

**Streszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sławomira Koconia  
pt. "Synteza i analiza właściwości dyskretnych filtrów wycinających o  
niezerowych warunkach początkowych i zmiennych w czasie parametrach"  
w formie zbioru powiązanych tematycznie artykułów naukowych**

W wielu systemach pomiarowych, między innymi w systemach pomiaru krótkotrwałych zdarzeń w sygnałach biomedycznych lub systemach pomiaru sygnałów o znacznie ograniczonej długości (trwających czasami zaledwie kilkanaście próbek), istotnym jest, aby filtr eliminujący niepożądane częstotliwości wypracowywał sygnał wyjściowy tak szybko jak jest to możliwe. Kolejnym bardzo istotnym problemem występującym podczas rejestracji sygnałów jest nakładanie się zakłóceń i interferencji na mierzony sygnał. W celu usunięcia niepożądanych częstotliwości znajdujących się w zakresie pasma użytecznego sygnału stosowane są zazwyczaj wąskopasmowe filtry wycinające.

Początkowy przebieg sygnału wyjściowego filtra jest zaburzony przez stan przejściowy, będący efektem przyjętej aproksymacji odpowiedzi częstotliwościowej układu. Większość metod syntezy filtrów uwzględnia jedynie parametry częstotliwościowe w swoich założeniach projektowych. Właściwości dynamiczne zazwyczaj nie są brane pod uwagę podczas procesu projektowania filtra. W rezultacie parametry dynamiczne są efektem wtórnym przyjętych wymagań w dziedzinie częstotliwości. Redukcja stanu przejściowego możliwa jest między innymi poprzez uwzględnienie niezerowych warunków początkowych oraz zastosowanie zmiennych w czasie parametrów filtra. Warunki początkowe równania różnicowego zawierają informacje na temat stanu układu w przeszłości (przed uruchomieniem układu). Gdy warunki początkowe mają zerową wartość dla każdej próbki sygnału w przeszłości, wówczas odpowiedzią filtra jest jego odpowiedź swobodna, która zależy tylko od parametrów zastosowanego filtra. Dobierając odpowiednie wartości warunków początkowych jesteśmy w stanie dokonać korekty właściwości dynamicznych filtra. Poprawę właściwości dynamicznych wąskopasmowego filtra zaporowego można również uzyskać zmieniając w czasie szerokość jego pasma zaporowego. Zmiana parametrów filtra w skończonym horyzoncie czasowym pozwala na zredukowanie wpływu stanu nieustalonego na odpowiedź filtra.

Przedstawiony zbiór publikacji, stanowiący rozprawę doktorską, potwierdza możliwość redukcji czasu trwania oraz amplitudy stanu przejściowego w cyfrowych wąskopasmowych filtrach wycinających poprzez zastosowanie niezerowych warunków początkowych oraz uzmiennienie w czasie wybranych jego parametrów.

W ramach przedstawionego zbioru publikacji analizie poddano następujące struktury filtrów: filtr o skończonej odpowiedzi impulsowej (SOI) skonstruowany na bazie prototypowego wąskopasmowego filtra wycinającego o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (NOI), filtr SOI skonstruowany na bazie prototypowego liniowego stacjonarnego filtra Kalmana, klasyczny filtr wycinający NOI drugiego rzędu, a także eliptyczny filtr wycinający NOI. Ponadto, zaproponowano strukturę filtra SOI na bazie niezerowych warunków początkowych wyznaczonych za pomocą projekcji wektorowej. W każdej z zaprezentowanych struktur filtrów współczynniki filtra przez pewien określony czas zmieniają swoją wartość, aż do osiągnięcia zakładanych wartości docelowych, które determinowane są przyjętą specyfikacją częstotliwościową. Ponadto, dla każdej z przedstawionych struktur wyznaczono niezerowe warunki początkowe. W zaprezentowanych artykułach zaproponowano także metody doboru parametrów początkowego promienia biegunca projektowanego filtra oraz długości wektora warunków początkowych dla równania różnicowego opisującego filtr w dziedzinie czasu. Zaproponowano strategię uzmienniania parametrów według funkcji liniowej, Béziera i krzywej B-sklejanej. Dla krzywych parametrycznych zastosowano optymalizację ich parametrów za pomocą algorytmów genetycznych i symulowanego wyżarzania. Zweryfikowano jakość procesu filtracji w przypadku zastosowania arytmetyki stałoprzecinkowej 8- i 16-bitowej, a także zweryfikowano wpływ tych arytmetyk na charakterystyki częstotliwościowe filtrów o zmiennych w czasie parametrach.

Osiągnięte wyniki potwierdzają możliwość poprawy właściwości dynamicznych filtrów poprzez tymczasową zmianę w czasie wybranych parametrów tych filtrów. W celu dalszej poprawy właściwości dynamicznych filtrów wprowadzono niezerowe warunki początkowe dla proponowanych struktur. Ponadto, integracja zmienności parametrów filtra w kończonym horyzoncie czasowym z niezerowymi warunkami początkowymi pozwala na dalszą redukcję stanu nieustalonego filtra, a co za tym idzie na dalszą poprawę jakości filtracji.

26.05.2022

Stawomir  
Kozłowski

**Summary of the doctoral dissertation of M.Sc. Eng. Sławomir Kocoń entitled  
“Synthesis and analysis of properties of discrete notch filters with non-zero  
initial conditions and time-varying parameters” in the form of a collection of  
thematically related scientific articles**

In many measurement systems, including those measuring short-duration events in biomedical signals or systems measuring signals of significantly limited length (sometimes lasting only several samples), it is important that a filter eliminating unwanted frequencies develops the output signal as quickly as possible. Another very significant problem occurring during signal registration is the superposition of noise and interference on the measured signal. Usually, narrowband notch filters are used to remove those unwanted frequencies that are in the useful band of the signal.

The initial output signal of the filter is disturbed by a transient, which is the result of the assumed approximation of the frequency response of the system. Most methods of filter synthesis consider only the frequency parameters in their design considerations. Dynamic properties are usually not taken into account during the filter design process. As a result, the dynamic parameters are a secondary effect of the assumed frequency-domain requirements. Transient reduction is possible, for example, by taking into account non-zero initial conditions and using time-varying parameters of the filter. The initial conditions of the differential equation contain information about the state of the system in the past (before starting the system). When the initial conditions have a zero value for each sample of the signal in the past, then the response of the filter is its free response, which depends only on the parameters of the used filter. By choosing appropriate values of initial conditions one can correct the dynamic properties of the filter. Improvement of the dynamic properties of a narrow bandstop filter can also be achieved by changing in time the width of the stopband of the filter. Changing the filter parameters in a finite time horizon allows to significantly reduce the transient response of the filter.

The presented collection of publications confirms the possible reduction of transient duration and transient amplitude in digital narrowband notch filters through non-zero initial conditions and time variation of its selected filter parameters.

The following filter structures were analyzed as part of the presented collection of papers: a finite impulse response (FIR) filter based on a prototype narrowband infinite impulse response (IIR) notch filter, an FIR filter based on a prototype linear stationary Kalman filter, a classical second-order IIR notch filter, and an elliptical IIR notch filter. Moreover, an FIR filter structure based on non-zero initial conditions calculated using vector projection is proposed. In each of the presented filter structures, the filter coefficients change their value for a certain period until reaching the assumed target values, which are determined by the assumed frequency specification. Moreover, non-zero initial conditions have been determined for each of the presented structures. The presented papers also propose methods of selecting the initial pole radius of the designed filter and the length of the initial conditions vector. The strategies for the parameter variation according to the linear function, Bezier function, and B-spline were proposed. For parametric curves, optimization of their parameters by genetic algorithms and simulated annealing was applied. The quality of the filtering process was verified in the case of using 8- and 16-bit fixed-point arithmetic and the influence of this arithmetic on the frequency characteristics of filters with time-varying parameters was also verified.

The obtained results confirm the possibility of improving the dynamic properties of the filters by temporarily changing the parameters of these filters. To further improve the dynamic properties of the filters, non-zero initial conditions have been introduced for the proposed structures. Moreover, the integration of the variation of the filter parameters in the finite time horizon with the non-zero initial conditions allows further reduction of the filter transients and thus further improvement of the filtering quality.