

Henryk URZĘDNICZOK

WPLYW PARAMETRÓW TORU TRANSMISJI SYGNAŁU CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO NA DOKŁADNOŚĆ PRZETWORNIKÓW „PARAMETR/OKRES”

Streszczenie. W artykule opisano wpływ toru transmisji częstotliwościowego sygnału wyjściowego z przetwornika pomiarowego typu „parametr-okres sygnału wyjściowego” na dokładność przetwarzania w całym torze pomiarowym. Opisano konstrukcję układu wyjściowego takiego przetwornika zapewniającą minimalizację tego wpływu — uzyskano ok. 20-krotne zmniejszenie dodatkowej niepewności wynikającej z wpływu rodzaju, długości i ułożenia zastosowanego kabla.

THE INFLUENCE OF THE OUTPUT SIGNAL TRANSMISSION SYSTEM ON THE ACCURACY OF "PARAMETER-TO-PERIOD" MEASURING CONVERTERS

Summary. The influence of parameters of the signal transmission system on the accuracy of the whole measuring circuit with „parameter-to-period„ converter has been described in the paper. An optimal structure of output circuit for one of this type converter, designed for minimization of additional errors caused by type, length and location of the applied cable has been presented. The optimal structure makes it possible to reduce the additional errors about 20 times.

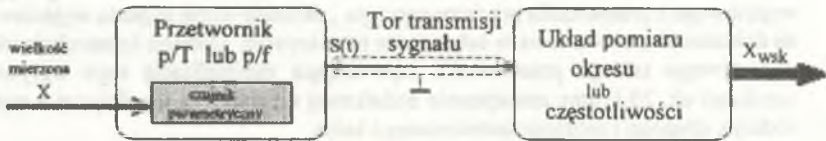
1. WPROWADZENIE

Sygnały częstotliwościowe [1] wykazują liczne zalety predystynujące je do wykorzystania w torach pomiarowych, głównie w miernictwie przemysłowym i automatycznych systemach pomiarowych. Znane są liczne układy przetworników wartości parametru czujnika pomiarowego (R,L,C) na sygnał częstotliwościowy [2], możliwa jest również optymalizacja konstrukcji tych układów ze względu na dokładność przetwarzania (liniowość, stabilność czasową, temperaturową itp.) [3, 4, 5, 6]. Ze względu na stosunkowo prostą konstrukcję istnieje możliwość integracji

układu elektrycznego przetwornika z samym czujnikiem [np.7]. Również metody pomiaru wielkości wyjściowej tego typu przetworników, tj. okresu lub częstotliwości¹ sygnału wyjściowego, zapewniają uzyskanie dużych dokładności, a przy odpowiedniej konstrukcji dalszej części toru pomiarowego, możliwe jest również uzyskanie dobrych właściwości dynamicznych [8]. Bardzo duża jest także odporność na zakłócenia.

W układach pomiarowych z wyjściowym sygnałem częstotliwościowym do pomiarów wielkości nieelektrycznych stosowane są czujniki parametryczne i układy generatorów elektronicznych lub automatyczne mostki równoważone przez zmianę częstotliwości. Przy pomiarach wielkości elektrycznych stosowane są liczne odmiany przetworników typu U/f.

Schemat blokowy typowego toru pomiarowego z sygnałem częstotliwościowym pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Tor pomiarowy z sygnałem częstotliwościowym na wyjściu przetwornika
Fig. 1. The measuring circuit with frequency output converter

W układzie tym wielkość mierzona X zmienia wartość parametru czujnika włączonego w układ generatora elektronicznego. Miarą X_{wsk} wielkości mierzonej jest wartość okresu lub częstotliwości sygnału mierzonej na wyjściu toru transmisji. Na końcową niepewność wyniku odwzorowania $X - X_{wsk}$ składają się błędy powstające w każdym z ogniw tego toru pomiarowego, w tym błędy wynikające z wpływu toru transmisji sygnału częstotliwościowego.

W pracy omówione są wybrane zagadnienia dotyczące minimalizacji wpływu toru transmisji sygnałów częstotliwościowych na dokładność przetwarzania w torze pomiarowym. Przedstawiony jest również sposób minimalizacji dodatkowej składowej niepewności końcowego wyniku pomiaru (X_{wsk}) opracowany dla pewnej klasy przetworników generacyjnych typu p/T - multiwibratorów ze stałonapięciowym przeładowaniem pojemności.

1) O tym, czy okres czy częstotliwość jest traktowana jako wielkość wyjściowa, decydują najczęściej względy praktyczne, np. liniowość (nominalna) charakterystyki statycznej, a także wymagania dotyczące właściwości dynamicznych [8].

2. WPŁYW PARAMETRÓW TORU TRANSMISJI SYGNAŁU NA DOKŁADNOŚĆ PRZETWARZANIA

Rozważając wpływ parametrów toru transmisji sygnału częstotliwościowego na dokładność pomiaru należy wziąć pod uwagę następujące zjawiska:

- występowanie zewnętrznych zakłóceń sygnału,
- wpływ obciążenia wyjścia przetwornika p/T , (p/f lub u/f) przez wejście tego toru,
- wpływ obciążenia wyjścia toru przez wejście układu pomiaru okresu (częstotliwości).

Zagadnienia dotyczące eliminacji zakłóceń są dobrze opracowane [np. 10] i nie będą przedmiotem rozważań. Wielkość mierzona jest w tym przypadku odwzorowana przez częstotliwość sygnału przenoszonego w torze transmisji, co dodatkowo podnosi odporność na zakłócenia (w stosunku do przypadku odwzorowania mierzonej wielkości przez amplitudę). Często stosowana metoda eliminacji zakłóceń przypadkowych, to uśrednianie poprzez zliczanie znacznej liczby okresów sygnału. Jest ona naturalna przy pomiarze częstotliwości, dogodna jednakże tylko przy pomiarach statycznych [8].

Obciążenie wyjścia przetwornika p/T przez wejście toru transmisji sygnału wpływa na realizowane przez ten przetwornik odwzorowanie wartości parametru czujnika na okres sygnału wyjściowego. Przykładowo dla przetworników generacyjnych może nastąpić zmiana warunków generacji [9]. O wielkości obciążenia wyjścia przetwornika decydują następujące czynniki:

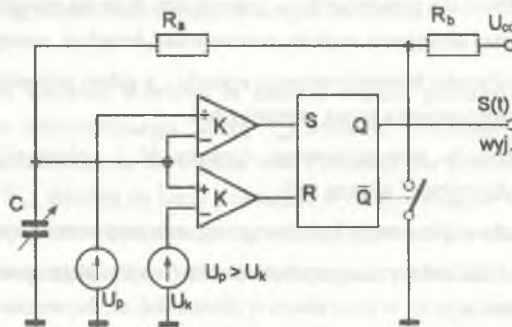
- wartości częstotliwości transmitowanego sygnału - a zatem pośrednio wartość wielkości mierzonej odwzorowywana przez częstotliwość,
- parametry przewodu połączeniowego (pojemność i upływność pomiędzy żyłami, rezystancja i indukcyjność własna żył),
- parametry układu wejściowego końcowego ogniwa toru pomiarowego (okresomierza),
- konstrukcja układu elektrycznego przetwornika (w tym także sposób montażu, rozmieszczenie elementów).

Należy zauważyć, że rozpatrywanie wyżej wymienionych czynników powinno się prowadzić łącznie, ponieważ zachodzi powiązanie pomiędzy nimi, np. impedancja wejściowa toru transmisji w ogólnym przypadku zależy od rodzaju przewodu, częstotliwości oraz od parametrów obciążenia tego toru. Istotne znaczenie ma kształt sygnału wyjściowego (jego widmo częstotliwościowe, szybkość narastania i opadania itp.). W niektórych sytuacjach (np. duże częstotliwości sygnału wyjściowego lub znaczna długość toru transmisji sygnału) należy uwzględnić również zjawiska falowe (dopasowanie falowe zarówno na wyjściu jak i na wejściu toru transmisji). Praktycznie rozważanie wpływu toru transmisji sygnału jest możliwe w konkretnych przypadkach, dla określonego typu przetworników p/f (p/T), określonych rodzajów połączenia i określonych parametrów obwodu wejściowego układu do pomiaru częstotliwości.

W praktyce przy konstruowaniu przetworników z wyjściem częstotliwościowym o zakresie zmian częstotliwości czy też o kształcie sygnału wyjściowego decydują czynniki w większym stopniu wpływające na właściwości metrologiczne całego toru pomiarowego niż parametry toru transmisji. Czynniki te są np. zakres zmienności parametru czujnika, uzyskanie dobrych właściwości temperaturowych, liniowości przetwarzania, prostota układu pozwalająca na jego integrację z czujnikiem itp. Po spełnieniu tego rodzaju ograniczeń i wytypowaniu optymalnego w danej sytuacji układu elektrycznego przetwornika p/f (p/T) wskazane może być uwzględnienie czynników, a przez to minimalizacja wpływu toru transmisji sygnału wyjściowego.

3. PRZYKŁAD KONSTRUKCJI UKŁADU WYJŚCIOWEGO MINIMALIZUJĄCEJ WPŁYW PARAMETRÓW TORU TRANSMISJI SYGNAŁU

Wyniki badań pewnej klasy układów przetworników p/T , badanych pod kątem ich przydatności do współpracy z czujnikami pojemnościowymi lub rezystancyjnymi przedstawione w pracy [3], wskazują na to, że najkorzystniejsze właściwości metrologiczne ma układ multiwibratora ze stałonapięciowym przeładowywaniem kondensatora. Schemat blokowy takiego układu pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Układ multiwibratora jako przetwornik p/T

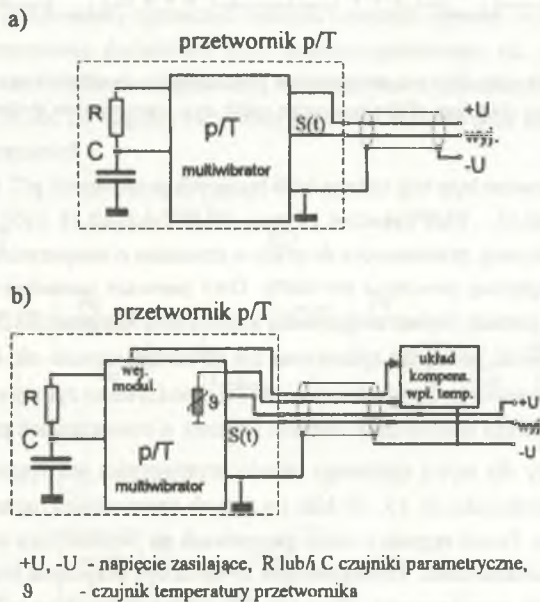
Fig. 2. A multivibrator as a „parameter-to-period” converter

W układzie tym następuje przeładowywanie kondensatora C , od napięcia U_p do U_k , poprzez rezystancje R_a przy rozładowywaniu lub $R_a + R_b$ przy rozładowywaniu, przy zasilaniu ze źródła o stałym napięciu U_{cc} . Okres sygnału wyjściowego jest wprost proporcjonalny do pojemności C i rezystancji R_a , a zatem każdy z tych elementów może być wykorzystany jako czujnik. Możliwe

jest też uzyskanie przetwornika mnożącego przy jednoczesnym wykorzystaniu dwu czujników: pojemnościowego oraz rezystancyjnego.

Analogiczną strukturę multiwibratora realizuje monolityczny układ scalony typu NE555, z tą różnicą, że stałe napięcia odniesienia dla ładowania i rozładowania (U_p i U_d) uzyskuje się poprzez podział napięcia zasilania za pomocą dzielnika rezystancyjnego. Wykorzystanie układu monolitycznego poprawia właściwości temperaturowe. Dodatkowo w układzie tym istnieje możliwość korekcji wpływu temperatury na charakterystykę przetwarzania poprzez wykorzystanie wejścia napięcia odniesienia [5].

Wyjście przetwornika p/T jest łączone z dalszą częścią toru pomiarowego za pomocą kabla dwużyłowego lub czterożyłowego (w przypadku wykorzystania możliwości kompensacji temperaturowej), tak jak to pokazano na rys.3.

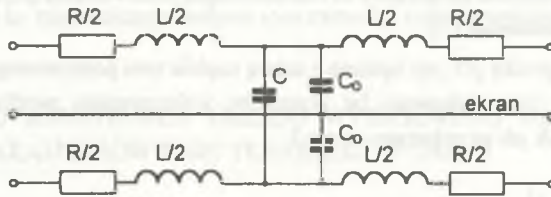


Rys. 3. Połączenie przetwornika p/T z dalszą częścią toru pomiarowego
 Fig. 3. The connection of p/T converter with next part of measuring circuit

W trakcie badań właściwości statycznych tego typu przetworników stwierdzono istotny wpływ rodzaju i długości toru transmisji sygnału częstotliwościowego na dokładność przetwarzania. W zastosowaniach praktycznych jest to znaczna niedogodność, ze względu na konieczność wzorcowania przetwornika łącznie z kablem przesyłającym sygnał wyjściowy do dalszej części toru pomiarowego. Zauważalny był również wpływ ułożenia kabla. Tego rodzaju efekt trudno jest

uwzględnić przy wzorcowaniu statycznym, w rezultacie jest on źródłem dodatkowej składowej niepewności wyniku pomiaru.

Uproszczony schemat zastępczy (w postaci elementów skupionych) dla dwużyłowego toru transmisji można przedstawić w postaci jak na rys.4. Dla torów o większej liczbie żył analogiczny schemat powinien uwzględniać większą liczbę pojemności pomiędzy poszczególnymi żyłami. Wartości parametrów elementów tego schematu zależne są od długości stosowanego kabla.



Rys. 4. Schemat zastępczy dla toru transmisji w postaci kabla dwużyłowego
Fig. 4. The equivalent diagram of the two-wire cable as a transmission system

W badaniach stosowane były trzy rodzaje kabli łączących przetwornik p/T z układem pomiaru okresu: YMPYekw4x0.15, YMPYekw2x0.15 oraz YMPYekz4x0.15 [10]. Są to kable o izolacji i powłoce polwinitowej, przeznaczone do pracy w otoczeniu o temperaturach $-25...+60^{\circ}\text{C}$, przy wilgotności względnej powietrza do 100%. Dwa pierwsze posiadają wspólny ekran dla wszystkich żył, trzeci posiada osobno ekranowaną każdą z żył. Rezystancja żyły jest nie większa niż $0.16\ \Omega/\text{m}$, pojemność pomiędzy żyłami oraz żył do ekranu wynosi ok. $80...100\ \text{pF}/\text{m}$ ($130\ \text{pF}/\text{m}$ dla żył ekranowanych indywidualnie), a indukcyjności własne żył wynoszą ok. $0.8\ \mu\text{H}/\text{m}$. Rezystancja izolacji osiąga bardzo duże wartości i została w rozważaniach pominięta.

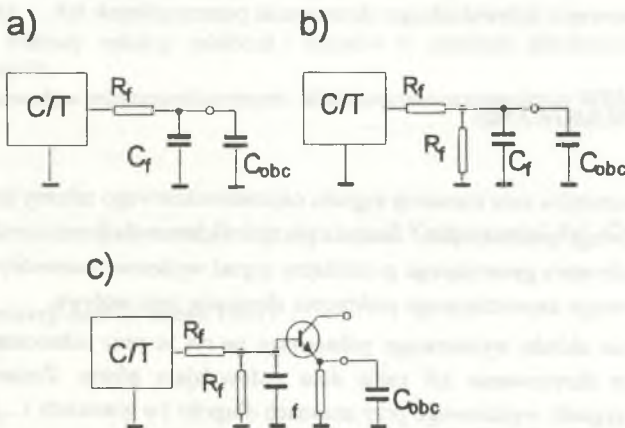
Sygnał wyjściowy dla wyżej opisanego układu przetwornika jest sygnałem prostokątnym o zakresie zmian częstotliwości ok. $15...50\ \text{kHz}$ i o dużych stromościach narastania zboczy (czas narastania rzędu 40ns). Postać sygnału o takich parametrach na wyjściu toru transmisji (o modelu jak na rys.4) jest zniekształcona. Zniekształcenie to może być przyczyną błędów powstających w ostatniej części toru pomiarowego. Znane są układy przetworników p/T generujące dogodniejszy do transmisji sygnał wyjściowy zbliżony do sinusoidy (generatory drgań harmonicznycy) [6, 9]. Charakteryzują się one ponadto dobrą stabilnością w czasie, lecz ich właściwości statyczne i dynamiczne są mniej korzystne — w szczególności charakterystyki przetwarzania są nominalnie nieliniowe, co stwarza konieczność indywidualnego wzorcowania w całym zakresie pomiarowym i korekcji (np. programowej) błędów nieliniowości. Wpływ parametrów toru transmisji sygnału wyjściowego na dokładność przetwarzania nie jest przez autorów wymienionych prac omawiany.

Drugą przyczyną błędów jest wpływ obciążenia wyjścia przetwornika p/T wnoszonego przez kabel. Powoduje ono zmianę warunków pracy przetwornika, a w efekcie zmianę częstotliwości generowanego sygnału.

Dla układu przetwornika p/T jak na rys.2 badano wpływ włączenia kabla do zacisków wyjściowych. Zmiany okresu mierzonego na wyjściu kabla, spowodowane jego dołączeniem do wejścia przetwornika, są porównywalne z błędami nieliniowości i błędami temperaturowymi tego samego przetwornika [3] i są na poziomie ok. 0.05% zakresu. Wpływ ten jest ponadto zmienny w zależności od ułożenia kabla (prosty, zwinięty itp.).

Analiza przyczyn wpływu obciążenia wyjścia przetwornika przez wejście kabla na pracę tego przetwornika, a także na dokładność pomiaru okresu sygnału na wyjściu kabla, prowadzona z uwzględnieniem uwag podanych w pkt. 2, pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Generowany sygnał o stromych zboczach może on zostać zniekształcony — mogą pojawić się oscylacje na wyjściu toru transmisji powodujące błędy pomiaru okresu sygnału. Dla uniknięcia tego efektu należy ograniczyć szybkość narastania sygnału na wyjściu przetwornika, np. przez zastosowanie dodatkowo filtra dolnoprzepustowego np. jak na rys.5a. Innym sposobem może być uzyskanie dopasowania falowego, jest to jednakże trudne do poprawnego zrealizowania, m. in. ze względu na zmiany parametrów kabla przy zmianach jego ułożenia (wyginanie, skręcanie).



Rys. 5. Układy wyjściowe minimalizujące wpływ toru transmisji na dokładność przetwarzania
 Fig. 5. The output circuits for minimization of transmission system influence on the accuracy of conversion

2. Podczas zmiany poziomu sygnału wyjściowego na przeciwny następuje przeładowanie pojemności pomiędzy żyłą sygnału wyjściowego i ekranem oraz dodatkowych pojemności w filtrze dolnoprzepustowym. Dla zmniejszenia tego efektu można zastosować dodatkowy rezystor szeregowy na wyjściu przetwornika (rys.5b). Wydłuża to jednak procesy przejściowe w układzie wyjściowym multiwibratora. W trakcie stany przejściowe następuje impulsowe zwiększenie poboru prądu ze źródła zasilania, co jest przyczyną zakłóceń wartości napięcia zasilającego, ze względu na elementy podłużne R i L schematu zastępczego. Powoduje to z kolei zmianę wartości napięć odniesienia na czas przeładowywania pojemności kabla (U_p i U_k na rys.2), ponieważ w układzie NE555 wartości tych napięć ustalone są przez podział napięcia zasilania. Skrócenie czasu przeładowywania pozwala na zmniejszenie powstających błędów przetwarzania. Można to osiągnąć przez obniżenie impedancji wyjściowej przetwornika p/T np. przez dodatkowe zastosowanie wtórnika emiterowego jak na rys.5c.
3. Ze względu na znaczne pojemności pomiędzy żyłami kabla zachodzi zjawisko zakłócania napięcia zasilającego w chwilach zmiany poziomu sygnału wyjściowego. Jest to, podobnie jak opisano wyżej, przyczyną błędów przetwarzania w przetworniku p/T. Analogiczne zjawisko dotyczy zakłócania wartości napięcia kompensującego zmiany temperaturowe dla konfiguracji z rys.3 — w czasie procesów przejściowych zakłócone napięcie kompensujące powoduje powstanie dodatkowych błędów przetwarzania. Uniknięcie tego efektu możliwe jest jedynie przez zastosowanie indywidualnego ekranowania poszczególnych żył.

4. PODSUMOWANIE

Wpływ parametrów toru transmisji sygnału częstotliwościowego zależy od konstrukcji układu wyjściowego przetwornika. Badania przeprowadzone dla przetwornika p/T opartego o układ multiwibratora generującego prostokątny sygnał wyjściowy pozwoliły na opracowanie układu wyjściowego zapewniającego praktyczną eliminację tego wpływu.

Zastosowanie układu wyjściowego pokazanego na rys.5c przy jednoczesnym stosowaniu indywidualnego ekranowania żył kabla dało zadowalające efekty. Zmiana odczytywanej częstotliwości sygnału wyjściowego przy zmianach długości (w granicach 1...10 m) i ułożenia kabla, a nawet po wprowadzeniu dodatkowej pojemności obciążenia rzędu 10 nF, nie przekraczała 0.5 Hz/25k Hz, tj. 0.002%. Uzyskano zatem ok. 20-krotne zmniejszenie omawianego wpływu. Jest to jednocześnie wartość o rząd mniejsza niż osiągalna nieliniowość i stabilność temperaturowa tego rodzaju przetwornika p/T.

LITERATURA

1. Jaworski J.: Matematyczne podstawy metrologii. WNT, Warszawa 1979.
2. Woolvet G.A.: Transducers in digital systems. Peter Peregrinus Ltd, Londyn 1977.
3. Urzędniczek H.: Comparative investigations of parameter-to-period measuring converters. Proceedings of XIII IMEKO World Congress, Torino 1994.
4. Urzędniczek H.: Wpływ pojemności rozproszenia na charakterystykę przetwarzania przetwornika C/T. Materiały XX Międzynarodowej Konferencji Metrologów, Szczecin 1988.
5. Tkocz K., Twardoń W., Urzędniczek H., Zakrzewski J.: Kompensacja temperaturowa pomiarowego przetwornika pojemnościowo-częstotliwościowego. ZN Pol. Śl., ser. Elektryka, z. 114, Gliwice 1991.
6. Kikowski M.: Analiza dokładności przetwarzania generacyjnego przetwornika z czujnikiem rezystancyjnym. Prace Instytutu Elektroniki Politechniki Śl., Gliwice 1994.
7. Albin M., Hassani m., Sali A.: A Smart Thin Film Sensor for outside Humidity Measurement. Materiały Symposium IMEKO, TC-4, Brussels, May 1993. Zakrzewski J., Urzędniczek H.: Dynamic properties of measuring circuits applied to frequency output transducers. Measurement 1993, nr 11.
8. Zakrzewski J., Urzędniczek H.: Dynamic properties of measuring circuits applied to frequency output transducers. Measurement 1993, nr 11.
9. Lasek L.: Analiza i synteza układów generacyjnych RC. ZN Pol. Śl., ser. Automatyka, z. 91, Gliwice 1988.
10. Ott H.W.: Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych. WNT, Warszawa 1979.
11. Katalog przewodów telekomunikacyjnych. Wydawnictwo przemysłowe WEMA, Warszawa 1989.

Recenzent: Dr hab. inż. Leszek Kiełtyka, prof. Pol. Częstochowskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 lutego 1996 r.

Abstract

Various types of measuring converters with parametric sensors (R, L, C, M) are used to measure nonelectric quantities in industrial measurements. To convert the sensor's parameter value into frequency or period of output signal different electronic oscillators or frequency balanced bridges are applied. The base structure of measuring circuit with "parameter-to-period" converter is shown in Fig.1. The accuracy of the whole circuit depends on the errors arising in the transmission system (transmission cable). When analyzing the influence of the transmission system parameters on the measurement accuracy, the following phenomena should be taken into

consideration: external electromagnetic disturbance, loading of the converter output by the cable and loading of the cable output by input of the period or frequency measuring device.

Results of investigations of the above mentioned effects are described in this paper. The investigations have been realized for a type of "parameter-to-period" converter, which has the best accuracy [3]. The structure of this converter is shown in Fig.2. When a cable has been connected to the output of this transducer directly, the arised additional errors have been equal to about 0.05% and their values have been comparable to other error values (nonlinearity, temperature influence). In addition, values of these errors have depended on type of the cabel and its location. To minimize the additional error a separate output circuit has been designed - Fig.5. When applying this circuit the reduction of the errors, caused by the output signal transmission system has reached 20 times.