

### 3.4.3. Selekcja widmowa

Dość często w diagnostyce WA nie jest nam znane następstwo zdarzeń, tak by zastosować selekcję czasową, lecz znany jest kształt zdarzenia, jakie ma nastąpić. Z twierdzenia o przesunięciu [58] wynika zaś, że przesunięcie czasu zjawiska (nieznane) nie zmienia jego modułu widma fourierowskiego, gdyż:

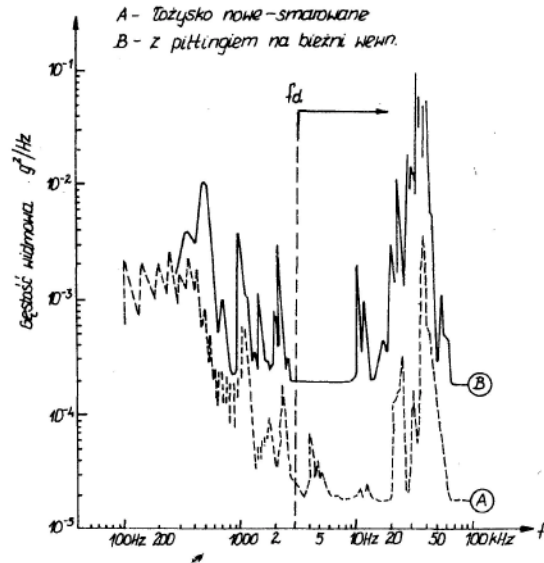
$$|\mathfrak{F}[V_k(t-a)]| = |e^{-2\pi i f a} [V_k(t)]| = |\mathfrak{F}[V_k(t)]| = |V_k(f)| \quad (3.24)$$

. (3.24)

Jeśli  $h(t)$  jest impulsową funkcją przejścia układu (elektronicznego, elektrycznego, pneumo-hydro-akusto-mechanicznego) to jego transmitancja wynosi  $H(f)$ , zaś widmo sygnału opóźnionego (przyspieszonego) o „a” jest co do modułu równe widmu sygnału oryginalnego. Jeśli więc choć w przybliżeniu znamy kształt pierwotnego sygnału uszkodzenia to stosując filtr o podobnej lub identycznej transmitancji  $H(f) \cong V_k(f)$  otrzymamy spłot sygnału  $s(t, Y)$  z impulsową funkcją przejścia lub w dziedzinie widma ich iloczyny jak niżej:

$$\begin{aligned} S(F, \Theta) V_k^*(f) &= \left[ \sum_{i=1}^n H(r_i, f, \Theta) V_i(f, \Theta) + C(r, f, \Theta) + N(r, f, \Theta) \right] \cdot V_k^*(f) = \\ &\cong H(r_k, f, \Theta) |V_k(f, \Theta)|^2 + N_k(r, f, \Theta) \end{aligned} \quad (3.25)$$

Jak widać, operacja ta jest równoważna minimalizacji wszystkich sygnałów i szumów i kwadratowaniu widma szukanego procesu TWA, co jest operacją bardzo korzystną. Nawet jeśli nie znamy kształtu szukanego procesu TWA znamy jego skalę czasową, np.: szybki/wolny, lub nisko/wysoko częstotliwościowy, to dla zmniejszenia stosunku sygnału do szumu stosujemy filtrację pasmową dolno/środkowo/górno przepustową o funkcji transmitancji typu okna prostokątnego. Że takie podejście daje istotne zyski diagnostyczne łatwo się przekonać analizując rysunek 3.14, przytoczony w ślad za [59]. Z rysunku tego jasno wynika, że filtracja górno przepustowa tego konkretnego sygnału daje jednoznaczne rozróżnienie jakości łożyska tocznego.



Rys.3.14. Gęstość widmowa przyspieszeń dwu łożysk kulkowych [59], z zaznaczeniem możliwości wydzielenia pasma diagnostycznego przez filtr górno przepustowy  $f_d > 3\text{kHz}$

Nawiązując tu do ogólnych własności widm procesów TWA warto wspomnieć, że skala zjawiska ma swe odbicie w twierdzeniu o podobieństwie widm Fourierowskich [58], gdzie

$$\mathfrak{F}[V_k(a, t, \Theta)] = \frac{1}{a} V_k\left(\frac{f}{a}, \Theta\right) \quad (3.26)$$

i w zależności od czynnika „a” widmo procesu może być nisko częstotściowe  $a \gg 1$ , środkowo częstotściowe  $a \sim 1$  oraz górno częstotściowe  $a \ll 1$ , co jak już pokazaliśmy, wykorzystuje się we wstępnej filtracji pasmowej sygnałów TWA (patrz rys.3.14).

Większość maszyn i urządzeń pracuje stacjonarnie wykonując okresowy ruch roboczy. Wobec tego słuszny dla nich jest model generacji przedstawiony w punkcie 3.3.1 (rys. 3. 5 wzór 3.10), skąd wynika, że generowany proces TWA jest również okresowy. Wobec tego każde naruszenie tej okresowości może świadczyć o stanie technicznym obiektu. Wyłania się zatem potrzeba selekcji okresowej części sygnału TWA. Analitycznie można to łatwo wykonać nadając transmitancji filtru  $H(f)$  postać ciągu deltowego w dziedzinie częstotliwości, czyli filtru grzebieniowego, jak niżej :

$$H_T(f) = \frac{1}{T_0} \sum_{i=0}^{\infty} \delta(f - if_0), f_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (3.27)$$

gdzie  $T_0$  jest okresem podstawowym pracy maszyny.

Mnożąc widmo naszego ogólnego sygnału  $S(f, Y)$  przez założoną transmitancję jako efekt filtracji, czyli splotu w dziedzinie czasu, mamy:

$$\begin{aligned} S(f, \Theta)H_T(f) &= S(f, \Theta) \frac{1}{T_0} \sum_{i=0}^{\infty} \delta(f - if_0) = \\ &= \frac{1}{T_0} \sum_{i=0}^{\infty} S_T(if_0, \Theta) \delta(f - if_0) = \mathfrak{F} \left[ s(t, \Theta) \otimes \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{T_0} \delta(t - iT_0) \right] \end{aligned} \quad (3.28)$$

gdzie  $S_T(if_0, Y)$  jest częścią okresową sygnału z  $S(f, Y)$  z kolejnymi harmonicznymi  $i = 1, \dots$

Jak widać z powyższej analitycznej formuły, za pomocą nieskończonego filtra grzebieniowego uzyskaliśmy doskonałe odseparowanie składowej okresowej sygnału diagnostycznego. W praktyce nie jest to takie proste z racji skończonej liczby członów filtra (bliżej patrz [7] w rozdziale sumowanie i analiza synchroniczna).

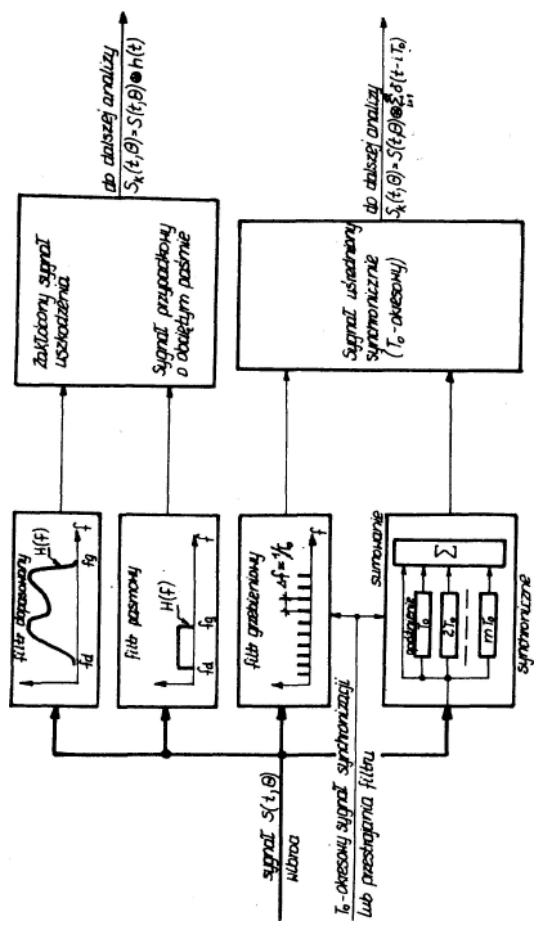
Jeśli spojrzeć uważnie na rezultat (3.28) przy znajomości własności transformat Fouriera [58, 61] to zauważymy od razu, że jest to obraz procesu okresowego, polegający na  $T_0$  - okresowej repetycji procesu pierwotnego, gdyż

$$\begin{aligned} \frac{1}{T_0} \sum_{i=0}^{\infty} S_T(if_0) \delta(f - if_0) &= \mathfrak{S} \left[ \sum_{i=0}^{\infty} S_T(t, \Theta) \otimes \delta(t - iT_0) \right] = \\ &= \mathfrak{S} \left[ \sum_{i=0}^{\infty} S_T(t - iT, 0) u(t - iT) \right] \end{aligned} \quad (3.29)$$

gdzie:  $\mathfrak{S} [ \cdot ]$  jest transformatą Fouriera,  $\otimes$  - splotem w dziedzinie czasu,  $u(q)$  -funkcją Heaviside'a podobnie jak w modelu TWA generacji sygnałów (3.9).

Porównując uzyskany rezultat z modelem generacji sygnałów (3.9) widzimy, że powtarzany okresowo sygnał  $s_i(t, Y)$  jest analogonem pierwotnego procesu TWA  $\omega_0(t, Y)$  jak w formule (3.8). Operacja (3.29) przeprowadzona w dziedzinie czasu nosi nazwę sumowania synchronicznego, a z racji nieskończonej liczby członów nie ma składni  $k_a$  szumowego zawierając jedynie nie zniekształcony sygnał pierwotny. W rzeczywistości liczba sumowanych fragmentów jest zawsze skończona ciągnąc za sobą błąd operacji (bliżej patrz [7 ]),

W podsumowaniu widmowych możliwości selekcji sygnałów TWA zwróćmy uwagę na syntetyczny rysunek 3.15, gdzie w zwarty sposób zobrazowano ideę czterech omawianych wyżej sposobów filtracji sygnałów TWA.



Rys.3.15. Alternatywy widmowej filtracji dopasowanej, pasmowej i okresowej sygnału wibroakustycznego

