

Dariusz PROKOP*

FILTR RC SYGNAŁÓW PRĄDOWYCH W UKŁADACH KONDYCJONOWANIA SYSTEMÓW POMIAROWYCH

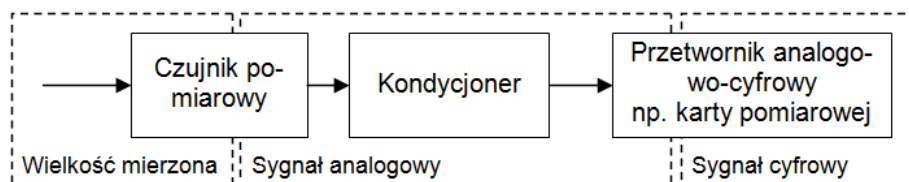
Jednym z podstawowych zadań układów kondycjonowania jest filtracja sygnałów pomiarowych pochodzących z czujników. W artykule przedstawiono układy pasywnych filtrów RC przeznaczonych do filtracji składowych częstotliwościowych prądu. Przeprowadzono symulację każdego z badanych układów a następnie zweryfikowano jego działanie doświadczalnie.

SŁOWA KLUCZOWE: filtr analogowy, kondycjonowanie sygnałów pomiarowych, systemy pomiarowe

1. WSTĘP

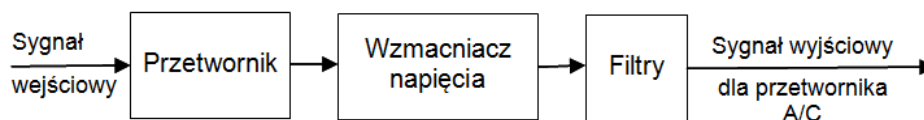
Informacja pomiarowa, pochodząca z czujników zawarta może być w różnych mierzonych wielkościach elektrycznych [2]. Najczęściej taką wielkością jest wartość napięcia, prądu, rezystancji, czasu bądź częstotliwości. Współczesne komputerowe systemy pomiarowe przetwarzają wymienione wielkości na postać cyfrową za pomocą odpowiedniego przetwornika analogowo-cyfrowego [3]. Powszechnie przetwarzaną wielkością na postać cyfrową jest napięcie. Zatem każdy system pomiarowy dodatkowo wyposażony jest w układ kondycjonowania, który dostosowany do źródła sygnału pomiarowego wzmacnia jego moc i przetwarza na napięcie w zakresie pracy przetwornika analogowo-cyfrowego tłumiąc niepożądane szумы i zakłócenia. Zakłócenia oddziałując na system pomiarowy, zniekształcają pozyskiwane informacje oraz ograniczają zakres mierzonej wielkości. Jednym ze sposobów ich eliminacji jest tłumienie składowych zakłócających przez zastosowanie odpowiedniej filtracji zarówno po stronie analogowej jak i cyfrowej. Układy kondycjonerów buduje się z przeznaczeniem do współpracy z określonymi typami czujników np. z rezystancyjnymi czujnikami temperatury, naprężeń mechanicznych. Jednak gotowe rozwiązania nie zawsze nadają się do wszystkich aplikacji pomiarowych, przez co często konstruuje się specjalistyczne układy kondycjonowania o szczególnych parametrach. Schemat blokowy typowego systemu pomiarowego z układem kondycjonowania przedstawia rysunek 1.

* Politechnika Poznańska.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu pomiarowego z układem kondycjonowania

Kondycjonery zawierają typowe struktury wzmacniaczy i przetworników napięcia lub prądu oraz różne typy filtrów analogowych. Kolejność wzajemnego połączenia układów przetwarzających sygnał analogowy może być różna, natomiast najczęściej spotykaną strukturę przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat blokowy najczęściej spotykanej struktury kondycjonera

Skuteczną filtrację z reguły prowadzi się za pomocą kilku filtrów aktywnych jak i pasywnych włączanych w różnych miejscach układu kondycjonowania. Jeśli sygnałem pomiarowym jest napięcie struktury typowych filtrów są dobrze znane, opisane i prezentowane w literaturze [1, 4–7]. W przypadku, kiedy sygnałem pomiarowym jest prąd, filtrację najczęściej prowadzi się po przetworzeniu jego wartości na napięcie. Często sygnał prądowy może zawierać składowe częstotliwościowe mogące przesterować wzmacniacze wejściowe lub przetwornik prąd-napięcie [5]. W celu ochrony elementów toru pomiarowego np. wzmacniaczy, przetworników przed przesterowaniem można dokonać wstępnej filtracji prądowego sygnału pomiarowego jeszcze przed jego przetworzeniem na napięcie. Typowe rozwiązania struktury filtrów analogowych włączone w obwód mierzony prądu nie są skuteczne a ich bezkrytyczne zastosowanie może doprowadzić do zniekształcenia informacji w nim zawartej [1].

2. STRUKTURY BADANYCH FITRÓW RC

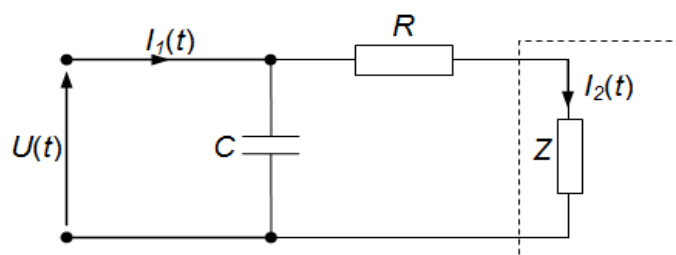
Pierwszą rozpatrywaną strukturą jest dolnoprzepustowy filtr RC, którego struktura przedstawiona jest na rysunku 3.

Sygnałem wyjściowym filtru jest prąd $I_2(t)$, przepływający przez impedancję Z , wejściową następnego stopnia układu przetwarzania. Impedancja ta powinna mieć wartość jak najmniejszą, bliską zero. Ponieważ filtr jest rozpatrywany

w ujęciu sygnałów prądowych jego wzmocnienie prądowe można przedstawić w postaci:

$$K_I(s) = \frac{1}{sRC + 1} \quad (1)$$

gdzie, $I_1(s)$ – prąd wejściowy filtru, $I_2(s)$ – prąd wyjściowy filtru.

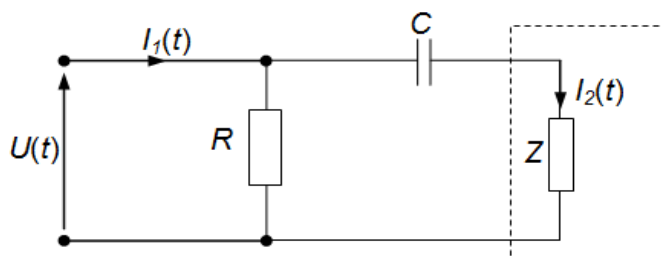


Rys. 3. Filtr dolnoprzepustowy RC

Częstotliwość graniczna filtru można wyznaczyć ze wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

Drugą rozpatrywaną strukturą filtru jest filtr górnoprzepustowy przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Filtr górnoprzepustowy RC

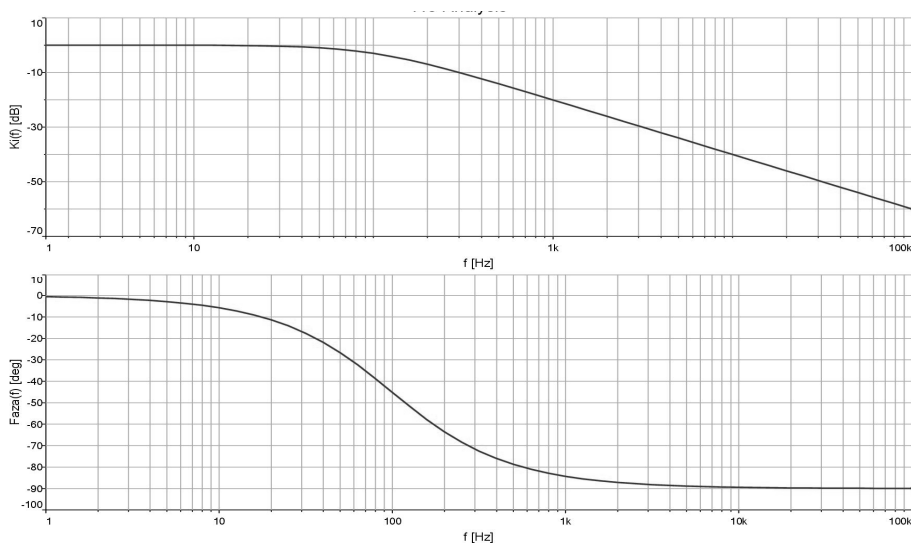
Również w tym przypadku impedancja wejściowa kolejnego układu powinna mieć jak najmniejszą wartość. Wzmocnienie prądowe filtru jest równe:

$$K_I(s) = \frac{sRC}{sRC + 1} \quad (3)$$

a częstotliwość graniczna filtru f_g jest również zdefiniowana tym samym wzorem (2). Przedstawione filtry dla sygnałów prądowych różnią się od swoich odpowiedników napięciowych sposobem połączenia elementów RC.

3. BADANIA SYMULACYJNE ANALIZOWANYCH FILTRÓW

Sprawdzenia właściwości filtrów wykonano poprzez symulację analizowanych filtrów RC za pomocą programu Multisim. Wybrano testową częstotliwość graniczną równą $f_g = 100$ Hz i obliczono wartości rezystancji i pojemności filtra równe odpowiednio: $R = 16$ k Ω , $C = 100$ nF. W wyniku symulacji otrzymano charakterystykę amplitudową i fazową w zakresie od 0–100 kHz pokazaną na rysunku 5.



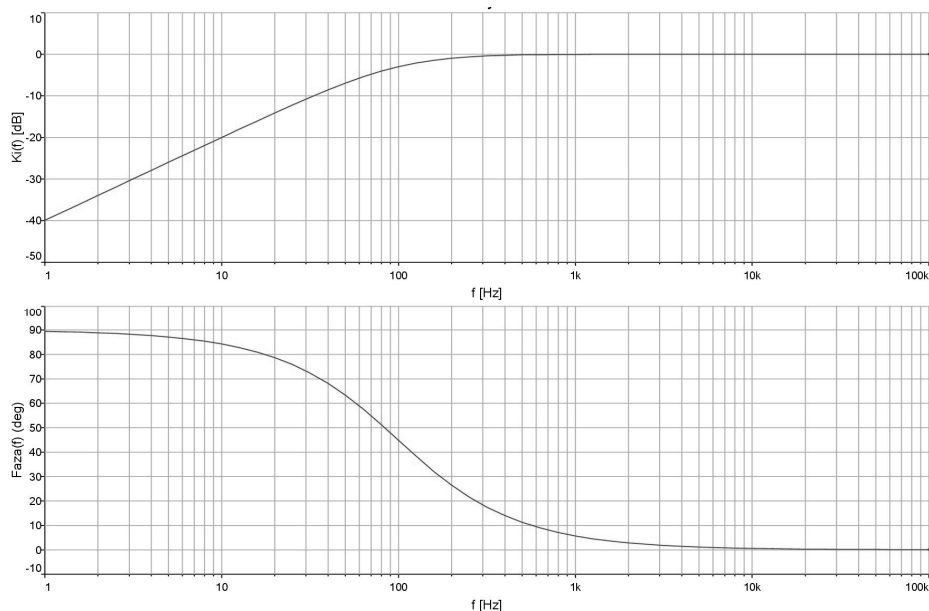
Rys. 5. Charakterystyka amplitudowa i fazowa dolnoprzepustowego filtra prądowego

Wartość częstotliwości granicznej zgadza z wartością otrzymaną z obliczeń a rząd filtru wynosi jeden.

Następnym sprawdzany filtrem był filtr górnoprzepustowy pierwszego rzędu. Również w tym przypadku przyjęto taką samą częstotliwość graniczną filtra $f_g = 100$ Hz a wartości elementów R i C mają to samą wartość, co dla filtra dolnoprzepustowego. Wynikiem symulacji były charakterystyki amplitudowe i fazowe przedstawione na rysunku 6.

Przedstawione charakterystyki amplitudowe to typowy górnoprzepustowy filtr pierwszego stopnia o przyjętej częstotliwości granicznej.

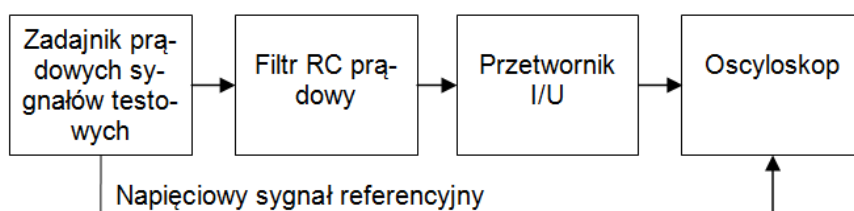
Należy pamiętać o wartości impedancji wejściowej filtru i jej wpływu na źródło wymuszające określoną wartość prądu. Przy dużej wartości impedancji wejściowej filtru, większe wartości prądu wymuszanego przez źródło, będą wymagać wyższej wartości napięcia na jego zaciskach.



Rys. 6. Charakterystyka amplitudowa i fazowa górnoprzepustowego filtra prądowego

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE FILTRÓW

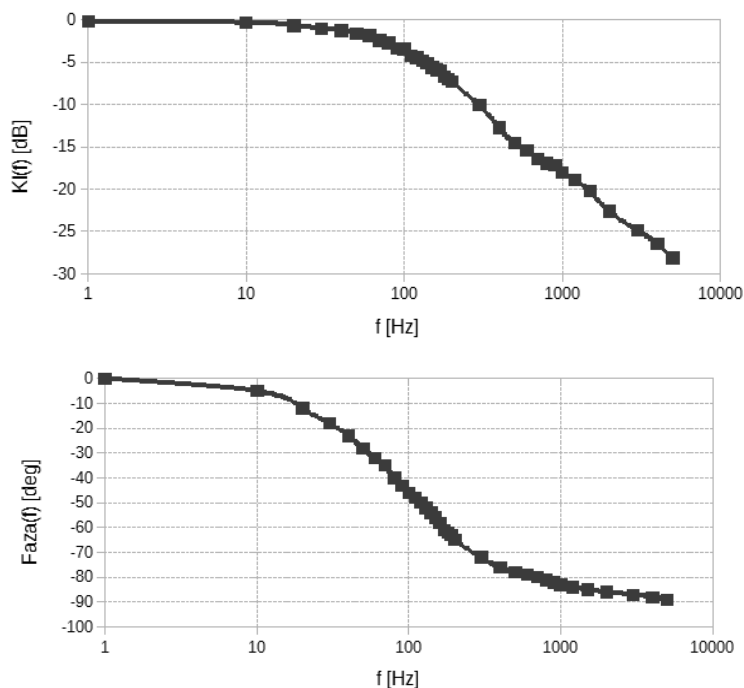
Na podstawie przeprowadzonych symulacji wykonano omawiane struktury filtrów i sprawdzono ich działanie. Układ pomiarowy do testowania filtrów przedstawiono na rysunku 7. Głównym przyrządem pomiarowym był oscyloskop firmy Agilent Technologies – DSO-1072B, którego błąd pomiarowy wynosi 3% dla używanych zakresów pomiarowych.



Rys. 7. Schemat procedury sprawdzania filtrów

Do wejścia badanego filtra dołączono źródło prądowe generujące sinusoidalny przebieg prądu o zadanej częstotliwości, który za pomocą przetwornika prąd-napięcie przetwarzany był na napięcie. Dokonując pomiaru wartości napięcia międzyszczytowego opowiadającego prądowi wejściowemu i wyjściowemu

filtru, wyznaczono wzmocnienie prądowe oraz kąt przesunięcia fazowego dla dwóch badanych typów filtrów. Charakterystykę amplitudową i fazową badanego filtra dolnoprzepustowego przedstawiono na rysunku 8.



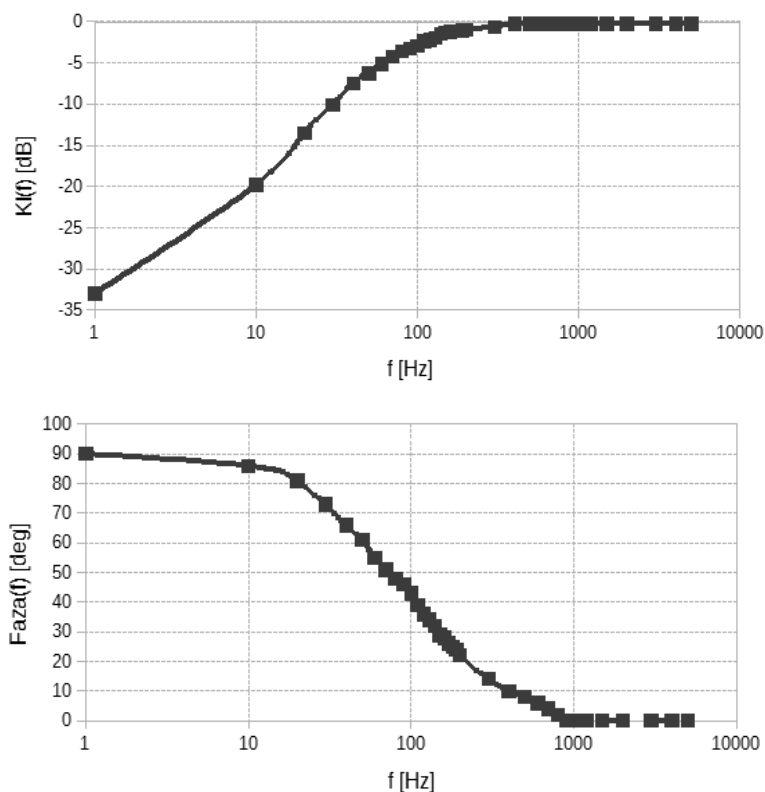
Rys. 8. Charakterystyka amplitudowa fazowa filtra dolnoprzepustowego RC

Przebieg otrzymanej charakterystyki jest podobny do tej otrzymanej w wyniku symulacji programem komputerowym. Dobrze widoczny jest obszar przejściowy z częstotliwością graniczną równą około 98 Hz. Pasma zaporowe powyżej 5 kHz było trudno wyznaczyć ze względu na małe wartości rejestrowanych napięć międzyszczytowych i duży błąd pomiaru. Przebieg fazy analizowanego filtra również ma właściwy przebieg w badanym obszarze.

Na rysunku 9 przedstawiono charakterystyki amplitudowe i fazowe filtra górnoprzepustowego RC.

Testowane rozwiązanie filtra górnoprzepustowego również potwierdziło jego właściwości otrzymane w wyniku przeprowadzonej wcześniej symulacji. Częstotliwość graniczna filtra jest równa około 98 Hz, co jest widoczne na wyznaczonych przebiegach. Dla niskich częstotliwości rejestrowane wartości międzyszczytowe prądu wyjściowego filtra miały małą wartość, przez co dokład-

ność wyznaczonych punktów na charakterystykach w obszarze zaporowym jest mniejsza.



Rys. 9. Charakterystyka amplitudowa i fazowa filtru górnoprzepustowego RC

Połączenie kolejnych analizowanych ogniw filtru tego samego typu zwiększa jego rząd. Zestawienie dwóch przedstawionych struktur (dolno i górnoprzepustowej) umożliwia wykonanie filtru środkowoprzepustowego o przyjętych częstotliwościach granicznych. Za stosowaniem filtrów RC dodatkowo przemawia fakt większego wyboru wartości dostępnych elementów rezystancji i pojemności przy dość małych ich tolerancjach. Jednak w podobny sposób można zbudować filtry z pojemnością C i indukcyjnością L wstawioną zamiast lub częściej połączoną z rezystancją R . Ponieważ podstawowy filtr tego rodzaju jest drugiego rzędu należy przy projektowaniu złożyć jego typ (np. Bessela, Butterwortha, Czebyszewa) stosownie do realizowanego zdania w systemie pomiarowym [1, 6, 7]. Jeśli informacja zawarta jest kształcie przebiegu prądu stosowany typ filtru powinien zapewniać stałe opóźnienie grupowe w całym paśmie przepustowym.

5. PODSUMOWANIE

Często mierzonym sygnałem pomiarowym jest przebieg prądu, który należy poddać odpowiedniemu procesowi kondycjonowania przed przetworzeniem na postać cyfrową. W pracy przeanalizowano proste konfiguracje filtrów RC, które można zastosować do filtracji prądowych sygnałów pomiarowych w układach kondycjonowania. Opracowane struktury funkcjonowały prawidłowo, co potwierdziły wyniki otrzymane z symulacji i doświadczalne. Przy doborze wartości elementów R i C do założonej częstotliwości granicznej, należy zwrócić uwagę na odpowiednią impedancję wejściową filtru dobraną stosownie do maksymalnego napięcia jakie źródło prądowe przy danym prądzie jest w stanie wygenerować. Alternatywnie można zastosować podobne konstrukcje filtrów RLC odpowiedniego typu.

LITERATURA

- [1] Izydorczyk J., Konopacki J., *Filtry analogowe i cyfrowe*. Katowice, Wyd. Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, 2003.
- [2] Miłek M., *Metrologia elektryczna wielkości nielektrycznych*. Zielona Góra, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2006.
- [3] Nawrocki W., *Rozproszone systemy pomiarowe*. Warszawa, WKŁ, 2006.
- [4] Nawrocki W., Lange K., Arnold K., *Układy elektroniczne*, 2nd ed. Poznań, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2002.
- [5] Tietze U., Schenk C., Błaszowski A., *Układy półprzewodnikowe*, Wyd. 3 zm. (dodr.). Warszawa, WNT, 1997.
- [6] Williams A.B., Taylor F.J., *Electronic filter design handbook*. New York; London, McGraw-Hill, 2006.
- [7] Winder S., Winder S., *Analog and digital filter design*. Amsterdam; Boston, Newnes, 2002.

RC FILTER FOR CURRENT SIGNALS IN CONDITIONING CIRCUIT OF MEASUREMENT SYSTEMS

One of basic task of conditioning circuit is filtering measurement signals incoming from sensors. In the article passive RC filters for filtering current frequency components was presented. Each of examined filters was simulated and then experimentally verified.

(Received: 06. 02. 2017, revised: 20. 02. 2017)