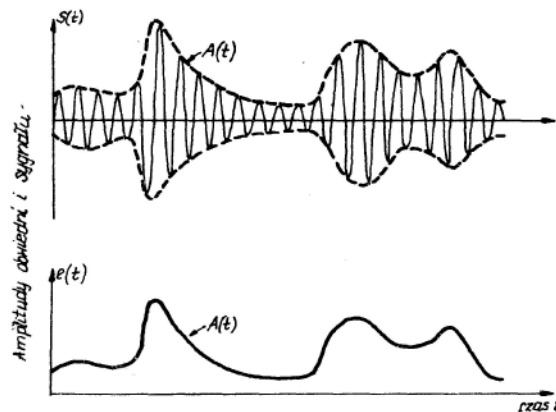


### 3.4.4. Selekcja sygnału WA przez demodulację

W wielu przypadkach diagnostyki WA mamy sytuację gdy na tle sygnału drganiowego wysoko częstotliwościowego rzędu kilohertzów, nie niosącego informacji o stanie maszyny, ujawniają się przebiegi nisko częstotliwościowe niosące informacje o oddziaływaniach siłowych i zaawansowaniu procesów TWA w mechanizmie bądź maszynie. Mówimy wtedy, że proces wysokoczęstotliwościowy jest przebiegiem nośnym zaś niskoczęstotliwościowy przebiegiem modulującym. Przykłady takich sygnałów można znaleźć prawie w każdej maszynie, lecz najczęściej ujawniają się one w łożyskach tocznych i przekładniach. W obu tych przypadkach częstotliwościami i procesami nośnymi są rezonanse takich elementów jak: bieżni łożyska, wieńca koła zębatego, obudowy przekładni itd., itp. Zjawiskami modulującymi są zaś uderzenia elementów np. w łożyskach, przekładniach, sprzęgłach itp., co daje na ogół modulację amplitudy sygnału. Natomiast zmienna sztywność łożyska, zęba, wału itp. w funkcji kąta obrotu tego elementu daje modulację częstotliwości sygnału nośnego. Generalnie możemy powiedzieć, że przyczyny drgań parametrycznych w maszynie (np. wymienione wyżej) są jednocześnie przyczynami modulacji częstotliwościowej generowanego sygnału WA (patrz rozdz. 2.2.3, 2.2.6). W ogólnym przypadku drgań wysokoczęstotliwościowych maszyn zachodzą jednocześnie oba typy modulacji, przy czym zależnie od konkretnego przypadku mechanizmu mamy przewagę modulacji amplitudowej bądź częstotliwościowej. Takie zjawisko modulacji mieszanej da się ująć dość prostym zapisem matematycznym:

$$s(t) = A(t) \cos [\omega_n t + \alpha(t)]. \quad \omega_n = 2\pi f_n = \text{const}, \quad (3.30)$$

gdzie:  $A(t)$  - wolnozmienny proces modulujący amplitudę zjawiska,  $\omega(t)$  - szybkozmienny proces modulujący fazę sygnału,  $f_n$  - częstotliwość nośna sygnału. Ponieważ modulacja fazy jest równoważna modulacji częstotliwościowej dalej będziemy mówić jedynie o dwu rodzajach modulacji. Tak więc z ostatniego wzoru dla  $\omega(t) = \text{const}$ , będziemy mieli czystą modulację amplitudy przez wolnozmienny proces  $A(t) = \text{var}$ , natomiast jeśli  $A(t) = \text{const}$   $\omega(t) = \text{var}$ , mamy czystą modulację częstotliwości przez szybkozmienny proces  $\omega(t)$ , który zmienia wypadkową częstość drgań wokół nośnej częstości podstawowej  $\omega_0$ , tak jak w drganiach parametrycznych. W celu wydobycia informacji diagnostycznej z tak przekształconego przez modulację procesu WA używa się różnego rodzaju demodulatorów. Klasycznym przykładem takich możliwości w życiu codziennym jest zwykły odbiornik radiowy pracujący dla fal długich, średnich i krótkich jako demodulator amplitudy (AM) oraz demodulator częstotliwości dla fal ultrakrótkich (FM). Demodulacja amplitudy jest niczym innym jak wykorzystywaniem obwiedni procesów WA, co opisowo można przyrównać do obwiedni maksimumów tego procesu, tak jak na rysunku 3.16.



Rys.3.16. Sygnał WA i jego obwiednia  $e(t)$  po demodulacji amplitudy

Najprostszy zapis analityczny operacji demodulacji amplitudowej można przedstawić jako średniowanie bieżące kolejnych maksimów sygnału oryginalnego:

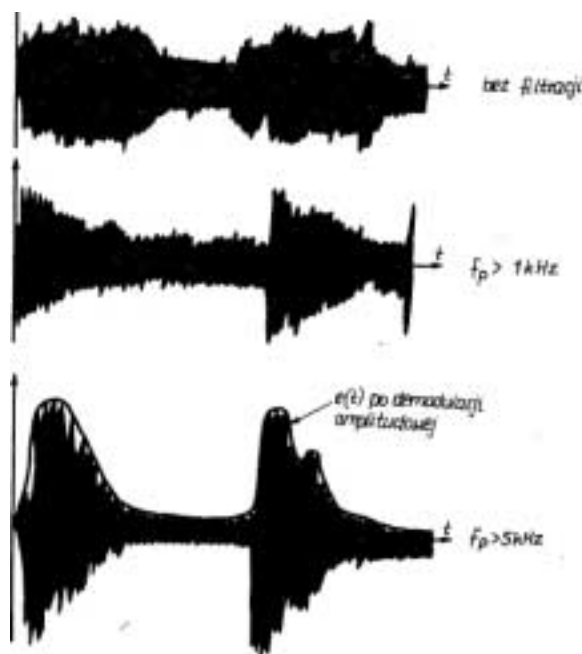
$$e(t) = E\left[\text{Max}_t |s(t)|\right] = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} \text{Max}_t |A(t) \sin[\omega_0 t + \varphi(t)] dt \quad (3.31)$$

Jeśli faza sygnału jest stała  $\omega(t) = \text{const}$ , to z operacji tej przy optymalnie dobranym czasie średniowania bieżącego  $\tau \gg \frac{2\pi}{\omega_0}$  otrzymamy

$$e(t) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} A(t) dt \approx A(t) \quad (3.32)$$

Z powyższego można wysnuć wniosek, że demodulacja amplitudy będzie tym lepsza, im bardziej wąskopasmowy będzie pierwotny proces WA,  $s(t)$ . Stąd też niejednokrotnie demodulacja połączona jest ze wstępną filtracją, co daje doskonałe rezultaty. Koncepcję tę ilustruje rysunek 3.17 zaczerpnięty z książki prekursora diagnostyki Pawłowa [60, str.162]. Z rysunku jasno wynika jak filtracja, górnoprzepustowa w tym przypadku, uwidacznia rzeczywistą głębokość modulacji procesu WA i zwiększa tym samym amplitudę sygnału po demodulacji.

Wypada tu wspomnieć o nowszej możliwości demodulacji amplitudy jako modułu sygnału analitycznego będącego zespoloną sumą sygnału i jego transformaty Hilberta [61, str.324]. W dobie komputeryzacji jest to bardzo dogodne narzędzie demodulacji amplitudowej lecz nie będziemy się tym dalej zajmowali.



Rys.3.17. Wstępna selekcja sygnału WA przez filtrację górnoprzepustową i demodulację amplitudy [60 ]

Weźmy obecnie pod uwagę demodulację częstotliwościową  $A(t) \cong \text{const}$ ,  $\varphi(t) = \text{var}$ . Tutaj, by wydobyć informację z sygnału (3.30), a w ogólnym przypadku z sygnału pasmowego o częstotliwości środkowej  $f_n$  (np. pasma oktawowego o środkowej  $f_n$ ), należy wypracować sygnał proporcjonalny do chwilowej różnicy częstotliwości, tak by

$$e(t) = \omega_n - \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (3.33)$$

Dla lepszej egzemplifikacji tego związku przeprowadźmy następujące rozumowanie. Dla procesu harmonicznego  $x(t) = A \cos \omega_n t$  mamy następujące związki między amplitudami procesu wyjściowego i jego pochodnej:

$$\text{Ampl} \frac{dx}{dt} = |\dot{x}(t)| = \omega_n \text{Ampl} x(t) \quad (3.34)$$

Stąd też przez analogię możemy napisać, że chwilowa częstość modulacji

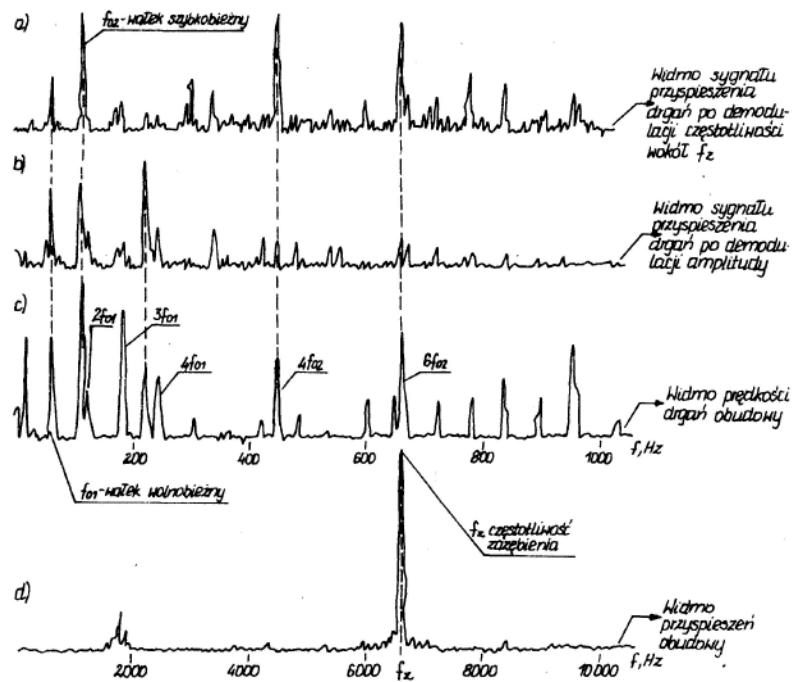
$$\Omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad \text{będzie}$$

$$\Omega(t) \cong \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\text{Ampl} \frac{ds(t)}{dt}}{\text{Ampl} s(t)} = \frac{\text{Ampl} \dot{s}(t)}{\text{Ampl} s(t)} \quad (3.35)$$

W takim razie demodulację częstotliwościową można przedstawić jako sygnał różnicowy od nośnej  $\omega_n$

$$e(t) = \omega_n - \Omega(t) = \omega_n - \frac{\text{Ampl} \dot{s}(t)}{\text{Ampl} s(t)} \quad (3.36)$$

który nie stanowi problemu, jeśli potrafimy wygenerować iloraz amplitud pochodnej i sygnału oryginalnego zgodnie (3.35).



Rys.3.18. Zestawienie widm drgań obudowy przekładni z użyciem technik demodulacji częstotliwościowej i amplitudowej [62]

Na zakończenie rozważań o demodulacji jako o technice wstępnej selekcji sygnału WA popatrzymy na rysunek 3.18, przedstawiający zastosowanie obu technik dla sygnału drgań obudowy szybkobieżnej przekładni przemysłowej [62]. Jak widać z rysunku, demodulacja częstotliwości wokół częstotliwości ząbkowania  $f_z$  i demodulacja amplitudy ujawniają całe bogactwo harmoniczných obrotów wałków wolno- i szybkobieżnego, czego nie widać w widmie przyspieszenia. Natomiast widmo sygnału po każdej demodulacji jest bardziej czytelne niż widmo prędkości drgań obudowy przekładni.