ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: ELEKTRYKA z.134 Nr kol.1225

Henryk URZĘDNICZOK

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI STATYCZNYCH WYBRANYCH PRZETWORNIKÓW TYPU "PARAMETR/OKRES SYGNAŁU WYJŚCIOWEGO"

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań właściwości statycznych grupy przetworników typu parametr/czas (multiwibratorów typu NE555 i ICL8038 oraz kilku układów generatorów drgań harmonicznych) przeznaczonych do współpracy z parametrycznymi czujnikami (R,C) do pomiaru wielkości nieelektrycznych. Stwierdzono, że najkorzystniejsze właściwości statyczne wykazuje przetwornik zbudowany w oparciu o układ multiwibratora monolitycznego NE555.

THE RESULTS OF INVESTIGATIONS OF THE STATICAL CHARACTERISTICS OF SOME X/t CONVERTERS

Summary. The results of comparative investigations of statical characteristics for a group of parameter-to-period of output signal converters are presented. Two kinds of multiwibrators (with NE555 and ICL8038 IC's) and few kinds of harmonic oscillators have been exanined. The calibration curves, temperature and supply voltage influences have been found. The results show that the converter with NE555 has the best features.

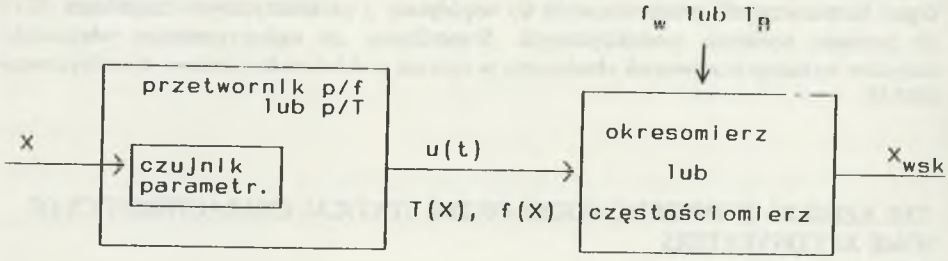
DIE ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN DER STATISCHEN CHARAKTERISTIKEN FÜR "PARAMETER/PERIODE" -MESSWANDLER

Zusammenfassung. Die ergebnisse der untersuchungen der stastischen Eigenheiten für Gruppe "Parameter(R,C)/Periode des Ausgangsignal" Messwandler (Multivibratoren mit NE555 und ICL8038) und für ein paar harmonischen Oszillatoren beschrieben wurden. Die besten Eigeneiten für Wandler mit NE555 erlangt wurden.

1. WSTĘP

Istotne zalety sygnałów częstotliwościowych (przede wszystkim mała wrażliwość na zakłócenia i łatwość dalszego przetwarzania) sprawiają, że celowe jest opracowywanie między innymi przetworników pomiarowych wielkości nieelektrycznych o wyjściu częstotliwościowym. W przetwornikach tych wykorzystane mogą być czujniki parametryczne: pojemnościowe, rezystancyjne, indukcyjnościowe współpracujące z różnego rodzaju układami elektrycznych przetworników typu "parametr/częstotliwość" (p/f) lub "parametr/okres" (p/T), np. układami generatorów lub mostków rownoważonych przez zmianę częstotliwości.

Typowy tor pomiarowy z przetwornikami p/f lub p/T ma strukturę pokazaną na rys. 1.



X - wielkość wejściowa (mierzona)
X_{wsk} - wartość wskazywana wielkości mierzonej
u(t) - sygnał wyjściowy przetwornika
f(x) lub T(X) - wielkość wyjściowa przetwornika
f_w, T_B - częstotliwość wzorcowa, czas bramkowania

Rys. 1. Tor pomiarowy z sygnałem częstotliwościowym
Fig. 1. Measurement circuit with frequency output signal

Ze względu na prostotę szerokie zastosowanie znajdują tu generatory elektroniczne: multiwibratory (często wykonywane jako monolityczne układy scalone) i generatory drgań harmonicznych, tj. generatory LC, RC, RLC.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań kilku wybranych układów przetworników typu "parametr/okres":

- monolitycznego układu generatora funkcyjnego typu ICL8038,
- generatorów drgań harmonicznych z czwórnikami RC dla dwóch konfiguracji czwórnika i dwóch rodzajów układów stabilizacji amplitudy sygnału wyjściowego.

Badania obejmowały wyznaczanie charakterystyk statycznych przetworników i badanie ich właściwości temperaturowych. Uzyskane wyniki zestawiono z wynikami wcześniejszych badań dla układu multiwibratora monolitycznego typu NE555 (przedstawionymi w pracach [1] i [2]).

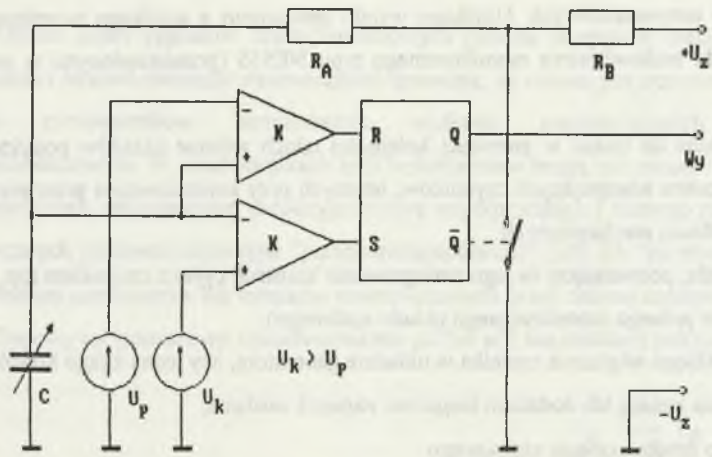
Wytypowanie do badań w pierwszej kolejności takich właśnie układów podyktowane było uwzględnieniem następujących czynników, istotnych przy konstruowaniu przetworników do pomiaru wielkości mechanicznych:

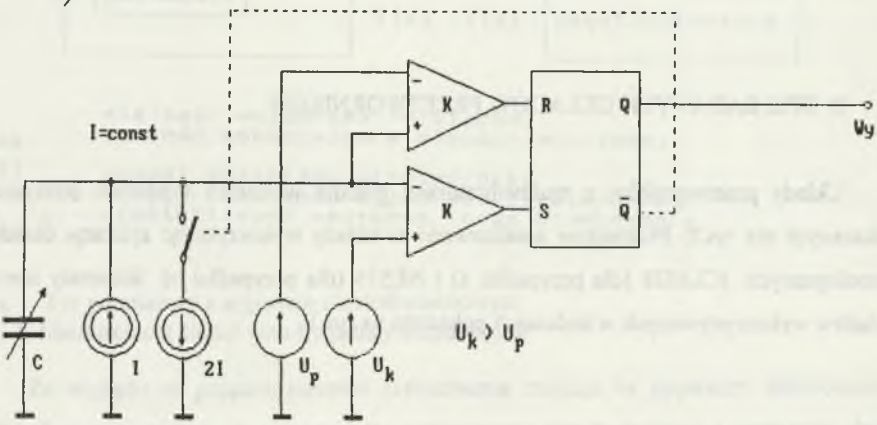
- prostoty układu, pozwalającej na jego zintegrowanie konstruk cyjne z czujnikiem (np. wykorzystanie jednego monolitycznego układu scalonego),
- możliwości takiego włączenia czujnika w układzie generatora, aby jedna z jego końcówek była połączona z masą lub dodatnim biegunem napięcia zasilania,
- pojedynczego źródła napięcia zasilającego.

We wszystkich badanych układach wzrost wartości parametru czujnika powoduje monotoniczny wzrost okresu generowanego sygnału wyjściowego, dlatego jako wielkość wyjściową przyjęto okres.

2. OPIS BADANYCH UKŁADÓW PRZETWORNIKÓW

Układy przetworników z multiwibratorami pracują w dwóch typowych strukturach pokazanych ma rys.2. Praktycznie zrealizowano te układy wykorzystując aplikacje układów monolitycznych: ICL8038 (dla przypadku a) i NE555 (dla przypadku b). Schematy ideowe układów wykorzystywanych w badaniach pokazano na rys.3.

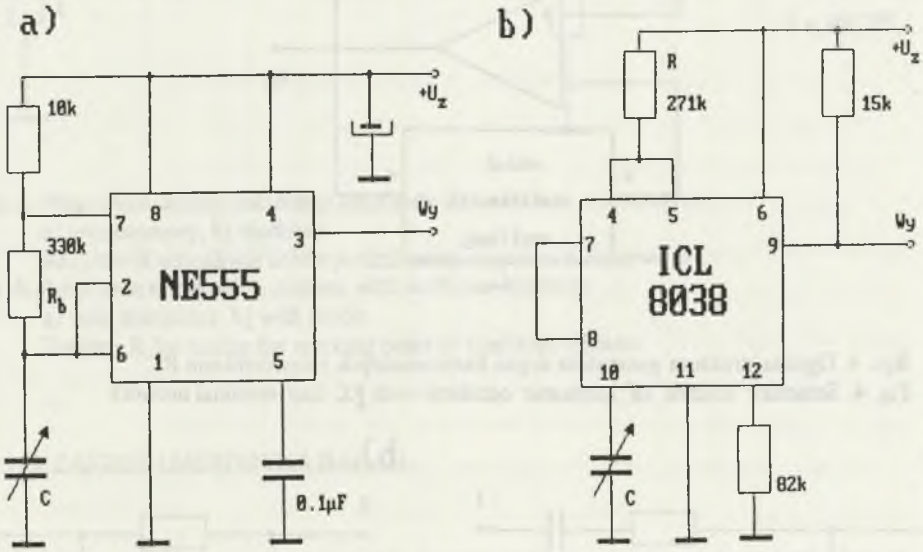




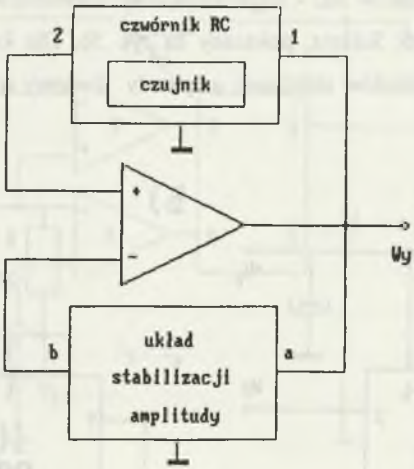
Rys. 2. Typowe struktury multiwibratorów
a) z przeładowaniem kondensatora ze źródeł napięciowych poprzez rezystory (np. w układzie NE555),
b) zprzeładowaniem kondensatora ze źródeł prądowych (np. układzie ICL8038)

Fig. 2. Typical structure of multivibrators
a) with recharging of capacitance from voltage source and resistors (m.g. in IC NE555),
b) with recharging of capacitance from current source (m.g. in IC ICL8038)

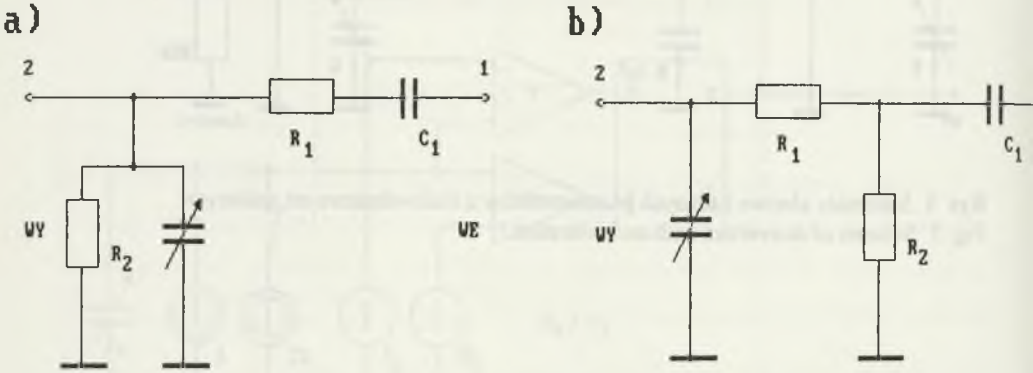
Ogólną strukturę generatora drgań harmonicznych pokazano na rys. 4. Do badań wybrano dwa rodzaje czwórników RC - najprostsze, czteroelementowe [3]: mostek Wiena, pokazany na rys. 5a i mostek Sulzera, pokazany na rys. 5b. Dla każdego z czwórników wykorzystano dwa rodzaje układów stabilizacji amplitudy: diodowy (rys. 6a) i termistorowy (rys. 6b) [4,5].



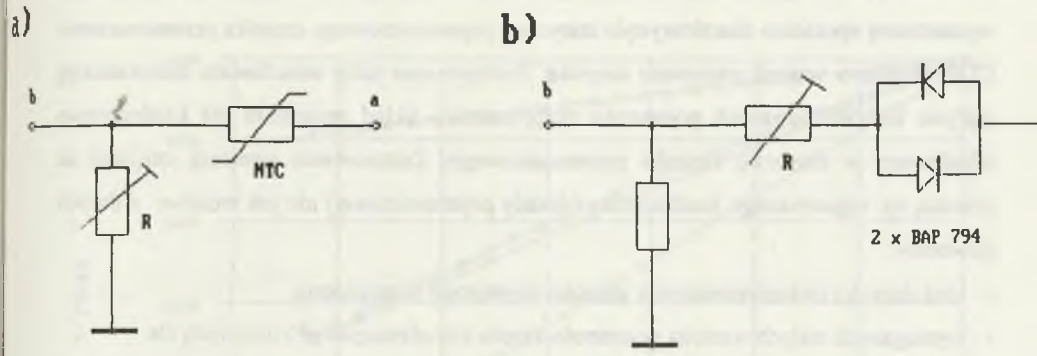
Rys. 3. Schematy ideowe badanych przetworników z multiwibratora mi scalonymi
Fig. 3. Scheme of converters with multivibrators



Rys. 4. Ogólna struktura generatora drgań harmonicznych z czwornikiem RC
Fig. 4. Structure scheme of harmonic oscillator with RC four-terminal network



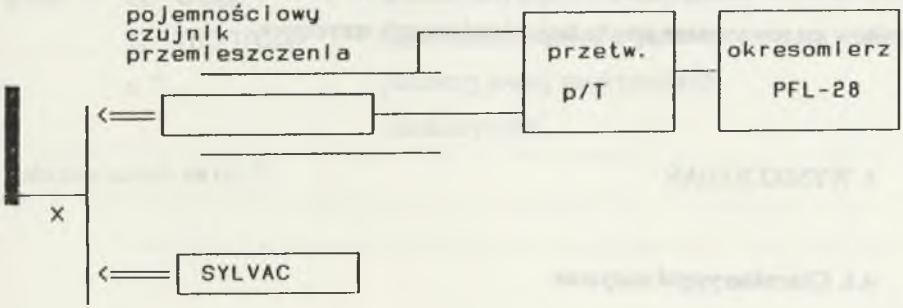
Rys. 5. Stosowane czwórniki RC z czujnikiem pojemnościowym a) Wiena, b) Sulzera
Fig. 5. Types of RC four-terminal networks of a) Wien, b) Sulzer type



Rys. 6. Stosowane układy stabilizacji amplitudy z elementami nieliniowymi
a) termistorowy, b) diodowy
Rezystor R umożliwia dobór punktu pracy elementu nieliniowego
Fig. 6. Amplitude stabilization systems with nonlinear elements
a) with thermistor, b) with diode
Resistor R for tuning the working point of nonlinear element

3. ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania charakterystyk statycznych przetworników przeprowadzono przez pomiar pośredni w układzie pokazanym schematycznie na rys. 7.



Rys. 7. Układ do badania charakterystyk statycznych przetworników
Fig. 7. Circuit for determination of calibration curves

Przemieszczenie mierzono z rozdzielczością 0,1 mm i niedokładnością ok. 1 μm za pomocą miernika przemieszczenia firmy Sylvac. Dla każdej wartości przemieszczenia X

mierzono okres sygnału wyjściowego przetwornika T(X), a następnie na podstawie wyznaczonej uprzednio charakterystyki statycznej pojemnościowego czujnika przemieszczenia C(X) określano wartość parametru czujnika. Postępowanie takie umożliwiało minimalizację wpływu niekontrolowanych pojemności rozproszenia - układ generatora był każdorazowo wbudowany w obudowę czujnika pojemnościowego. Zastosowanie symulacji czujnika za pomocą np. regulowanego kondensatora (dekady pojemnościowej) nie jest możliwe z dwóch powodów:

- zbyt dużych i niekontrolowanych wartości pojemności rozproszenia,
- wymaganych małych wartości pojemności (rzędu kilkudziesięciu pF) typowych dla pojemnościowych czujników do pomiaru wielkości mechanicznych.

Badania właściwości temperaturowych przeprowadzono dla tych samych układów generatorów, zastępując jednakże czujnik kondensatorami mikowymi lub styrofleksowymi o znanych współczynnikach temperaturowych. Zastosowano rezystory o pomijalnie małych temperaturowych współczynnikach zmian rezystancji.

Układy przetworników były zasilane z zasilacza stabilizowanego o regulowanej wartości napięcia wyjściowego (przy pomiarach wpływu zmian napięcia zasilania).

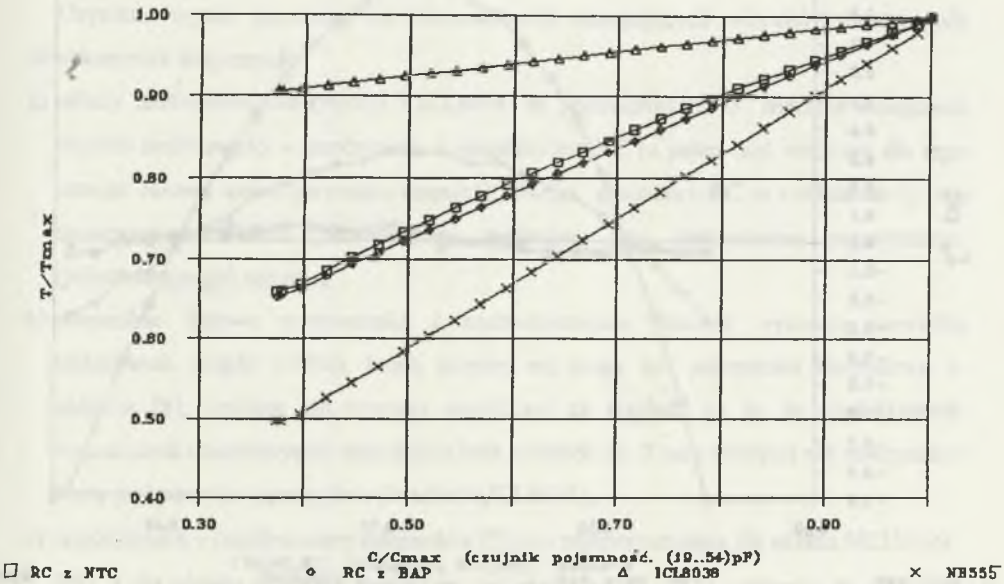
Każdy z badanych układów może być stosowany do współpracy także z czujnikiem rezystancyjnym (np. R_b dla układu NE555, R dla układu ICL8038, R_2 w czwórnikach RC).

W badaniach charakterystyk statycznych zastosowano jedynie czujnik pojemnościowy. Zrezygnowano z badania dla czujnika rezystancyjnego ponieważ teoretyczne równania przetwarzania dla każdego z układów zawierają iloczyn RC, a zatem stosowanie obu rodzajów czujników jest równoważne przy badaniu charakterystyk statycznych.

4. WYNIKI BADAŃ

4.1. Charakterystyki statyczne

Charakterystyki statyczne unormowane (zarówno okres jak i pojemność czujnika odniesione do wartości odpowiadających końcowi zakresu pomiarowego) pokazano na rys. 8. Wykresy odchyleń charakterystyk od zależności liniowej obliczone wg wzoru:



Rys. 8. Charakterystyki statyczne unormowane w odniesieniu do wartości dla końca zakresu pomiarowego
Fig. 8. The normalized calibration curves

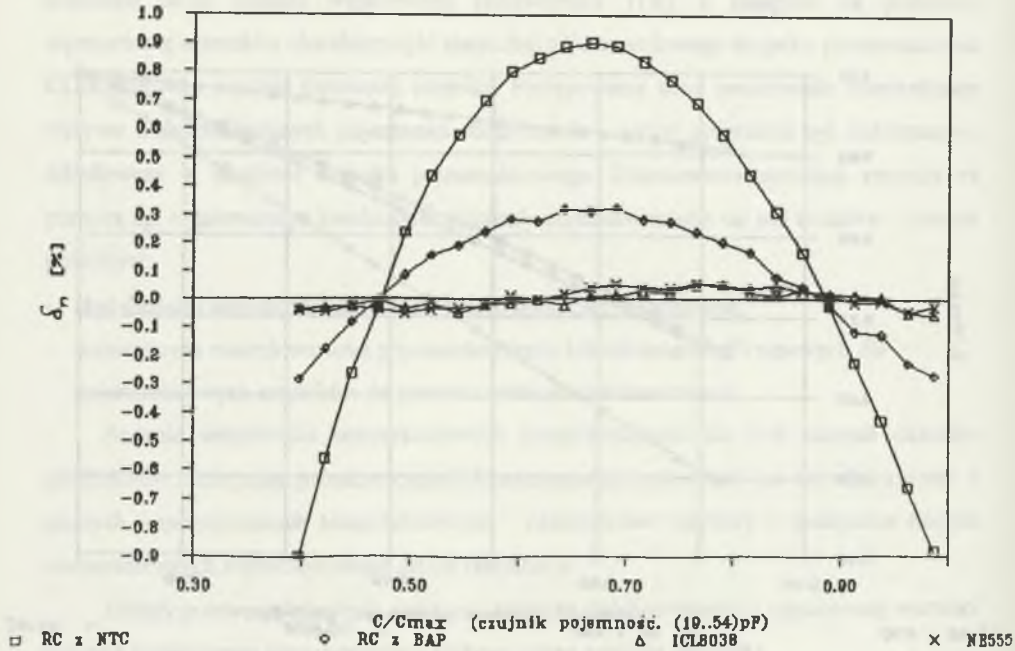
$$\delta_n = T_u(C_u) - (a \cdot C_u + T_{uo}), \tag{1}$$

gdzie: $C_u = C/C_{max}$ - unormowana pojemność czujnika,

$T_u = T(C)/T(C_{max})$ - unormowana wielkość wyjściowa,

a, T_{uo} - parametry prostej aproksymującej charakterystykę,

pokazane zostały na rys. 9.



Rys. 9. Błędy nieliniowości badanych przetworników p/T
Fig. 9. The nonlinear errors fo investigated p/T converters

W tabeli 1 podano maksymalną odchyłkę od liniowości (kolumna 1) oraz stosunek zmian okresu na wyjściu do wartości okresu dla końca zakresu pomiarowego odniesiony do analogicznego stosunku dla parametru czujnika (kolumna 2):

$$\gamma = \frac{(T_{min} - T_{max})/T_{max}}{(C_{min} - C_{max})/C_{max}} \in (0,1) \tag{2}$$

Wartość $\gamma = 0$ oznacza, że przetwotrnik p/T nie "reaguje" na zmiany parametru czujnika, a $\gamma=1$ oznacza, że przetwornik nie "tłumi" zakresu zmian parametru czujnika. Mała wartość tego stosunku, jest zatem cechą niekorzystną, zmniejszającą dokładność przetwarzania.

Tabela 1

	ICL8038	NE555	RC z BAP	RC z NTC
max(δ_n) [-]	0,052	0,053	0,304	0,899
γ [-]	0,149	0,0802	0,555	0,546

Uzyskane wyniki pozwalają na sformułowanie następujących wniosków dotyczących charakterystyk statycznych:

a) układy multiwibratorów (NE555 i ICL8038) są przetwornikami o znacznie mniejszych błędach nieliniowości w porównaniu z generatorami RC (o jeden rząd wielkości dla tego samego zakresu zmian parametru czujnika); Uwaga: generatory RC są nominalnie (tj. wg teoretycznych równań przetwarzania) nieliniowe przy zastosowaniu pojedynczego (jednosekcyjnego) czujnika,

b) nominalnie liniowe przetworniki z multiwibratorami również wykazują niewielką nieliniowość (rzędu 0.05%), której przyczyną mogą być pojemności montażowe w układzie [6]; wniosek ten wymaga weryfikacji ze względu na to, że niedokładność wyznaczania charakterystyk statycznych była zaledwie ok. 2 razy mniejsza niż maksymalne błędy nieliniowości (szczególnie dla układu ICL8038),

c) współczynnik γ (zdefiniowany zależnością (2)) jest najkorzystniejszy dla układu NE555 (ok. 0,8), a dla układu ICL8038 najbardziej niekorzystny (ok. 0,15) - oznacza to, że układ ICL8038, pomimo porównywalnych błędów nieliniowości, ma gorsze właściwości niż NE555.

4.2. Właściwości termiczne

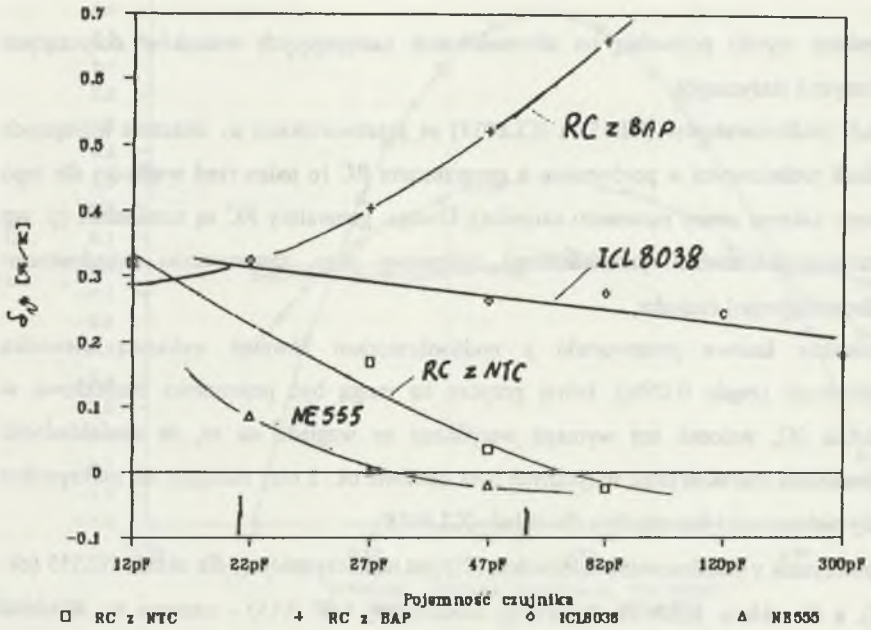
Zdefiniowano następująco współczynnik temperaturowych zmian okresu sygnału wyjściowego przetworników:

$$\delta_{\vartheta} = \frac{\dfrac{T_k - T_p}{T_p} \cdot 100\%}{\vartheta_k - \vartheta_p} \left[\frac{\%}{K}\right]. \tag{3}$$

gdzie: ϑ_p, ϑ_k - temperatura początkowa i końcowa,

T_p, T_k - okres w temperaturze początkowej i końcowej,

Zależności błędów temperaturowych od pojemności czujnika przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Błędy temperaturowe badanych przetworników w zależności od wartości parametru czujnika

Fig. 10. The temperature errors of converters in the function of sensor parameter

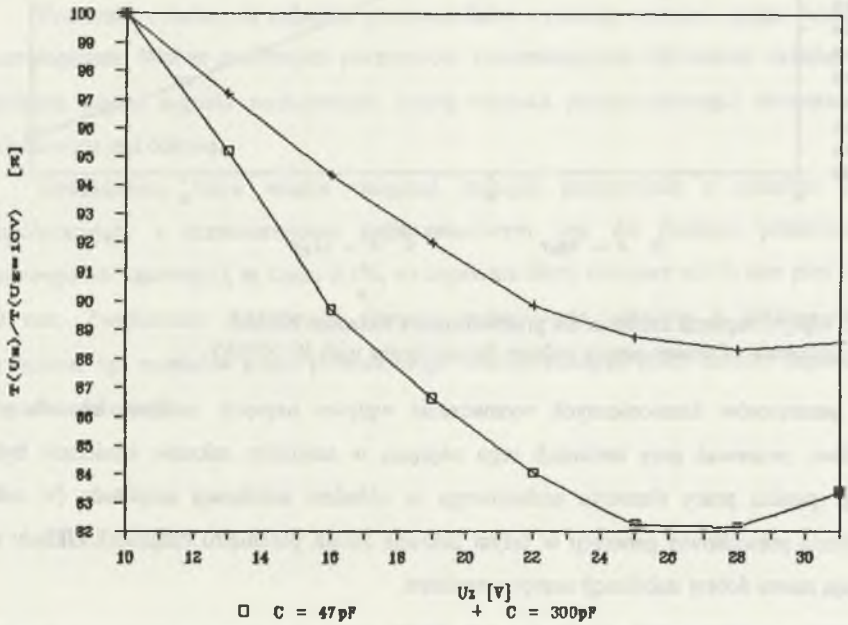
Wszystkie spośród badanych układów wykazują zależność współczynnika temperaturowych zmian okresu od wartości parametru czujnika. Stosunkowo najmniejsze zmiany temperaturowe wykazuje układ NE555 (w zakresie odpowiadającym zmianom pojemności czujnika przemieszczenia). Ponadto dla tego układu istnieje możliwość kompensacji wpływu temperatury [2,7].

Układ ICL8038 ma znaczny współczynnik zmian temperaturowych,lecz o wartości prawie niezależnej od parametru czujnika (stałej w zakresie pomiarowym), co wobec możliwości kompensacji temperatury w sposób opisany w pracy [7] pozwala uznać jego właściwości termiczne za korzystne.

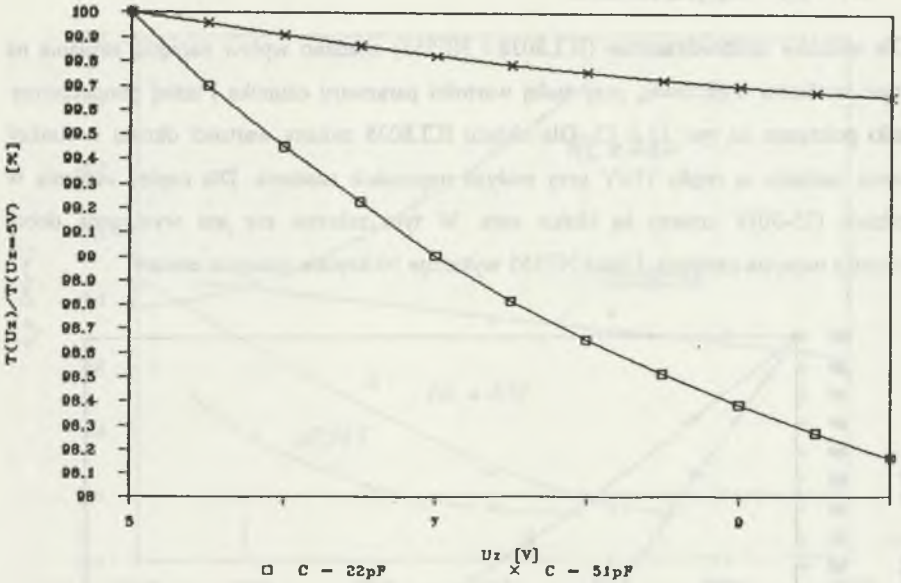
Obydwa układy generatorów harmonicznych RC wykazują silną zależność współczynnika zmian temperaturowych od parametru czujnika, a układ z diodową stabilizacją temperatury dodatkowo znaczne wartości tego współczynnika.

4.3. Wpływ napięcia zasilania

Dla układów multiwibratorów (ICL8038 i NE555) zbadano wpływ napięcia zasilania na wartość wielkości wyjściowej, przy stałej wartości parametru czujnika i stałej temperaturze. Wyniki pokazano na rys. 11 i 12. Dla układu ICL8038 zmiany wartości okresu w funkcji napięcia zasilania są rzędu 1%/V przy małych napięciach zasilania. Dla napięć zasilania w przedziale (25-30)V zmiany są bliskie zera. W tym zakresie nie jest wymagana dobra stabilizacja napięcia zasilania. Układ NE555 wykazuje 10-krotnie mniejsze zmiany.



Rys. 11. Wpływ napięcia zasilania dla przetwornika z układem ICL8038
Fig. 11. Influence of power supply voltage for converter with IC ICL8038



Rys. 12. Wpływ napięcia zasilania dla przetwornika z układem NE555
Fig. 12. Influence of power supply voltage for converter with IC NE555

Dla generatorów harmonicznych wyznaczenie wpływu napięcia zasilania okazało się niemożliwe, ponieważ przy zmianach tego napięcia w szerokim zakresie konieczna była regulacja punktu pracy elementu nieliniowego w układzie stabilizacji amplitudy (w celu zapewnienia prawidłowej generacji w całym zakresie zmian parametru czujnika). Układy te wymagają zatem dobrej stabilizacji napięcia zasilania.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują, że spośród badanych układów przetworników p/T najlepsze właściwości metrologiczne (statyczne) wykazuje multiwibrator z układem NE555. Bez dodatkowych zabiegów możliwe jest osiągnięcie następujących parametrów:

- błąd nieliniowości na poziomie 0,05%,
- zmiany temperaturowe ok. 0,1 %/K,
- wpływ napięcia zasilania ok. 0,4 %/V i wartość ta maleje ze wzrostem napięcia oraz ze wzrostem pojemności czujnika.

Poprawę wymienionych parametrów można osiągnąć przez korekcję nieliniowości charakterystyki przetwarzania, kompensację błędów termicznych oraz stabilizację napięcia zasilania i filtrację jego zakłóceń - szczególnie istotną przy stosowaniu integracji układu przetwornika p/T z czujnikiem umieszczonym na obiekcie z dala od dalszej części toru pomiarowego. Przy typowym zastosowaniu przetworników z wyjściem częstotliwościowym w cyfrowych lub mikrokomputerowych systemach pomiarowych dogodne jest stosowanie programowej korekcji nieliniowości charakterystyki przetwarzania. Błędy temperaturowe można również korygować układowo, np. metodami opisanymi w pracach [2] i [7].

Pozostałe z badanych układów przetworników wykazują wyraźnie gorsze właściwości metrologiczne. Wobec podobnych parametrów konstrukcyjnych (złożoność układu, sposób zasilania, postać sygnału wyjściowego, rodzaj czujnika parametrycznego) stosowanie tych układów nie jest celowe.

Dokładności, które można osiągnąć stosując przetwornik z układem NE555, współpracujący z przetwornikiem pojemnościowym (np. do pomiaru przemieszczenia liniowego lub kątowego), są rzędu 0,1%, co zapewnia błędy mniejsze niż 10 mm przy zakresie 10 mm. Zwiększenie dokładności wymaga zastosowania układów o bardziej złożonej strukturze, np. mostków prądu przemiennego równoważonych przez zmiany częstotliwości sygnału zasilającego.

LITERATURA

[1] Sprawozdanie z realizacji pracy CPBR 7.1 cel 60 pt. Pojemnościowy przetwornik pomiarowy przemieszczenia. Instytut Metrologii i Automatyki Mat. niepublikowane.

[2] Tkocz K., Twardoń W., Urzędniczok H., Zakrzewski J.: Kompensacja termiczna pomiarowego przetwornika pojemnościowo -częstotliwościowego. Z.N. Pol. Śl., seria Elektryka , z. 114, Gliwice 1991.

[3] Trnkler H.R.: Die Technik des digitalen Messens. R. Oldenbourg Verlag 1976.

[4] Kulka Z., Nadachowski M.: Zastosowania wzmacniaczy operacyjnych. WNT, Warszawa 1986.

[5] Urzędniczok H.: Analiza właściwości dynamicznych przetworników pomiarowych z wyjściem częstotliwościowym. Rozprawa doktorska, Gliwice 1990.

[6] Urzędniczok H.: Wpływ pojemności rozproszenia na charakterystykę statyczną przetwornika C/T. Materiały XX MKM, Szczecin 1988

[7] Patent RP nr 156496 z 1992 r. Sposób kompensacji błędów addytywnych pomiarowego przetwornika przemieszczenia. Autorzy: Urzędniczok H., Zakrzewski J.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Danuta Turzenicka

Wpłyneło do redakcji dnia 20 maja 1993 r.

Abstract

Many of sensors in which resistance, capacitance or inductance depend on measured quantity (parametric sensors) can be used in measuring transducers with frequency modulated output signals. Two types of electric circuits can be used as parameter-to-period (p/T) or parameter-to-frequency (p/f) converter: parameter controlled oscillators (PCO) and bridges balanced by changing the frequency of the supply source.

This article refers to the problem how to choose in the best way the PCO circuit as a p/T or p/f converter is - the results of investigations for two groups ofoscillating circuits as a p/T converters are presented: multivibrators based on NE555 and ICL8038 IC's, and harmonic oscillators with two types RC four-terminal-networks and two kinds of amplitude stabilization systems.

The investigations included determination of calibration curve T=f(p), influence of temperature and influence of power supply voltage.

Among the p/T converters which have been examined the best calibration curve for multivibrator with circuit NE555 has been stated. It is possible to achieve following parameters: nonlinearity less than 0.05 %, temperature coefficient less than 0.1 %/K for a wide range of sensor's parameter and voltage coefficient about 0.4 %/V (reduces if the parameter of sensor grows).