

Andrzej LEBIEDZKI
Jarosław PIECHA

CYFROWO PRZESTRAJANY SELEKTYWNY WSKAŹNIK ZERA

Streszczenie. W artykule opisany został przestrajany cyfrowo co 1 kHz selektywny wskaźnik zera w zakresie częstotliwości 1 ± 20 kHz. We wskaźniku tym zastosowane zostały przestrajane cyfrowo filtry aktywne z przełączanymi pojemnościami.

1. WPROWADZENIE

Pomiary napięć przemiennych metodami kompensacyjnymi polegają na stwierdzeniu zerowej różnicy między wartościami chwilowymi mierzonego napięcia i napięcia wzorcowego. W układach mostkowych do wyznaczenia składowych impedancji stan równowagi mostka uzyskuje się, gdy na wskaźniku zera włączonym w przekątną pomiarową mostka otrzymamy zerową wartość napięcia lub prądu. Istnieje wiele odmian układów mostkowych prądu przemiennego różniących się liczbą ramion, sposobem połączenia elementów, przeznaczeniem i zakresem pomiarowym. Większość z nich wymaga stosowania selektyw-

DIGITALLY RETUNED SELECTIVE NULL INDICATOR

Summary. In the paper digitally retuned every 1kHz selective null indicator is described in frequency range 1 ± 20 kHz. In the indicator digitally retuned active filters with switched capacitors have been used.

1. INTRODUCTION

Alternating voltage measurements by means of compensating methods depend on finding the null difference between the actual values of measured voltage and standard voltage. In bridge systems in order to determine impedance components the bridge balance is obtained when the null voltage or current value is shown on the null indicator connected in the bridge diagonal. There are several modifications of alternating current bridge systems with different number of arms, ways of elements connections, different usage and measurement range. Majority of bridges require selective null indicators made for

nych wskaźników zera wykonanych dla konkretnego układu pomiarowego zasilanego napięciem przemiennym o stałej częstotliwości. Częstotliwość pracy takiego wskaźnika odpowiada pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego układ pomiarowy. W artykule opisany został selektywny wskaźnik zera przestrajany co 1 kHz w zakresie częstotliwości od 1 do 20 kHz. We wskaźniku zastosowane zostały scalone filtry aktywne z przełączanymi pojemnościami SC (switched-capacitor).

2. FILTRY AKTYWNE PRZESTRAJANE CYFROWO

Najczęściej regulację parametrów różnych typów filtrów aktywnych otrzymuje się przez zmianę wartości kondensatorów i rezystorów. Istnieje możliwość symulacji rezystancji za pomocą przełączanego kondensatora (SC). Zasadę tę przedstawiono na rys. 1. Jeżeli w układzie na rys.1 przełącznik K połączy przełączany kondensator do napięcia U , w kondensatorze zgromadzi się ładunek $Q = CU$. W drugim położeniu przełącznika K kondensator oddaje ten ładunek, a więc w każdym okresie przełączania przenoszony jest ładunek $Q = CU$ z wejścia układu do jego wyjścia. W ten sposób następuje przepływ prądu, którego wartość średnia wynosi:

$$I = U \cdot C_1 \cdot f_1, \quad (1)$$

Jeżeli zależność tę porównamy z prawem Ohma, możemy podać warunek równości między przełączanym kondensatorem SC a zwykłym rezystorem R:

the given measurement system supplied by alternating voltage with constant frequency. Null indicator frequency is the first harmonic of the measuring supply system. In the paper the selective null indicator retuned every 1 kHz has been described in the 1+20 kHz frequency range. Self integrated active filters with switched capacitors SC have been used there.

2. DIGITALLY RETUNED ACTIVE FILTERS

Parameters of different types of active filters are controlled by changing the value of capacitors and resistors. It is possible to simulate resistance by means of switched capacitors (SC). It is shown in Fig.1. If a capacitor is connected to voltage U by means of K switch the load charge $Q = CU$ is accumulated in the capacitor. In second position of the K switch the capacitor load-charge is brought back into the system therefore in every switched on period the load charge $Q = CU$ is transferred from input to output of the system. The mean current value equals then

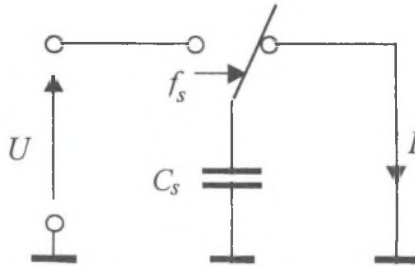
If the dependence is compared with Ohm law the equality condition between the switched SC capacitor and R resistor can be given by

$$I = \frac{U}{R_{zast}} = U C_s f_s, \quad (2a)$$

gdzie

where

$$R_{zast} = \frac{1}{C_s f_s}. \quad (2b)$$



Rys.1. Schemat układu z przełączaną pojemnością SC

Fig.1. Diagram of switched-capacitor SC system

Istnieje więc liniowa zależność między częstotliwością przełączania a przewodnością zastępczą takiego układu. Tego typu zmienne zastępcze rezystancje można stosować w integratorach. Schemat takiego nieodwracającego integratora o stałej czasowej regulowanej za pomocą sygnału cyfrowego o zmiennej częstotliwości przedstawiono na rys. 2.

Transmitancja układu integratora ma postać

$$\frac{U_{WY}}{U_{WE}} = \frac{f_s}{s} \cdot \frac{C_s}{C} = \frac{1}{\tau s}, \quad (3)$$

zależy więc liniowo od częstotliwości sygnału kluczującego i stosunku C_s/C . Inte-

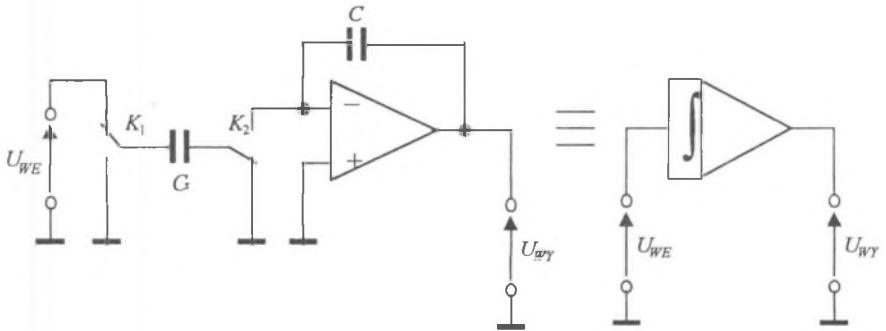
So there is linear dependence between the switching frequency and equivalent conductivity of the system. Such equivalent resistances may be applied in integrators. The diagram of such non-reversible integrator with the time constant regulated by means of a numerical signal with alternating frequency is presented in Fig.2.

The integrator system transmittance is

and is linearly dependent on the keying signal frequency and on the ratio C_s/C .

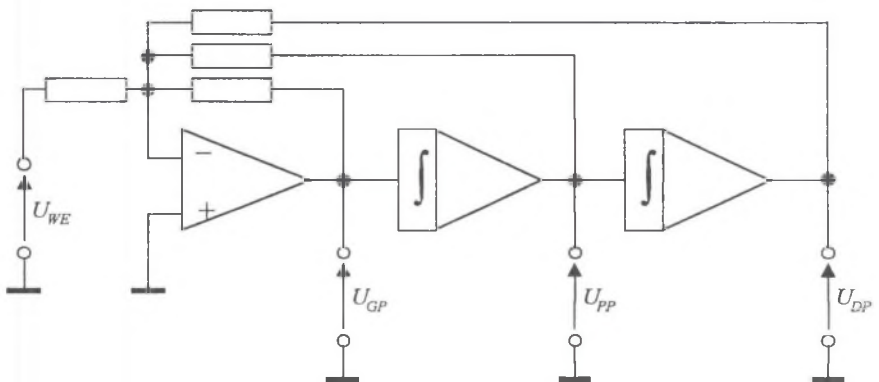
grator tego typu można zastosować w filtrze uniwersalnym zmiennych stanu. Ogólny schemat filtra zmiennych stanu, w którym zastosowano scalone filtry z przełączanymi pojemnościami firmy Maxim, przedstawiono na rys.3.

This type of integrator may be applied in a universal filter of state variables. The general diagram of such a filter in which integrated filters with Maxim switched capacitors are used is presented in Fig.3.



Rys.2. Schemat integratora o stałej czasowej regulowanej za pomocą sygnału cyfrowego o zmiennej częstotliwości

Fig.2. Diagram of an integrator with the time constant regulated by means of a numerical signal with alternating frequency



Rys.3. Schemat scalonego filtra uniwersalnego zmiennych stanu z przełączanymi pojemnościami SC

Fig.3. Schematic diagram of an integrated universal filter of state variables with switched capacitors SC

Istotną zaletą realizacji filtrów w postaci układu scalonego jest wykonanie pojemności C_S i C z tolerancją 0,1%. Stała całkowania nie zależy od temperatury, ponieważ obydwa kondensatory wykonane są w jednej strukturze układu scalonego i mają ten sam współczynnik temperaturowy zmiany pojemności. Mimo przedstawionych zalet układy scalonych filtrów z przełączanymi pojemnościami mogą być stosowane w ograniczonym zakresie częstotliwości wynikającym z faktu, że mamy tutaj do czynienia z układami dyskretnymi wykorzystującymi technikę próbkowania.

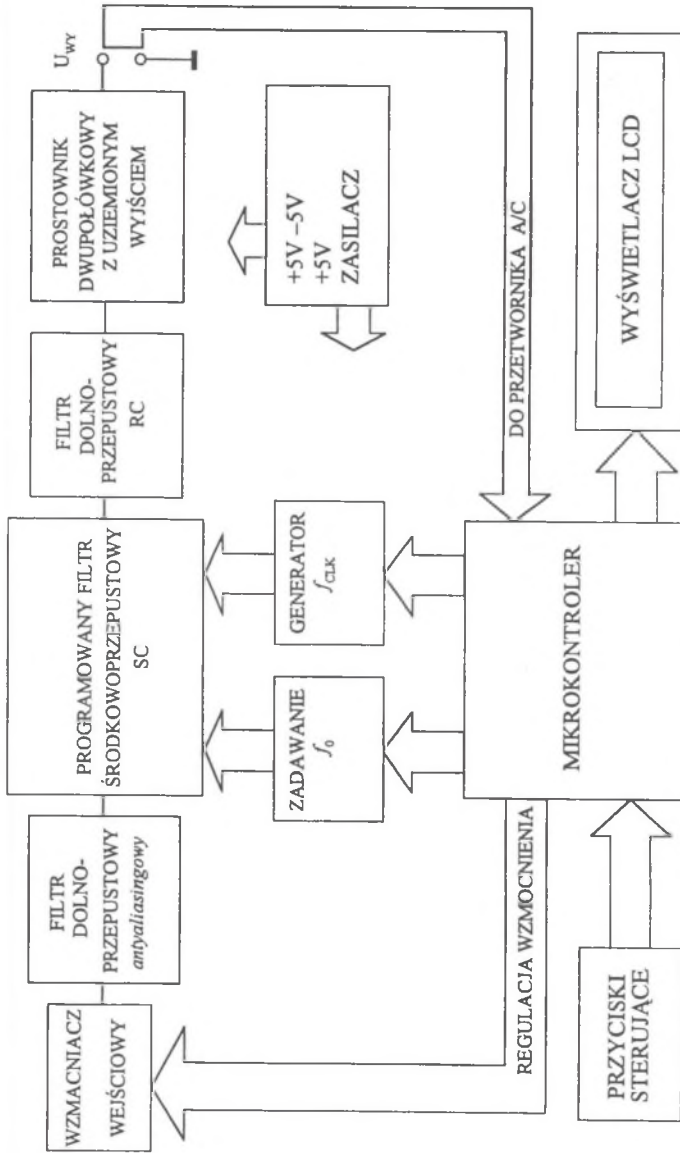
3. PRZESTRAJANY CYFROWO SELEKTYWNY WSKAŹNIK ZERA

Schemat blokowy cyfrowego selektywnego wskaźnika zera przedstawiono na rys.4. Wskaźnik składa się z trzech zasadniczych bloków: części analogowej, części cyfrowej oraz zasilacza. Część analogową stanowią: wzmacniacz wejściowy o regulowanym wzmocnieniu, filtr dolnoprzepustowy (antyaliasingowy), scalony filtr środkowoprzepustowy SC, filtr eliminujący składowe pochodzące od sygnału zegarowego części cyfrowej oraz aktywny prostownik dwupołkowy. Wzmacniacz wejściowy wykonano jako jednostopniowy wzmacniacz nieodwracający z regulacją wzmocnienia. Zastosowano tu układ scalony OPA27. Wzmacniacz charakteryzuje się niskimi szumami i dużą impedancją wejściową.

A very important advantage of these filters in integrated system is making capacities C_S and C with tolerance 0,1%. The integration constant does not depend on temperature, because the both capacitors are made in one structure of integrated circuit and have the same temperature capacity changes coefficient. Filters with switched capacitors may be applied within the limited frequency range because they are systems making use of sampling technique.

3. DIGITALLY RETUNED SELECTIVE NULL INDICATOR

The block diagram of a digital selective null indicator is presented in Fig.4. The indicator consists of three main blocks: analogue and digital parts and a power supply. The analogue part consists of: an input amplifier with regulated gain, a low-pass filter (antyaliasing), an integrated band-pass filter SC, a filter eliminating components from the clock signal of the digital part and an active full-wave rectifier. The input amplifier was made as a non-reversing one with regulated gain. The low noise and high input impedance integrated amplifier OPA27 was used there.



Rys. 4. Schemat blokowy selektywnego wskaźnika zera

Fig. 4. Block diagram of a selective null indicator

Przełączanie wzmocnienia zrealizowano przez odpowiednie łączenie rezystorów określających wzmocnienie za pomocą kluczy analogowych typu 4066.

Ich rezystancja w stanie przewodzenia nie ma istotnego wpływu na pracę wzmacniacza, ponieważ pracują one bezprądowo. Układ sterujący określa wzmocnienie otwierając odpowiedni klucz. Wzmocnienie napięciowe przyjmuje wartości: 1, 10, 100 i 1000.

Filtr dolnoprzepustowy jest filtrem drugiego rzędu Butterwortha. Ze względu na szumy zastosowano tu również wzmacniacz operacyjny typu OPA27. Częstotliwość charakterystyczna filtru wynosi 20 kHz. Zadaniem filtru jest usunięcie z sygnału wejściowego składowych o wyższych częstotliwościach. Ich obecność na wejściu filtru środkowoprzepustowego z przełączanymi pojemnościami może spowodować, że w sygnale za filtrem środkowoprzepustowym mogą pojawić się dodatkowe składowe o częstotliwościach różnicowych. Wynika to z faktu, że układy z przełączanymi pojemnościami powinny próbkować sygnał wejściowy z częstotliwością co najmniej dwukrotnie większą od sygnału próbkowanego. I tak dla przykładu próbkowania z częstotliwością 100 kHz obecność składowej harmonicznej w sygnale wejściowym o częstotliwości 99 kHz spowoduje powstanie dodatkowej składowej o częstotliwości 1 kHz w sygnale wyjściowym filtru z przełączanymi pojemnościami.

Filtr środkowoprzepustowy z przełączanymi pojemnościami został wykonany na bazie układu scalonego typu MAX262 firmy Maxim. Układ ten zawiera dwa identyczne filtry z przełączanymi pojemnościami, którym niezależnie można ustalić częstotliwość charakterystyczną oraz do-

The analogue keys type 4066 were used to connect resistors to achieve the appropriate gain.

Their resistance in „on” position does not effect the amplifier as there is no current. The control system determines the gain by opening the corresponding key. The voltage gain is 1, 10, 100, 1000.

The low-pass filter is a second-order Butterworth filter. Because of noise the operational amplifier type OPA27 was also used in it. The characteristic frequency of the filter is 20 kHz. The filter eliminates higher frequency components from the input signal. Such components at the input of the band-pass filter with SC may make additional components with beat frequency appear at the filter output. It is caused by the fact that switched capacitors systems should sample the input signal with frequency at least twice as high as that of the signal being sampled. For example when sampling with 100 kHz frequency the harmonic component in the input signal with frequency 98 kHz will make the additional component with 1 kHz frequency appear in the SC filter output signal.

The integrated circuit type MQX262 (Maxim) was used to make the band-pass SC filter. In this circuit there are two identical SC filters for which the characteristic frequency and quality factor can be independently programmed. Each section of the filter has three outputs: low-high and band-pass ones. The system has got an interface to programme parameters by means of a microprocessor. The characteristic frequency may be changed by the clockfrequency or setting the appropriate value of the coefficient N. The dependence between the center frequency f_0 , clock frequency f_{CLK} and coefficient N is

broć. Każda z sekcji filtru posiada trzy wyjścia: dolno-, górno- i środkowo-przepustowe. Układ posiada interfejs umożliwiający programowanie parametrów za pomocą mikroprocesora. Częstotliwość charakterystyczną ustalać można przez podanie odpowiedniej częstotliwości zegarowej lub przez ustalenie odpowiedniej wartości współczynnika N . Częstotliwość środkowa f_0 i zegarowa f_{CLK} oraz współczynnik N związane są następującą zależnością:

$$\frac{f_{CLK}}{f_0} = \frac{\pi(26 + N)}{2} \quad (4)$$

Częstotliwość zegarowa f_{CLK} może przyjmować wartości od 40 Hz do 1,5 MHz. Współczynnik N może przyjmować wartości całkowite z zakresu od 0 do 63. Dobierając w odpowiedni sposób powyższe parametry można uzyskiwać szeroki zakres częstotliwości pracy filtru. Maksymalna dobroć Q pojedynczej sekcji filtra może wynosić 64 i może być programowana w 128 krokach. Maksymalne wzmocnienie pojedynczego filtru dla częstotliwości środkowej wynosi 64 i jest równe dobroci. W wykonanym filtrze środkowoprzepustowym wykorzystano obie sekcje układu scalonego MAX262, a dla ograniczenia wzmocnienia napięciowego bloku filtra między pierwszą i drugą sekcją zastosowano dzielnik rezystancyjny.

Filtr dolnoprzepustowy RC służy do wyeliminowania składowej pochodzącej od sygnału zegarowego w sygnale wyjściowym układu filtrów S.C. Aktywny prostownik dwupołkowy z uziemionym wyjściem zbudowano opierając się na dwu wzmacniaczach operacyjnych zawartych w układzie scalonym typu TL082. Prostownik ten daje na wyjściu napięcie pro-

as follows

The clock frequency values may differ from 40 Hz to 1,5 MHz, whereas the coefficient N values are integers within the range from 0 to 63.

Choosing properly the above parameters one may get wide frequency range of the filter. The maximum quality factor Q of a single filter section may reach 64 and be programmed in 128 steps. The maximum gain of a single filter for the center frequency equals 64 and is the same as the quality factor.

In the made band-pass filter both sections of integrated circuit MA x262 were used and for limiting voltage gain of the filter block between the first and the second sections a resistance divider was connected. The low-pass RC filter is to eliminate the component from the clock signal in the SC filter system output signal. The active full-wave rectifier with grounded output was constructed using two operational amplifiers of integrated circuit TL082. This rectifier gives at its output the voltage proportional to the mean value of input the voltage. The grounded output makes it possible to measure the voltage

porcjonalne do wartości średniej napięcia wejściowego. Uziemione wyjście umożliwia bezpośredni pomiar napięcia za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego.

Część cyfrową wskaźnika tworzą: mikrokontroler z pamięcią EPROM, wewnętrzny przetwornik A/C mikrokontrolera, znakowy wskaźnik matrycowy LCD, generator sygnału zegarowego dla filtru SC, układ programowania filtru SC oraz przyciski sterujące. W układzie zastosowano mikrokontroler typu 80C552 zawierający wiele dodatkowych elementów, z których wykorzystano: 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy oraz generator o modulowanej szerokości impulsu z możliwością regulacji częstotliwości wyjściowej w zakresie od 92 Hz do 23,5 kHz przy częstotliwości zegarowej mikrokontrolera 12 MHz. Jako pamięć programu wykorzystano EPROM typu 27C64 o pojemności 8 kB. Ponieważ młodszy bit adresu jest multipleksowany na przemian z szyną danych, zastosowano rejestr typu 74HCT573 zatrzymujący 8 młodszych bitów adresu.

Mikrokontroler spełnia następujące funkcje:

- programuje parametry generatora sygnału zegarowego filtru SC,
- programuje częstotliwość f_0 oraz dobroć filtru S.C.,
- steruje wyświetlaczem LCD,
- odczytuje stan przycisków sterujących.

Parametry ustawiające każdą z częstotliwości pracy wskaźnika zera są zaprogramowane na stałe w pamięci EPROM. Do wyświetlania informacji o częstotliwości środkowej filtru, wzmocnieniu wzmacniacza wejściowego oraz dobroci wykorzystano górny wiersz dwuwierszowego matrycowego wyświetlacza LCD. Każdy z wierszy wyświetla 40 znaków. Dolny wiersz pełni rolę wskaźnika poziomu sy-

using an analogue-digital converter.

The digital part of the indicator comprises: a microcontroller with EPROM memory, an internal A/D microcontroller converter, an LCD matrix indicator, a clock signal generator for the SC filter, a programming system of the SC filter and control buttons. In the system the microcontroller type 80C552 with many additional elements was used. From them the following elements were employed: a 10-bit analogue-digital converter and a generator with modulated impulse width for which it is possible to change the output frequency within the range from 92 Hz to 23,5 kHz at the microcontroller clock frequency equal to 12 MHz. EPROM type 27C64 of capacity 8 kB was used as a program memory. Because the least significant bit of the address is multiplexed interchangeably with a data bus, the register type 74HCT573 was used as a latch of the 8 least significant bits of the address. The microcontroller functions are:

- to programme parameters of the clock signal generator,
- to programme the frequency f_0 and the SC filter quality factor,
- to control the LCD display,
- to show the state of the control buttons.

The parameters setting each of the null indicator frequency are programmed in the EPROM memory. To display information about the filter center frequency, the input amplifier gain, and the quality factor the upper line of the LCD display was used. Each line displays 40 signs. The lower line is a signal level indicator with the resolving power of 200 points so it replaces an analogue measuring instrument.

gnału o rozdzielczości 200 punktów zastępując tym samym miernik wskazówkowy. Aby zobrazować cały 10-bitowy zakres pomiarowy przetwornika A/C na 200-punktowym wyświetlaczu, zastosowano skalę logarymiczną. Generator sygnału zegarowego dla filtru środkowo-przepustowego SC ma za zadanie wytworzenie sygnału zegarowego o odpowiedniej częstotliwości na potrzeby tego filtru. Wykonano go opierając się na pętli PLL typu 74HCT4046. W układzie generatora zastosowano również układ 74HCT4040 pracujący jako dzielnik przez 512. Dla częstotliwości generatora kwarcowego mikrokontrolera 12 MHz otrzymano 256 częstotliwości w zakresie od 92 Hz do 23,5 kHz. Z tej grupy częstotliwości wykorzystano tylko te, które po wymnożeniu przez 512 mieszczą się w zakresie od 40 Hz do 1,5 MHz. Uzyskany w ten sposób szereg częstotliwości w kombinacji ze współczynnikami N programującymi filtr SC daje duży wybór częstotliwości środkowych filtru, spośród których wybrano interesujące nas wartości od 1 kHz do 20 kHz co 1 kHz. Układ programowania filtru SC pozwala na wpisywanie piętnastu dwubitowych wartości pod odpowiednie adresy w rejestrach filtru. Zastosowano tutaj rejestr zatrzymujący typu 74HC374, który odcina układ filtru SC od szyn mikroprocesora zapamiętując przy tym informację przeznaczoną dla filtru. Producent układu MAX262 nie zaleca bezpośredniego przyłączenia linii danych i adresów do końcówek filtru. Wynika to z faktu, iż szybkozmienne sygnały występujące na tych liniach w czasie pracy procesora mogą generować dodatkowy niepożądany szum na wyjściu filtru. Każdy z dwu filtrów można programować niezależnie pod względem częstotliwości środkowej f_0 i dobroci Q .

To show the whole 10-bit measuring range of the A/C converter on 200 points display the logarithmic scale was used. The clock signal generator for the band-pass SC filter is to generate a clock signal with frequencies needed for the filter. It was made using a loop PLL type 74HCT404G. In the generator the integrated circuit 74HCT4040 working as a divider by 512 was used. For the microcontroller quartz generator frequency equal to 12 MHz 256 frequencies in the range 92 Hz \div 23,5 kHz were obtained. From these frequency group only these were used which multiplied by 512 the range between 40 Hz \div 1,5 MHz. The frequencies obtained in such a way in combination with the coefficient N programming the SC filter offer wide choice of center filter frequencies among which the values from 1 kHz to 20 kHz every 1 kHz were chosen.

The S.C. filter programming system lets entering fifteen two-bit values in the corresponding addresses in the filter register. The register latch type 74HC374 was used which separates the SC filter system from the microprocessor bus memorizing the information meant for the filter. The manufacturer of MAX262 system does not recommend direct connecting of data bus and addresses to filters. It is caused by the fact that quick alternating signals on the bus during the operation of the processor may generate extra undesired noise at the filter output. Each of two filters may be programmed independently as far as the center frequency f_0 and quality factor Q are concerned.

Układ zasilania wskaźnika zera posiada oddzielne zasilanie części analogowej stabilizowanym napięciem symetrycznym $\pm 5V$. Część cyfrowa zasilana jest z oddzielnego stabilizatora $+ 5V$.

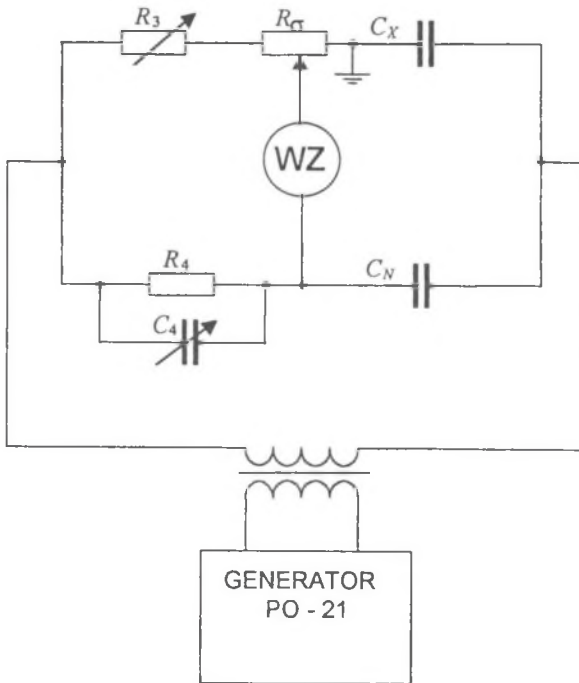
The null indicator supply system has got separate supply of the analogue part stabilized by the symmetric voltage $\pm 5V$. The digital part is supplied from a separate stabilizer $+ 5V$.

4. MOSTEK SCHERINGA Z WYKONANYM WSKAŹNIKIEM ZERA

4. SCHERING BRIDGE WITH NULL INDICATOR

Schemat ideowy układu mostka Scheringa przedstawiono na rys.5.

The schematic diagram of Schering bridge is presented in Fig.5.



Rys.5. Schemat ideowy mostka Scheringa z wykorzystaniem wykonanego wskaźnika

Fig.5. Schering bridge diagram

Ponieważ selektywny wskaźnik zera posiada wejście niesymetryczne, uziemiono odpowiedni punkt mostka. Mostek zasilano napięciem przemiennym o częstotliwości 1 kHz z generatora mocy. Przy napięciu zasilania mostka 60 V niepewność wyznaczenia wartości współczynnika strat dielektrycznych wynosiła $\pm 10^{-5}$ badanych kondensatorów o pojemności w zakresie 50-100 nF. Odpowiada to zmianie pojemności ± 100 pF piątej najmniej znaczącej dekady pojemności C_4 mostka.

Parametry mostka:

$$C_N = 39,36 \text{ nF} \quad \text{tg } \delta_N = 0,0007 ,$$

$$R_4 = \frac{1000}{\pi} .$$

Ponieważ mostek zapewnia bezpośredni odczyt $\text{tg} \delta$ przy zasilaniu napięciem o częstotliwości 50 Hz, należy przemnożyć odczytaną wartość $\text{tg} \delta$ dla częstotliwości 1 kHz przez współczynnik k .

$$k = \frac{\text{tg } \delta_{1000\text{Hz}}}{\text{tg } \delta_{50\text{Hz}}} = \frac{2\pi \cdot 1000 R_4 C_4}{2\pi \cdot 50 R_4 C_4} = 20 . \quad (5)$$

Pojemność badanego kondensatora obliczono wg wzoru

$$C_x = \frac{R_4}{R_3} C_N . \quad (6)$$

Współczynnik strat dielektrycznych badanego kondensatora obliczono wg wzoru

$$\text{tg } \delta_x = \text{tg } \delta_N + \text{tg } \delta . \quad (7)$$

As the selective null indicator has got an asymmetric input the appropriate point of the bridge was grounded. The bridge was supplied with alternating voltage of frequency 1 kHz from the power generator. While supplying the bridge with 60 V the uncertainty of determining the dielectric loss factor value was $\pm 10^{-5}$ for the tested capacitors in the range 50-100 nF. It corresponds to the capacity change ± 100 pF of the fifth least important decade of C_4 bridge capacity.

The bridge parameters are:

Because the bridge ensures direct reading while supplied with voltage of 50 Hz frequency the displayed value of $\text{tg} \delta$ for the frequency of 1 kHz has to be multiplied by the coefficient k .

Capacity of the tested capacitor was calculated from the equation

The loss factor of the tested capacitor was calculated from

Wykonano pomiary trzech kondensatorów przeciwwzakłóceniovych. Wyniki pomiarów i obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Measurements of three radio interference suppressor capacitors were made and their results presented in Tab 1.

Tabela 1
Wyniki pomiarów i obliczeń

Table 1
Measurement and calculation results

Typ kondensatora Type of capacitor	Pojemność znamionowa Its rated capacity	Wartości odczytane Measurement values		Wartości obliczone Calculated values	
	[nF]	tgδ [-]	R ₃ [Ω]	tgδ [-]	C _x [nF]
KPpz 012	100	0.002094	109.70	0.056	114.2
KPpz 117	50	0.000560	246.92	0.025	50.7
KPpz 019	300	0.000376	40.24	0.022	311.3

W czasie pomiarów można było przekonać się o dużej czułości przyrządu, gdyż nawet niewielkie regulacje najmniej znaczącymi sekcjami elementów regulacyjnych mostka miały zauważalny wpływ na stan równowagi układu.

During the measurements high sensitivity of the instrument was shown as even the small regulation by the least important sections of the bridge controlling elements influenced the balance state of the system.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone pomiary wykazały dobre właściwości metrologiczne przyrządu, szczególnie pod względem czułości i selektywności. Czułość oszacowana na podstawie wzmocnień poszczególnych stopni wskaźnika jest rzędu 50 nV/działkę na początkowej połowie skali wskaźnika. Dzięki dużej dobroci filtru środkowo-przepustowego (rzędu 100) przyrząd charakteryzuje się dużą selektywnością. Oparcie układu generującego sygnał taktujący filtru SC na generatorze kwarcowym pozwala oczekiwać bardzo dobrej długoterminowej stabilności parametrów układu

5. CONCLUSIONS

The carried out measurements showed good metrological properties of the instrument mainly as far as sensitivity and selectivity were concerned. The sensitivity evaluated basing on the gains of the indicator particular elements is of the order of 50 nV/div at the initial half of the indicator scale. Due to the high quality factor of the band-pass filter (about 100) the instrument shows high selectivity. The use of a quartz generator in the SC filters ensures the long-term stability of parameters for the center frequency and shape of the system characteristic. The manufac-

zarówno co do częstotliwości środkowej, jak i kształtu charakterystyki. Producent układu MAX262 podaje następujące informacje opisujące stabilność parametrów filtru:

- niepewność stosunku f_{CLK}/f_0 $\pm 0.2\%$,
- odchyłka charakterystyki Q od idealnej $\pm 4\%$,
- współczynnik zmian temperaturowych f_0 $- 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$,
- współczynnik zmian temperaturowych Q $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$,
- współczynnik zmian temperaturowych wzmocnienia $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

Dzięki filtrowi SC udało się wykonać układ, który można przestrajać bez stosowania w torze sygnałowym jakichkolwiek mechanicznych elementów przełączających bądź regulacyjnych, a co za tym idzie, pozbyto się problemów związanych z korozją styków bądź zużyciem elementów regulacyjnych. Dzięki dużej czułości i selektywności wskaźnik zera może być używany do współpracy z różnymi mostkami prądu przemiennego. Szeroki zakres częstotliwości pracy umożliwia pomiar charakterystyk częstotliwościowych badanych elementów w zakresie częstotliwości akustycznych.

turer of the MA X262 system describes the stability of filter parameters as follows:

- uncertainty of the ratio f_{CLK}/f_0 $\pm 0.2\%$,
- deviation of the Q characteristic (from the ideal one) $\pm 4\%$,
- temperature coefficient of f_0 $- 5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
- temperature coefficient of Q $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$,
- temperature coefficient of the gain $\pm 20 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

Due to the SC filter it was possible to construct the instrument which may be retuned without using any mechanical elements to switch or to control thus getting rid of problems connected with contact corrosion or controlling elements wear. The instrument can cooperate with different ac bridges because of its sensitivity and selectivity of the null indicator. Wide range of operating frequencies makes it possible to measure frequency characteristics of the tested elements in the acoustic frequencies range.

LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna. WNT, Warszawa 1994.
2. Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.
3. Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKiŁ, Warszawa 1987.

REFERENCES

4. Tietze U., Schenck Ch.: Układy półprzewodnikowe. WNT, Warszawa 1997.
5. Katalog: Microprocessor Programmable Universal Active Filters – MAX262. Maxim Integrated Products, 1988.

Recenzent: Dr hab. inż. Janusz GAJDA

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 czerwca 1999 r.