenie ciśnienia akustycznego w postaci zespolonej u wylotu ust lub nosa. Modelowanie procesu przebiega według algorytmu przedstawionego w punkcie c, dla kolejnych częstotliwości pobudzenia kanału, począwszy od częstotliwości początkowej FP do końcowej FK z określonym skokiem FD. Wyniki są normowane względem ciśnienia akustycznego obliczonego dla częstotliwości odniesienia FO. Obliczaniu kolejnych wartości ciśnienia akustycznego P dla częstotliwości bieżącej towarzyszy aktualizacja widma. Daje to możliwość wstępnej oceny wyników przed zakończeniem symulacji.



Rys.3 Algorytm obliczania wartości ciśnienia akustycznego  $P_2$  -  
/  $f_{odn}$  - częstotliwość względem której dokonujemy normowania,  $f_B$  - częstotliwość bieżąca,  $f_p$  - częst. początk.

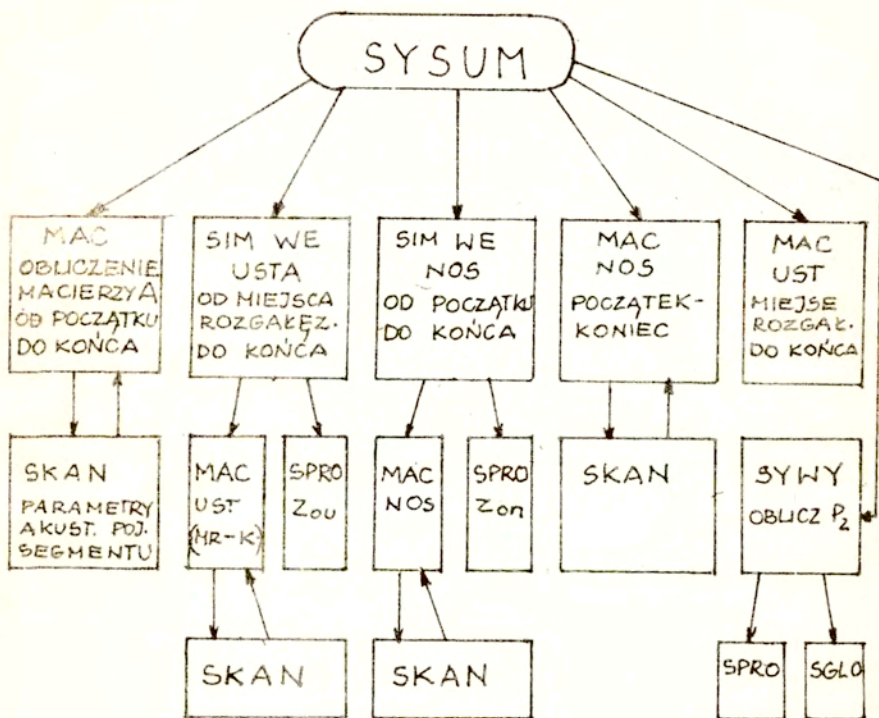






Rys.4 Algorytm działania programu modelującego narząd mowy.

c/ Wartość ciśnienia akustycznego  $P_2(f)$  kanału głosowego pobudzonego impulsem o określonej częstotliwości jest obliczana wg. algorytmu podanego w pracy [1]. Algorytm wyznaczania ciśnienia akustycznego u wylotu ust lub nosa / lub ciśnienia sumarycznego/ w postaci schematu blokowego zamieszczono na rys. 4. Ponadto na rys.5 pokazano schemat funkcjonowania programu, sposób komunikowania się procedur. Program został bowiem podzielony na procedury realizujące poszczególne funkcje. Parametry między procedurami są przekazywane



Rys. 5 Schemat funkcjonowania programu realizującego model toru głosowego.

za pomocą zmiennych Basicowych. Dzięki takiemu podejściu zwiększa się przejrzystość i czytelność programu. Ponadto powoduje to łatwiejsze uruchamianie programu, ponieważ kolejne procedury mogą być uruchamiane oddzielnie.

Objaśnienie procedur występujących w programie:

SGLO - obliczanie impedancji głośni,

SPRO - obliczanie impedancji promieniowania ust i nosa,

SKAN - obliczanie parametrów czwórnika typu T, który reprezen-



tuje pojedynczy segment toru /  $R_s, L_s, C_p, G_p$  /.

MAC - obliczanie macierzy łańcuchowej poszczególnych odcinków toru, oddzielnie ustnego i nosowego,

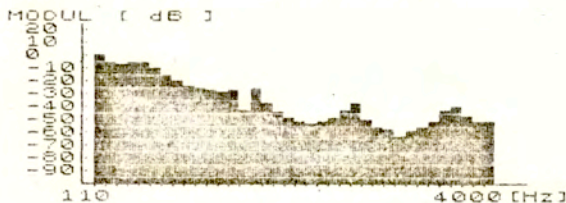
SIMWE - obliczanie impedancji wejściowej w określonych punktach toru, ustnego lub nosowego. / MR - miejsce rozgałęzienia torów/,

SYWY - obliczanie ciśnienia akustycznego,

SYSUM - obliczanie modułu i fazy ciśnienia akustycznego u wylotu ust i nosa

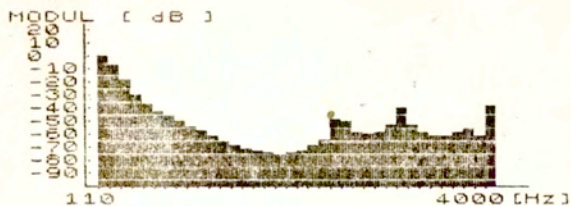
#### d/ Prezentacja wyników.

W czasie działania modelu wykreślane są na ekranie monitora kolejne wartości modułu i fazy ciśnienia akustycznego u wylotu toru ustnego i nosowego dla częstotliwości bieżącej. Po zakończeniu symulacji możliwe jest powtórne wykreślenie obliczonych wartości dla toru nosowego, ustnego lub ich sumy. Przykładowo przedstawiono wykresy modułu i fazy ciśnienia akustycznego u wylotu ust odpowiadające następującym głoskom: [ɜ], [i], [ɛ], [e], [a], [o], [u].

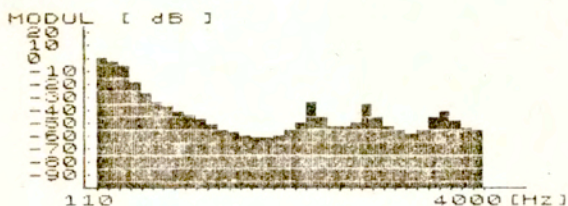


Rys.6 Przebieg modułu ciśnienia akustycznego dla [ɜ] w liniowej skali częstotliwości.

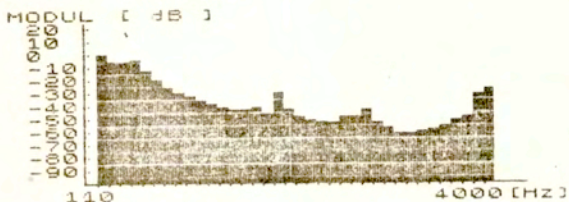
Wartość 110 Hz określa częstotliwość początkową FP a 4000Hz końcową FK, ze skokiem we wszystkich przypadkach 110 Hz.



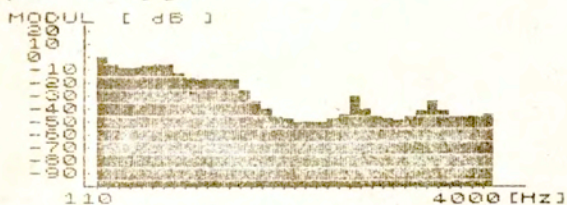
Rys.7 Przebieg ciśnienia akustycznego u wylotu ust odpowiadający samogłosce [i].



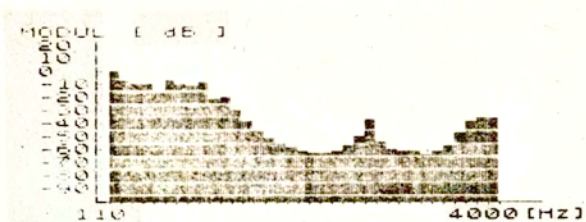
Rys.8 Przebieg modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski [ɛ].



Rys.9 Przebieg modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski [e].



Rys.10. Przebieg modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski [a].



Rys. 11 Przebieg modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski o



Rys. 12 Przebieg modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust dla samogłoski u



#### 4. Uwagi końcowe.

- a. Założony cel pracy polegający na realizacji mikrokomputerowego modelu generacji sygnału mowy będzie realizowany etapowo. Przedstawiona praca stanowi etap wstępny do całości problemu. Dokładność odwzorowania modelu z układem rzeczywistym zostanie oszacowana w toku dalszej pracy. Obecne wstępne analizy pozwoliły tą aproksymację przyjąć za zadowalającą.
- b. W fazie uruchamiania programu przyjęto metodę porównywania wyników końcowych i pośrednich obliczeń z wzorcem otrzymanym na podstawie obliczeń modelu działającego na minikomputerze MERA 400.
- c. Stosunkowo nieduża zajętość pamięci pozwala na:
  - pełne zakończenie procesu modelowania narządu mowy,
  - przyspieszenie działania programu przez zastosowanie translatora,
  - wygenerowanie sygnału wyjściowego,
  - stosunkowo łatwe przenoszenie oprogramowania na inne komputery, ze względu na przejrzystość programu.

Pracę wykonano w ramach problemu GPBP 0203 : Akustyka w technice, medycynie i kulturze.

Literatura.

1. Fant G. 1960 - Acoustic theory of speech production. Mouton and Co., s. Gravenhage.
2. Fant G., Wakita H. 1978 - Toward a better vocal tract model. STL - QPSR, 1, 9-29.
3. Kacprowski J. 1976 - Akustyczne badania modelowe rozszczepu podniebienia. Archiwum Akustyki, 11,2,167-187
4. Kacprowski J. 1977 - Fizyczne modele źródła krtaniowego. Archiwum Akustyki, 12, 1, 47-70.
5. Kacprowski J. 1977 - Model symulacyjny kanału głosowego z uwzględnieniem zjawiska nazalizacji. Archiwum Akustyki 12, 4, 281-302.
6. Kuryłowicz K., Madej D., Marasek K., 1986 - Przewodnik po ZX Spectrum. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa 1986.
7. Nowakowska W. 1983 - Model symulacyjny toru gardłowo-ustnego. Prace IPPT, nr.41.
8. Nowakowska W. 1984 - Wstępne badania modelowe wpływu zjawiska nazalizacji na strukturę widmową samogłosek. Prace IPPT, nr.39.
9. Nowakowska W. 1985 - Badania wpływu nazalizacji na strukturę widmową samogłosek i spółgłosek polskich. Prace IPPT ,nr.46.

### Streszczenie.

Opracowany mikrokomputerowy model narządu mowy jest kontynuacją wcześniejszych prac z tego zakresu. [1], [2], [3]. Narzędzie badawcze do realizacji badań modelowych opracowane na mikrokomputerze typu ZX SPECTRUM firmy Sinclair czy COMMODORE 64 znacznie poszerza zakres jego zastosowań ze względu na dostępność. Wstępne analizy wykazały, że dokładność odwzorowania jest wystarczająca. W pracy przedstawiono przebiegi modułu ciśnienia akustycznego u wylotu ust odpowiadające sześciu polskim samogłoskom uzyskane na ZX Spectrum firmy Sinclair.