ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: AUTOMATYKA z. 93 Nr kol. 969

Ewaryst TKACZ

URZĄDZENIE DO AUDIOMETRII PROGOWEJ U NIEMOWLĄT

Streszczenie. Artykuł dotyczy opisu konstrukcji urządzenia do audiometrii progowej u niemowląt. Zaprezentowano podstawowe możliwości badawcze urządzenia, jak również rozwiązania układowe poszczególnych bloków funkcjonalnych wchodzących w jego skład. Przedstawiono ponadto szczegółową analizę układu pomiaru mocy wyjściowej.

Wstęp

Diagnostyka jest tą częścią medycyny, bez której niemożliwe staje się zastosowanie jakichkolwiek przedsięwzięć leczniczych. Niepodważalne wydaje się być również podstawowe prawo, że schorzenie dowolnego rodzaju w porę i właściwie zdiagnozowane jest w przeważającej większości przypadków uleczalne. Powyższe stwierdzenie jest niewątpliwie wystarczającym bodźcem do działalności w zakresie uzyskania jak najszybszego postępu w badaniach diagnostycznych. Otwiera się tym sposobem pole do działania nie tylko dla lekarzy, ale również dla inżynierów zajmujących się techniką medyczną. Działalność inżynierska w tym zakresie wiąże się ściśle z postępami elektroniki coraz szerzej wkraczającej w różne dziedziny życia. Stosowane od lat w badaniach słuchu audiometry, dzięki tym właśnie postępom, są coraz bardziej unowocześniane, wyposażane w coraz szersze możliwości badawcze. Istnieje jednak grupa badań audiomedycznych dotyczących małych dzieci, w której niemożliwe wydaje się być zastosowanie klasycznych metod badawczych ze względu na utrudnienie w komunikacji pomiędzy lekarzem badającym a pacjentem. W Instytucie Aparatury i Aut matyki Medycznej powstał prototyp urządzenia do audiometrii progowej u niemowląt, które pozwala na wyeliminowanie wspomnianych wyżej trudności.

Możliwości badawcze

W konstrukcji urządzenia przewidziano kilka możliwości badawczych polegających na drażnieniu słuchu pacjenta bodźcami różnego rodzaju.
Są one następujące:

drażnienie słuchu tonem czystym o regulowanym natężeniu i czterech skokowo przełączanych częstotliwościach: 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz,

- drażnienie słuchu szumem białym o regulowanym natężeniu,
- drażnienie słuchu o regulowanym natężeniu odfiltrowanym z szumu białego za pomocą filtrów o częstotliwościach środkowych: 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz i pasmach przepuszczania f_i = 100 Hz,
- drażnienie słuchu szumem białym o regulowanym natężeniu odfiltrowanym oktawowo w czterech oktawach:
  440 Hz - 880 Hz,
  880 Hz - 1760 Hz,
  1760 Hz - 3529 Hz,
  3520 Hz - 7040 Hz.

Możliwości badawcze ilustruje schemat blokowy całego urządzenia (rys. 1).

Metoda wykonywania badań

Ze względu na wspomniane wcześniej trudności w komunikowaniu się lekarza badającego z małym pacjentem metoda badania polega na obserwacji bądź rejestracji reakcji pacjenta na działający nań bodziec podrażniający słuch. Badanie polega na realizacji kilku cykli pomiarowych, w których za każdym razem, w zależności od potrzeb, wybrany zostaje inny rodzaj bodźca. Pacjenta ułożyć należy na specjalnym ruchomym stoliku pomiarowym. Włączenie urządzenia powoduje rozpoczęcie odmierzania czasu, jaki upłynie do rozpoczęcia badania. Czas ten przeznaczony jest na uspokojenie pacjenta tak, aby stolik pomiarowy nie poruszał się. Z chwilą upłynięcia tego czasu, rozpoczyna się cykl pomiarowy polegający na:

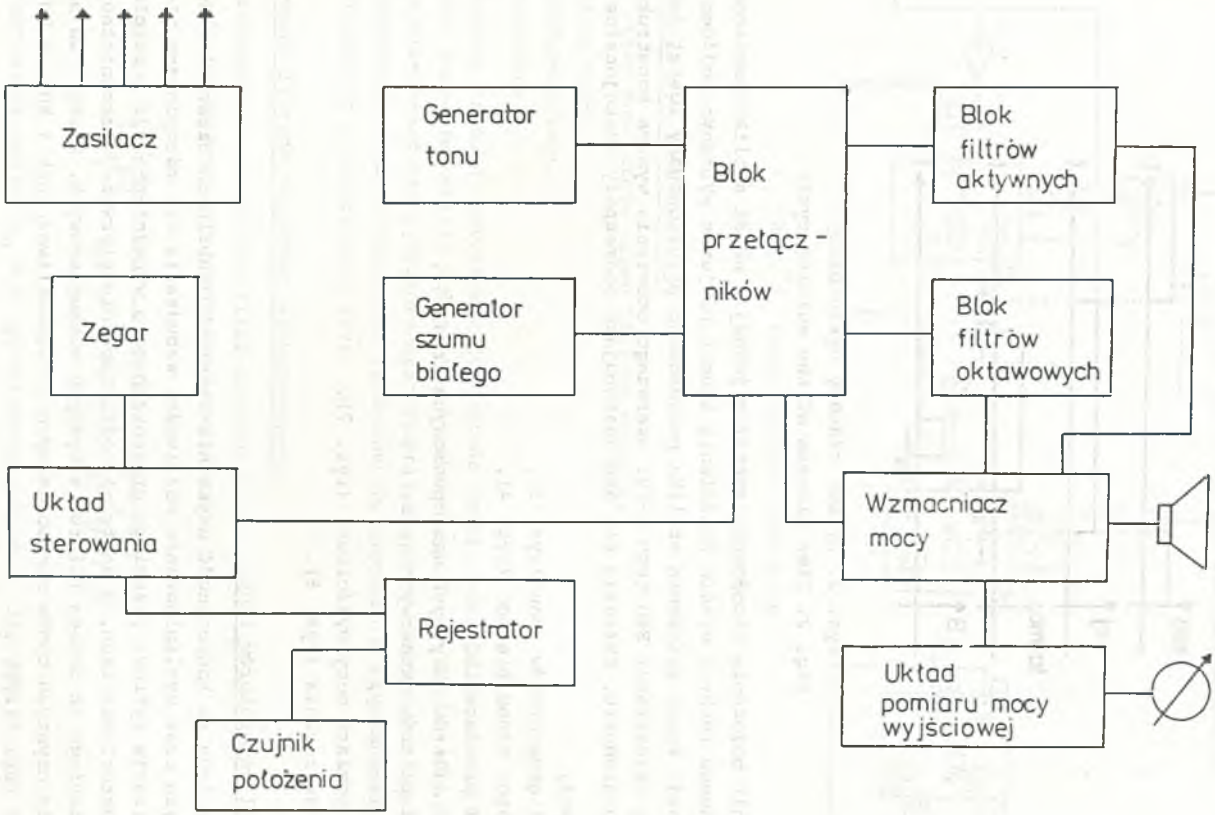
- włączeniu się rejestratora rejestrującego zmiany położenia stolika pomiarowego,
- włączenie się przesuwu taśmy rejestracyjnej,
- włączenie się wybranego wcześniej bodźca o regulowanym natężeniu i nastawionym czasie trwania,
- wyłączeniu się bodźca, przesuwu taśmy i rejestratora w odwrotnej kolejności,
- wystartowaniu kolejnego odmierzania czasu przeznaczonego na zmianę rodzaju bodźca, jego natężenia lub czasu trwania oraz uspokojenia pacjenta, tak aby stolik pomiarowy nie poruszał się.

Cykl pomiarowy można przedstawić na wykresie czasowym (rys. 2). Całością pracy urządzenia zarządza układ sterowania (rys. 8).

Budowa urządzenia

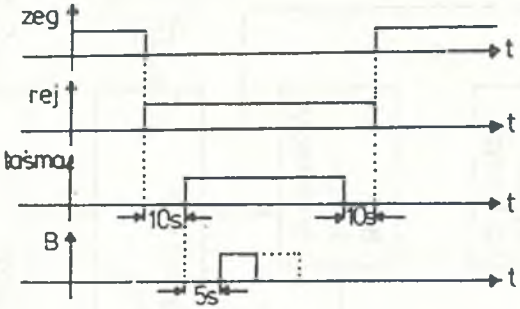
W skład urządzenia wchodzą:

- audiometr,
- stolik pomiarowy z fotooptycznym czujnikiem położenia,
- rejestrator.



Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia

Fig. 1. Diagram of the device



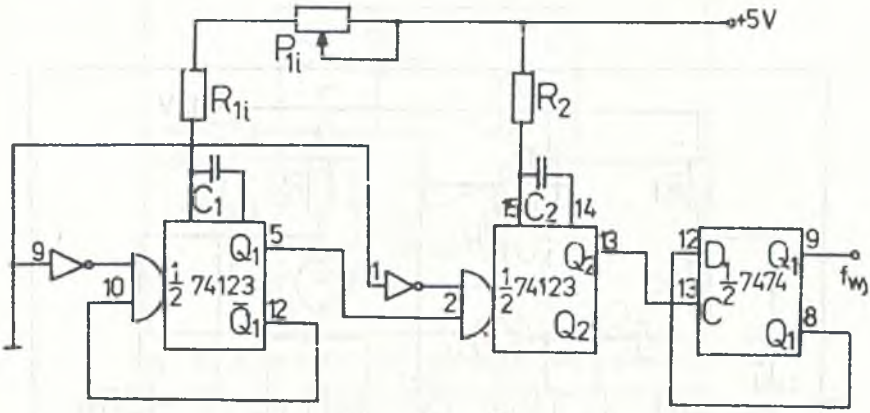
Rys. 2. Wykres czasowy cyklu pracy
Fig. 2. Time diagram of the working cycle

Czujnik położenia zamocowany został w jednej z nóżek stolika pomiarowego wykonującego ruchy w czasie drażnienia słuchu pacjenta wybranym bodźcem. Do rejestracji zmian położenia stolika pomiarowego przystosowany został jednokanałowy rejestrator EKG typu E-10. Szerszego omówienia wymaga konstrukcja samego audiometru. Składają się nań następujące podzespoły funkcjonalne:

- zasilacz,
- zespół generatorów tonu (rys. 3),
- generator szumu białego (rys. 4),
- zespół przełączników,
- zespół filtrów aktywnych wąskopasmowych (rys. 5),
- zespół filtrów oktawowych (rys. 6),
- wzmacniacz mocy,
- układ pomiaru mocy wyjściowej (rys. 7),
- układ sterowania (rys. 8).

1. Zespół generatorów tonu

Ze względu na konieczność uzyskania czterech stabilnych częstotliwości badawczych oraz wyeliminowanie możliwości wzbudzania się zdecydowano się na realizację cyfrową przebiegu prostokątnego o wypełnieniu 1/2 i założonych częstotliwościach, a następnie odfiltrowanie pierwszej harmonicznej tego przebiegu za pomocą filtrów aktywnych wąskopasmowych. Pozwala to na uzyskanie czystych tonów sinusoidalnych o częstotliwościach 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, (rys. 3).



Rys. 3. Zespół generatorów tonu
Fig. 3. Sound generator complex

2. Generator szumu białego

W skład generatora szumu białego wchodzą:

- źródło szumu,
- przedwzmacniacz,
- wzmacniacz.

Źródłem szumu w generatorze jest dioda Zenera pracująca w tak dobranym punkcie pracy (w pobliżu kolana na charakterystyce $I = f(U)$), aby do minimum wyeliminować szumy śrutowe oraz szumy małoczęstotliwościowe typu 1/f.

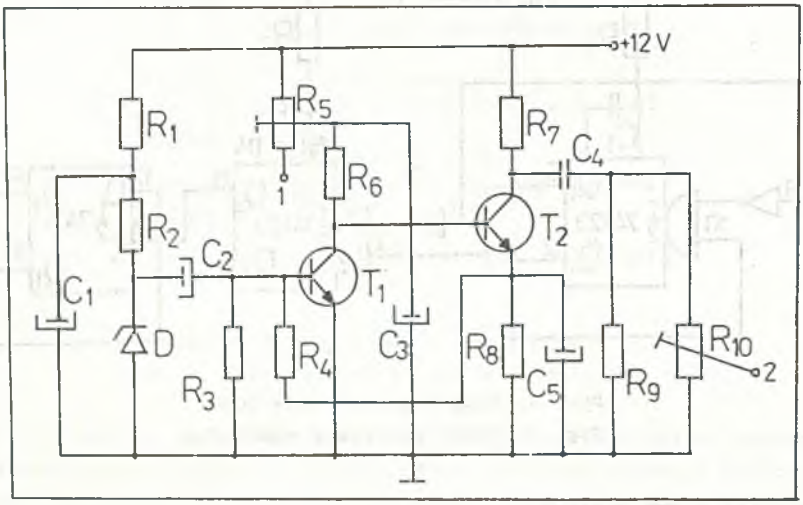
Przedwzmacniacz i wzmacniacz zbudowano na specjalnie selekcjonowanych niskoszumnych tranzystorach (rys. 4).

3. Zespół filtrów aktywnych wąskopasmowych

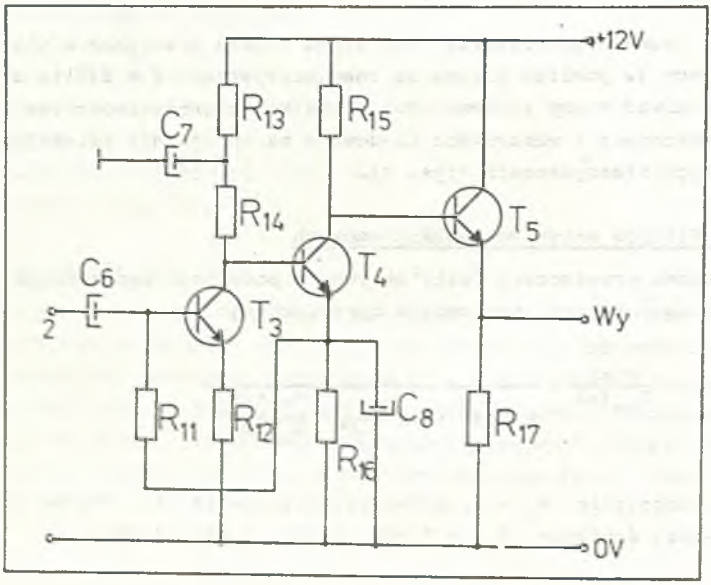
Zastosowano przełączany filtr aktywny z podwójnym sprzężeniem zwrotnym (rys. 5) o następującej transmisji operatorowej:

$$K_u(s) = \frac{U(s)}{U_{we}(s)} = \frac{s}{R_1C\left(s^2 + 2s\frac{1}{R_3C} + \frac{R_1 + R_2}{R_1R_2R_3}\right)}$$

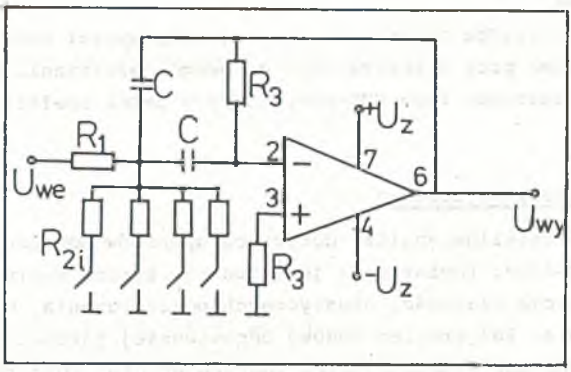
Przyjęto wzmocnienie $k_u = 2$, pasmo przepuszczania $f = 100$ Hz oraz cztery częstotliwości środkowe $f_{oi} = 1$ kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz.



Rys. 4a. Przedwzmacniacz ze źródła szumu
Fig. 4a. Preamplifier with the noise source



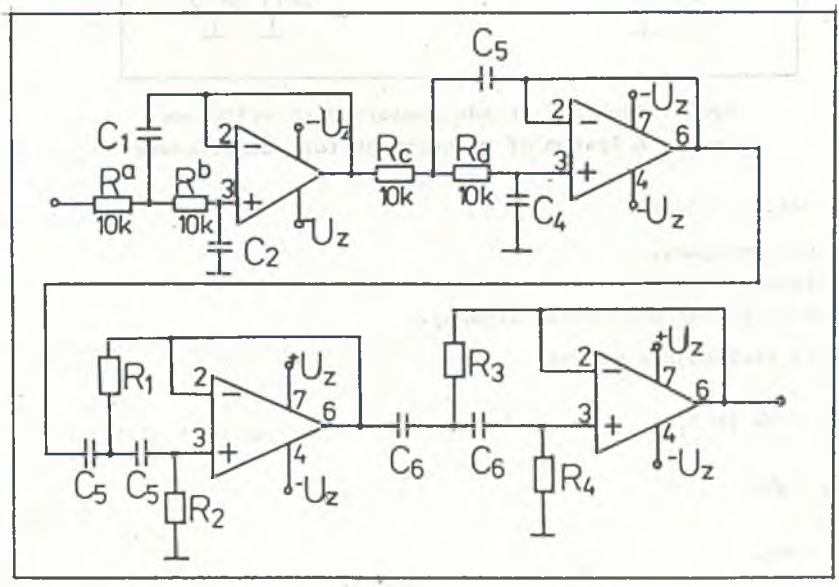
Rys. 4b. Wzmacniacz generatora szumu
Fig. 4b. Amplifier of the noise generator



Rys. 5. Zespół filtrów aktywnych wąskopasmowych
Fig. 5. Narrow bandwith active filters

4. Zespół filtrów oktawowych

Zespół filtrów oktawowych zbudowano na podstawie czterobiegunowego filtru Czebyszewa (rys. 6) składającego się z sekcji dolnoprzepustowej i górnoprzepustowej. Jest to, zdaniem autora, najbardziej odpowiednia konfiguracja ze względu na potrzebę uzyskania wysoce stromych charakterystyk w założonych pasmach oktawowych. Wzory do obliczania elementów biernych tego typu filtrów są szeroko opisane w literaturze, np. [3].



Rys. 6. Zespół filtrów oktawowych
Fig. 6. Octave filters

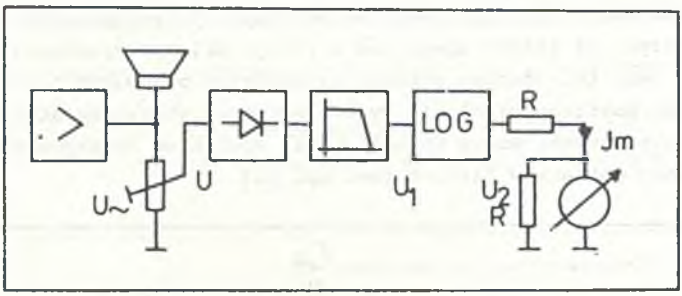
5. Wzmacniacz mocy

Uwzględniając potrzebę zawartości i małogabarytowości konstrukcji, wzmacniacz mocy zbudowano przy wykorzystaniu gotowego rozwiązania katalogowego dla wzmacniacza scalonego typu GML-026, który w pełni spełnia założone wymagania.

6. Układ pomiaru mocy wyjściowej

Przeprowadzono wnikliwą analizę dotyczącą sposobów pomiaru mocy akustycznej emitowanego bodźca. Pomiar taki jest funkcją bardzo wielu czynników, między innymi funkcją własności akustycznych pomieszczenia, w którym wykonywane byłyby badania. Zaś problem budowy odpowiedniej jakości sonometru jest problemem samym w sobie wykraczającym, zdaniem autora, poza ramy niniejszej konstrukcji. Z tego powodu zdecydowano się na wyposażenie audiometru w układ pomiaru elektrycznej mocy emitowanej z odczytem na mierniku wskazówkowym wyskalowanym w decybelach.

Schemat blokowy układu pomiaru mocy wyjściowej przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Schemat układu pomiaru mocy wyjściowej
Fig. 7. A system of measurement for output power

W skład układu wchodzą:

- układ uśredniający,
- układ logarytmujący,
- miernik wychyłowy magnetoelektryczny.

Słuszne są następujące wzory:

$$U_2 = -k \ln U_1 A \tag{1}$$

$$U_1 = \beta U \tag{2}$$

$$U = \alpha U_{\infty} \tag{3}$$

Oznaczmy przez:

γ - wychylenie miernika o zakresie 60 działek

$$\gamma = 60 \frac{I_m}{I_z} \tag{4}$$

$$I_m = \frac{U_2}{R} \tag{5}$$

gdzie:

I_m - prąd płynący przez ustrój miernika,

I_z - prąd powodujący maksymalne wychylenie miernika.

Łącząc wzory (1) do (5) otrzymujemy:

$$\gamma = \frac{60}{I_z R} = k \ln A\alpha\beta U_\sim \tag{6}$$

Przyjęto maksymalną moc emitowaną $P_{max} = 10$ W przy oporności biernej głośnika $R_g = 4\Omega$.

Stąd:

$$U_\sim = \sqrt{R_g P_{max}} = 6,3 \text{ V} \tag{7}$$

$$U_1 = U_\sim \frac{2}{\pi} = 4,03 \tag{8}$$

Łącząc wzory (7) i (8) otrzymamy:

$$\beta = 2,5$$

Załóżmy, że:

$$U_1 = 10 \text{ V} \mathrel{\hat{=}} U_\sim = 6,3 \text{ V} \mathrel{\hat{=}} P_{max} = 10 \text{ W}/4\Omega \tag{9}$$

Załóżmy ponadto dla wygody skalowania, że:

$$\frac{U_{1max}}{U_{imin}} = 1000 \mathrel{\hat{=}} 60 \text{ dB} \tag{10}$$

Wtedy jeśli:

$$U_{1max} = 10 \text{ V} \quad \text{to} \quad U_{imin} = 10 \text{ mV} \tag{11}$$

Niech również:

$$U_{1min} = 10\ mV \mathrel{\hat{=}} \gamma = 0 \tag{12}$$

$$U_{1max} = 10\ V \mathrel{\hat{=}} \gamma = 60 \text{ działek miernika} \tag{13}$$

oraz

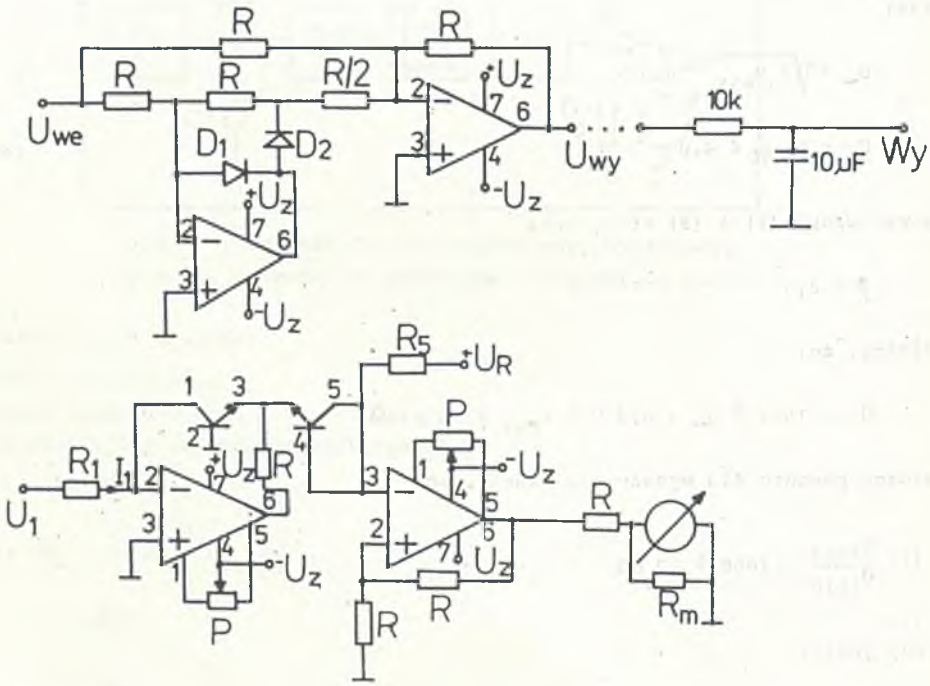
$$U_2 = -10\ V \quad \text{dla} \quad U_1 = 10\ V \tag{14}$$

$$U_2 = 0\ V \quad \text{dla} \quad U_1 = 10\ mV \tag{15}$$

Wtedy ze wzoru (1) otrzymamy:

$$-10\ V = -k \ln 10\ A \tag{16}$$

$$0\ V = -k \ln 10^{-2}\ A \tag{17}$$



Rys. 8. Układ uśredniający (a) i logarytmujący (b)
Fig. 8. Averaging (a) and logarithmic (b) systems

Z ostatnich dwóch równań otrzymamy:

$$A = 100 \tag{18}$$

$$k = 1,45 \tag{19}$$

Wartości te umożliwiają wyznaczenie elementów biernych układu, którego schemat ideowy przedstawiono na rys. 8.

7. Układ sterowania

Układ sterowania (rys. 9) zarządzający całością pracy audiometru zbudowany został w postaci cyfrowego automatu sekwencyjnego. Pełni on następujące funkcje:

- pomiar i wyświetlanie czasu, jaki pozostał do włączenia bodźca,
- włączanie i wyłączanie:
  - rejestratora,
  - przesuwu taśmy rejestracyjnej,
  - bodźca dźwiękowego o regulowanym czasie trwania.

Przewidziano 30-minutowy czas pomiędzy bodźcami dźwiękowymi z możliwością skrócenia go poprzez ręczne wyzwolenie cyklu w przypadku, kiedy uda się wcześniej wyeliminować ruchy stolika pomiarowego.

Uwagi końcowe

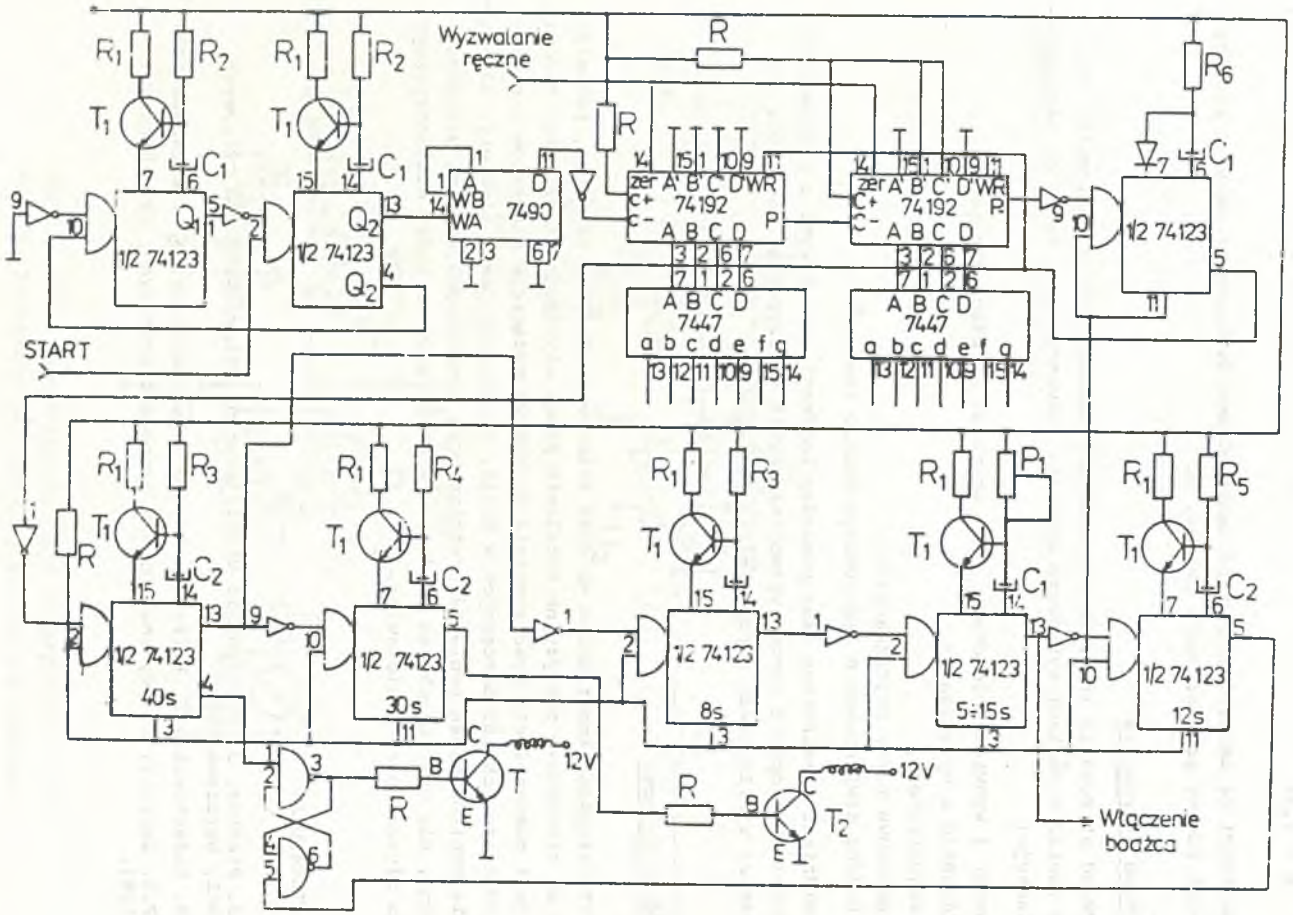
Przedstawiona konstrukcja ma dość znaczne możliwości badawcze, pozwalające na stosunkowo precyzyjne ustalenie progu słyszalności dziecka. Zaletą jej jest niewątpliwie wykorzystanie do budowy wyłącznie elementów i podzespołów krajowych lub dostępnych w kraju. Niemożliwe jest, niestety, udostępnienie wyników badań ponieważ prototyp poza niezbędnymi testami uruchomieniowymi, nie był dotychczas nigdzie wykorzystywany do badań diagnostycznych progu słyszalności u niemowląt.

LITERATURA

[1] J. Pieńkos, J. Turczyński: Układy scalone TTL w systemach cyfrowych, WKŁ, Warszawa 1980.

[2] M. Nadachowski, Z. Kulka: Analogowe układy scalone, WKŁ, Warszawa 1979.

[3] P.H. Garrett: Układy analogowe w systemach cyfrowych, WNT, Warszawa 1981.



Rys. 9. Schemat ideowy układu sterowania

Fig. 9. Concept scheme of the control system

[4] Próba zastosowania pasm oktawowych szumu białego do badań słuchu dzieci (nie publikowana).

Wpłynęło do Redakcji 24.10.85

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОРОГОВОЙ АУДИОМЕТРИИ НОВОРОЖДЁННЫХ

Р е з ю м е

Предлагаемая статья описывает конструкцию устройства для пороговой аудиометрии новорожденных.

Представлены основные исследовательские возможности устройства, а также схемные решения конструкции отдельных составных функциональных блоков. Дополнительно представлен подробный анализ упрощенной схемы для измерения выходной мощности.

A DEVICE FOR AUDIOMETRIC RESEARCH FOR SUCKLINGS

S u m m a r y

Paper refers to the construction of a device for audiometric research of sucklings.

The basic parameters and research possibilities are presented. Electronic circuits for particular functional block are also presented.

Paper contains a detailed description of output power measurement system.