

PROGRAMOWALNE FILTRY AKTYWNE – *ispPAC10*

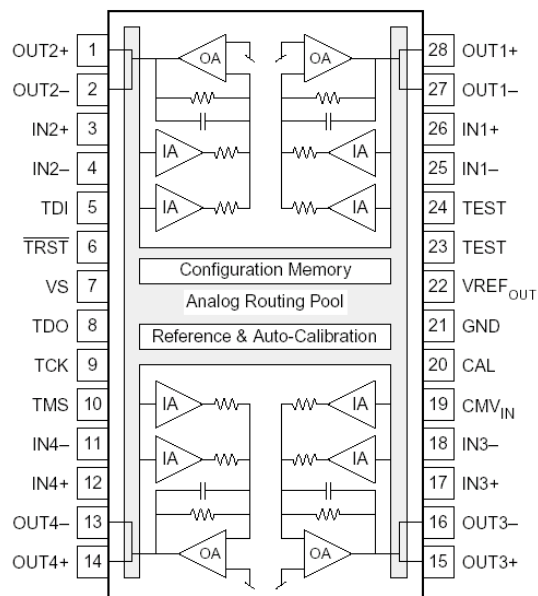
1. PRZEBIEG ĆWICZENIA

1.1

Zapoznać się z poniższym opisem układu *ispPAC10*. Uruchomić program „PAC-Designer”, otworzyć plik *ispPAC10_BF.pac* i opanować posługiwanie się programem w zakresie:

- konfigurowania połączeń, doboru wartości pojemności i wzmocnień w oknie „Schematic”;
- obsługi symulatora (Tools/Run Simulator);

Układ *ispPAC10* firmy Lattice Semiconductor zawiera 4 programowalne moduły, tzw. „PACbloki” oraz, również programowalny, system połączeń wewnętrznych. Każdy moduł zawiera wyjściowy wzmacniacz sumujący (OA) oraz 2 wejściowe wzmacniacze (IA1, IA2) o niezależnych wzmocnieniach równych ± 1 , ± 2 , ... ± 10 . Pętla sprzężenia zwrotnego wzmacniacza wyjściowego (OA) zawiera rezystor R_F , który może być włączony lub wyłączony, oraz pojemność C_F o wartości nastawianej w granicach 1 – 62 pF. W ten sposób każdy z modułów ma możliwość sumowania 2 sygnałów i ich wzmocnienia i/lub całkowania. Łącząc kaskadowo „PACbloki” możemy budować np. filtry drabinkowe lub bikwadratowe. Programowanie układu polega na doborze wzmocnień, wartości pojemności i połączeń wewnętrznych. Odbywa się ono za pośrednictwem programu „PAC-Designer” poprzez kabel łączący port równoległy komputera PC z wejściami programującymi układu. Ustawienia są zapamiętywane w nieulotnej pamięci wewnętrznej E²CMOS układu (www.latticesemi.com).

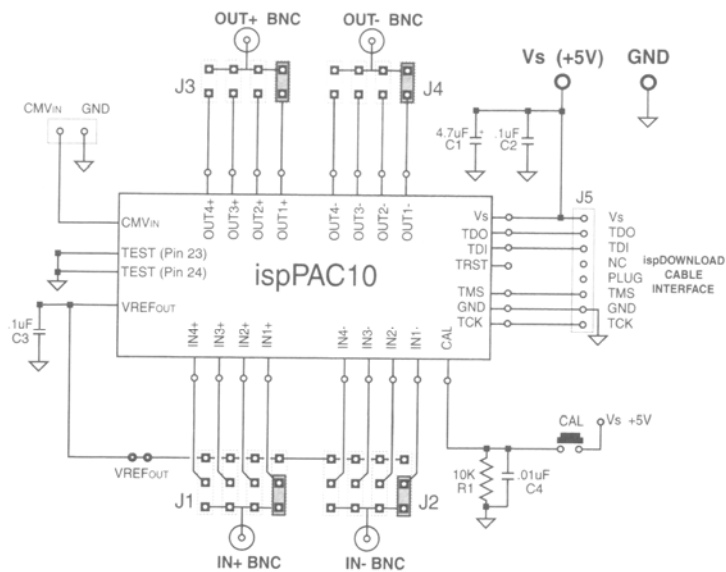


- odczytu wartości wzmocnienia i fazy z wykresów w oknie „Plot” (View/Crosshair);
- zapisu schematu i wyników symulacji do plików (File/Export).

1.2

Zaprojektować bikwadratowy filtr o zadanej transmitancji (częstotliwość graniczna f_0 , dobroć Q , wzm. dla pr. Stałego, wzmDC - patrz tabela poniżej i przykład obliczeniowy). Zapisać do plików schemat układu (print screen) i odpowiadające mu charakterystyki amplitudową i fazową (format *.csv) obserwowane na wyjściu filtru. Połączyć kabel programujący z płytką PFA, a następnie połączyć układ do pomiaru charakterystyk amplitudowej i fazowej w funkcji częstotliwości. Należy wykorzystać oscyloskop z możliwością pomiaru częstotliwości, wartości skutecznej napięć oraz fazy pomiędzy przebiegami w obu kanałach. Przy konfigurowaniu wejść i wyjść na płytce PFA należy pamiętać o tym, że:

- a) zwory powinny łączyć odpowiednie wejścia i wyjścia układu *ispPAC10* z gniazdami BNC;
- b) wszystkie wejścia i wyjścia układu *ispPAC10* są różnicowe, przy czym napięcie wspólne (Common Mode Voltage) wynosi 2,5V;



ispPAC10 Evaluation Board EV-2A

c) sterowanie wejścia tylko jednym napięciem (np. na końcówce IN1+) jest możliwe, jeśli sygnał zawiera składową stałą o wartości około 2,5 V zaś do drugiej końcówki (IN1-) doprowadzone jest napięcie stałe 2,5 V np. przez połączenie tego wejścia z napięciem odniesienia $VREF_{OUT} = 2,5V$;

d) napięcie mierzone na końcówce OUT+ jest połową napięcia wyjściowego.

Zaprogramować układ. W tym celu należy:

- eksportować plik konfiguracyjny w formie SVF (File-Export),
- uruchomić program ispVM,
- otworzyć plik pac10.xcf, a następnie wybrać urządzenie JTAG-SOF wczytać utworzony wcześniej plik SVF.
- zaprogramować układ przyciskiem GO

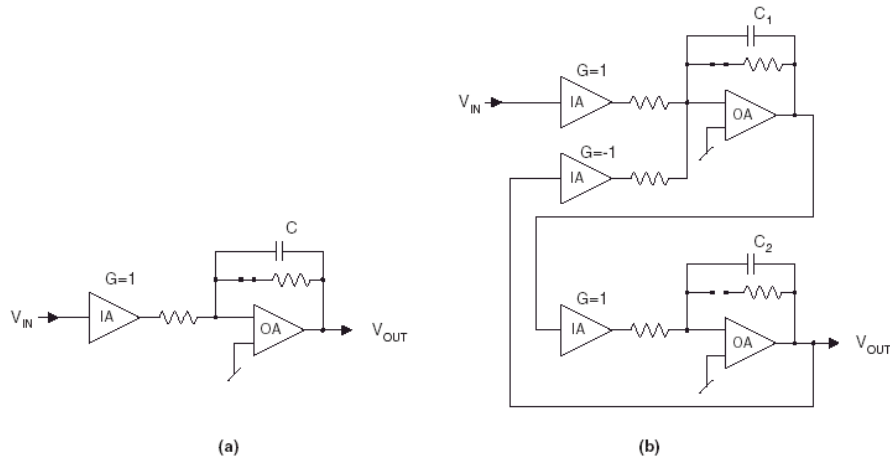
Następnie przeprowadzić pomiary wzmocnienia (napięcia wyjściowego) i fazy w funkcji częstotliwości za pomocą oscyloskopu cyfrowego. Należy tak dobrać amplitudę napięcia wejściowego, aby żaden z modułów filtra nie uległ przesterowaniu.

$$\text{parametry transmitancji } T(s) = \frac{\text{wzmDC}\omega_0^2}{s^2 + s\frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}$$

zespół	1	2	3	4	5
$f_0[\text{kHz}]/Q/\text{wzmDC}$	10,3/1/3	35,5/2,5/2	80/2,5/1	100/2/-2	53/3,9/-2

1.3.

Bazując na tabelach projektowych zaprogramować i przeprowadzić pomiar charakterystyk filtru wyższego rzędu jako kaskadowego połączenia sekcji bikwadratowych (rys. b) i/lub sekcji pierwszego rzędu (rys. a).



Dla filtru jednobiegunowego przyjąć, że:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_F C} \quad R_F = 2.5 \cdot 10^5. \quad (1)$$

Dla sekcji bikwadratowej przyjąć, że (patrz przykład obliczeniowy)

$$f_0 = \frac{Q}{2\pi R_F C_1} = \frac{1}{2\pi Q R_F C_2} \quad R_F = 2.5 \cdot 10^5. \quad (2)$$

Tabele projektowe

Lattice Semiconductor

Designing Higher-order Filters
with the ispPAC10

Appendix - Filter Design Tables

Table A.1. Butterworth Filters, 1st through 8th Order

Order	1 st -Order Section	2 nd -Order Section #1		2 nd -Order Section #2		2 nd -Order Section #3		2 nd -Order Section #4	
	f_0	f_0	Q	f_0	Q	f_0	Q	f_0	Q
1	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	1.000	0.707	—	—	—	—	—	—
3	1.000	1.000	1.000	—	—	—	—	—	—
4	—	1.000	0.541	1.000	1.307	—	—	—	—

Table A.2. Bessel Filters, 2nd through 8th Order

Order	1 st -Order Section	2 nd -Order Section #1		2 nd -Order Section #2		2 nd -Order Section #3		2 nd -Order Section #4	
	f_0	f_0	Q	f_0	Q	f_0	Q	f_0	Q
2	—	1.2736	0.5773	—	—	—	—	—	—
3	0.9244	1.0303	0.6911	—	—	—	—	—	—
4	—	0.9444	0.5221	1.5089	0.8051	—	—	—	—

Table A.3. Chebyshev Filters, 0.1 dB Ripple, 2nd through 4th Order

Order	1 st -Order Section	2 nd -Order Section #1		2 nd -Order Section #2	
	f_0	f_0	Q	f_0	Q
2	—	0.9368	0.7673	—	—
3	0.9700	1.2998	1.3408	—	—
4	—	0.8937	0.5786	1.1854	1.9561

Table A.4. Chebyshev Filters, 0.25 dB Ripple, 2nd through 4th Order

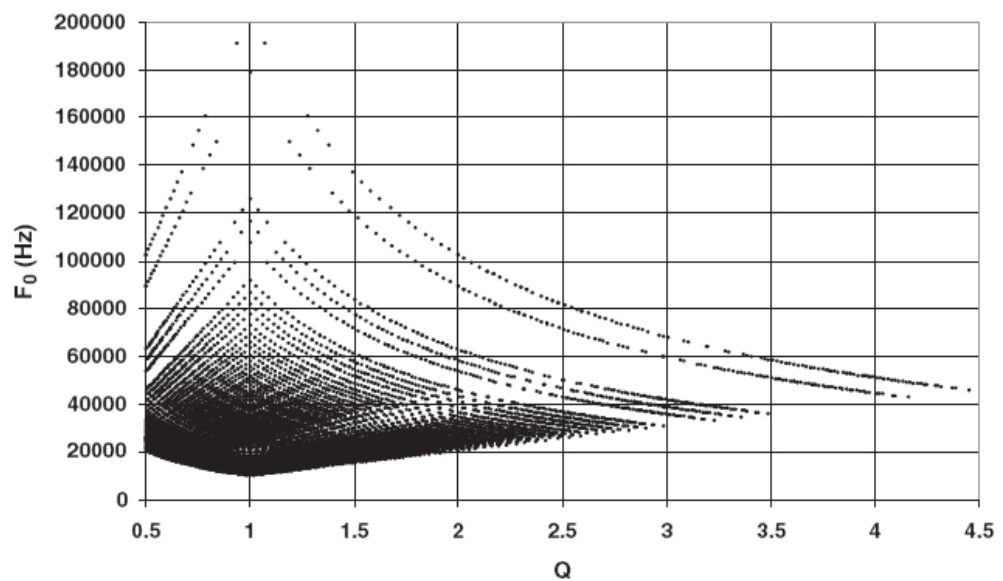
Order	1 st -Order Section	2 nd -Order Section #1		2 nd -Order Section #2	
	f_0	f_0	Q	f_0	Q
2	—	0.9098	0.8093	—	—
3	0.7669	1.1574	1.5083	—	—
4	—	0.7646	0.5898	1.0978	2.2341

Table A.5. Chebyshev Filters, 0.5 dB Ripple, 2nd through 4th Order

Order	1 st -Order Section	2 nd -Order Section #1		2 nd -Order Section #2	
	f_0	f_0	Q	f_0	Q
2	—	0.8860	0.8638	—	—
3	0.6264	1.0690	1.7049	—	—
4	—	0.6725	0.6008	1.0422	2.5507

(w kolumnach f_0 podano mnożnik dla częstotliwości granicznej, w kolumnach Q wartość dobroci)

ispPAC10 Biquad Design Space



2. SPRAWOZDANIE

Przyjmując, że „PACblok” realizuje funkcję przenoszenia

- przy włączonym R_F :
$$V_{OUT} = -\frac{k_1 V_{IN1} + k_2 V_{IN2}}{1 + s\tau} \quad \tau = C_F R_F = 2.5 \cdot 10^5 C_F, \quad (3)$$

- przy wyłączonym R_F :
$$V_{OUT} = -\frac{k_1 V_{IN1} + k_2 V_{IN2}}{s\tau}. \quad (4)$$

2.1 Wykonać obliczenia projektowe filtrów z p.1.2 i 1.3.

2.2 Wyznaczyć analitycznie charakterystyki amplitudową i fazową filtru badanego w pkt. 1.2.

2.3 Wyniki obliczeń analitycznych, symulatora (pliki) i pomiarów porównać na wykresie $|k_u(f)|$ w skali log-log. Na rysunku powinny znajdować się 3 wykresy. Podobny rysunek wykonać dla fazy $\phi = \arg(k_u(f))$ w skali lin-log.

2.4 Korzystając z charakterystyk wyznaczonych przez symulator w p.1.2 i p.1.3 i zapisanych w plikach „*.csv” sporządzić wykresy Nyquista, $\text{Re}[k_u]$ w funkcji $\text{Im}[k_u]$ dla obu badanych filtrów.

2.5 Narysować schematy układów pomiarowych (zaznaczyć położenie zwór) oraz zamieścić tabele z wynikami pomiarów.

3. WYKAZ WKŁADEK I PRZYRZĄDÓW

- płytki PFA
- generator napięcia przemiennego, oscyloskop cyfrowy
- trójnik BNC

4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Mając do dyspozycji układ ispPAC10 zaprojektować filtr dolnoprzepustowy I-go rzędu, o wzmacnieniu $wzmDC=H_0 = 2$, dobroci $Q = 2,5$ i częstotliwości $f_0 = 35,5$ kHz. Transmitancja filtru:

$$T(s) = \frac{H_0 \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2}$$

Projektowanie filtrów w układzie ispPAC10 opiera się na metodzie zmiennych stanu. Ogólnie taki filtr składa się z czwórnika wzmacniacza oraz czwórnika sprzężenia zwrotnego (s.z.). Sygnał sprzężenia zwrotnego musi być podany na wejście ze znakiem przeciwnym, aby układ pozostał stabilny. Transmitancja układu z zamkniętą pętlą s.z. (rysunek) wynosi:

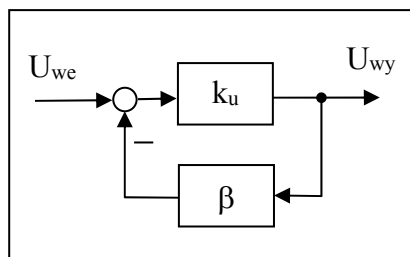
$$T = \frac{k_u}{1 + \beta \cdot k_u}$$

Transmitancję projektowanego filtru można przekształcić do powyższej postaci dzieląc licznik i mianownik przez $s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s$. Jest

$$T(s) = H_0 \frac{\frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s}}{1 + \frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s}}$$

Wynika z tego, że

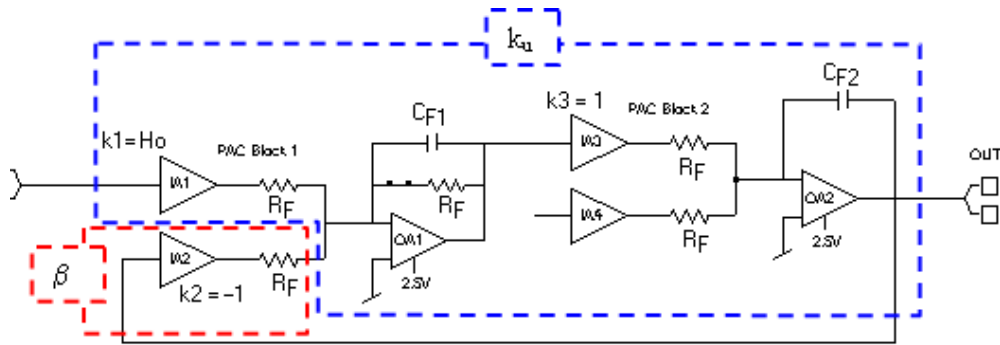
$$k_u(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s}, \beta = 1, \quad \text{przy czym}$$



wzmacnienie H_0 należy ustalić w końcowym procesie projektowania poprzez dobór wartości wzmacnienia w pierwszym PAC-bloku (na wejściu). Ponieważ k_u jest transmitancją drugiego rzędu, a bloki w układzie ispPAC10 to transmitancje rzędu pierwszego, $k_u(s)$ należy zapisać jako iloczyn

$$k_u = \frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s} = \frac{\omega_0^2}{\left(\frac{Q}{\omega_0} s + 1\right) \frac{\omega_0}{Q} s} = \frac{1}{\frac{Q}{\omega_0} s + 1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\omega_0 Q} s} = k_{u1}(s) k_{u2}(s), \text{ gdzie } k_{u1} = \frac{-1}{\frac{Q}{\omega_0} s + 1}, k_{u2} = \frac{-1}{\frac{1}{\omega_0 Q} s}$$

Transmitancja $k_u(s)$ składa się z dwóch części (inercyjnej i całkującej), które można zrealizować jako kaskadowe połączenie PAC-bloków. Filtr będzie więc wyglądał następująco:



Porównując transmitancje PAC-bloków: $T_{PACp-c}(s) = \frac{-k1}{sC_{F1}R_F + 1}$, $T_{PACc}(s) = \frac{-k3}{sC_{F2}R_F}$ z transmitancjami $k_{u1}(s)$, $k_{u2}(s)$ otrzymuje się wzory projektowe:

$$k1 = H_0, \quad C_{F1}R_F = \frac{Q}{\omega_0}, \quad C_{F2}R_F = \frac{1}{Q\omega_0}$$

Obliczenia:

$$H_0 = 2 \rightarrow k1 = 2$$

$$C_{F1} = \frac{Q}{\omega_0 R_F} = \frac{2,5}{2\pi \cdot 35500 \cdot 250000} = 44,8 \text{ pF}$$

$$C_{F2} = \frac{1}{Q\omega_0 R_F} = \frac{1}{2,5 \cdot 2\pi \cdot 35500 \cdot 250000} = 7,17 \text{ pF}$$

Rysunki poniżej pokazują wyniki symulacji zaprojektowanego filtra.

