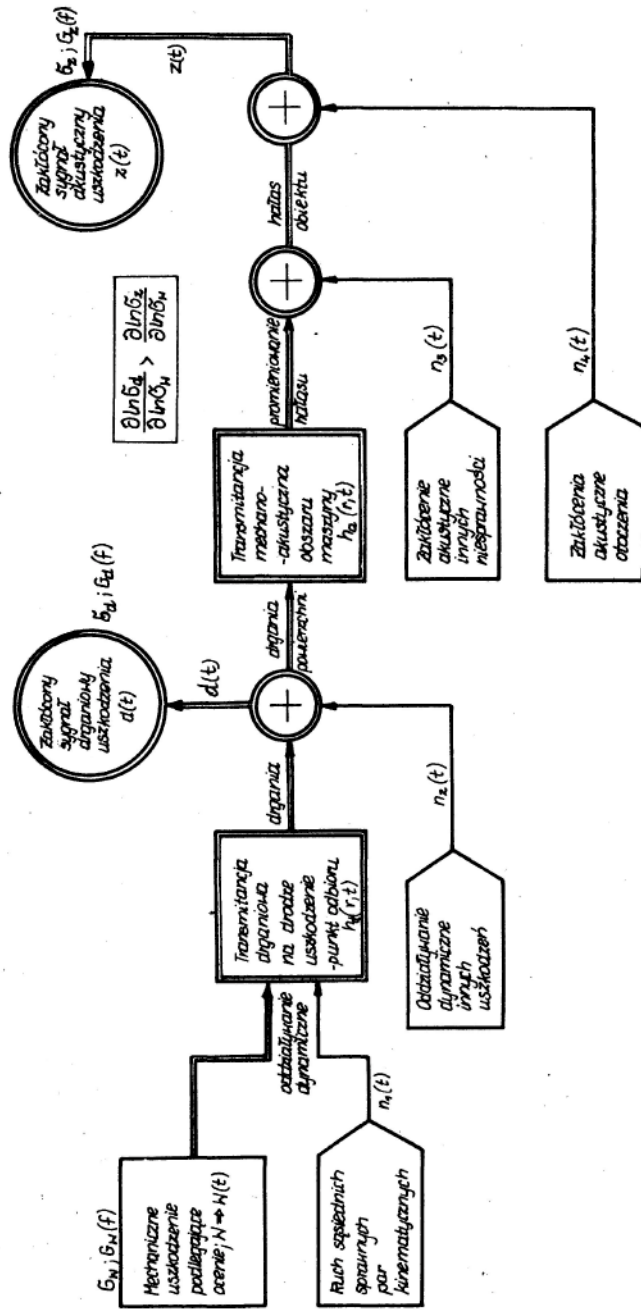


### 3.3.3. Wybór obserwowanego procesu WA jako źródła informacji diagnostycznej

Ocena zasobu informacji (zawartości) o interesującej nas własności maszyny w odbieranym procesie WA jest możliwa, jeśli z modelu generacji omawianego poprzednio przejdziemy do modelu informacyjnego obserwowanego procesu WA. Jest to tym łatwiejsze, że. Jak wynika z poprzednich rozdziałów, interesujące nas w diagnostyce własności maszyny -  $W$ , czyli uszkodzenie, są również pierwotnym źródłem procesu WA. Można więc pokusić się o ilościową ocenę informacji o procesie  $w(t)$ , ( $W \Rightarrow w(t)$ ) w obserwowanym procesie drganiowym  $d(t)$  lub hałasowym  $z(t)$ . Właściwy tok postępowania w odtwarzaniu modelu informacyjnego, przy znanym już modelu generacji, odtworzymy na przykładzie wyboru między odbiorem drgań a hałasem bądź pulsacji dla maszyny z niesprawnością typu mechanicznego, tak jak na rysunku 3.8.

Jak widać z rysunku, sygnał drganiowy uszkodzenia  $w(t)$  podlega jedynie transformacji przez impulsową funkcję przejścia  $h_d(r,t)$  oraz zakłóceniu przez ruch sąsiednich par kinematycznych maszyny  $n_1(t)$ , i oddziaływania dynamiczne innych uszkodzeń  $n_2(t)$ , (analizujemy sytuację dla  $Y = \text{const}$ , stąd też opuszczamy ten czas dla prostoty oznaczeń). Natomiast sygnał akustyczny  $z(t)$  odbierany w otoczeniu maszyny niesie, oprócz już wymienionych zakłóceń  $n_1(t)$ ,  $n_2(t)$ , zakłócenia akustyczne innych niesprawności  $n_3(t)$  oraz zakłócenia otoczenia pomiarowego.



Rys.3.8. Informacyjny model tworzenia sygnałów: drganiowego i hałasowego, związanych z uszkodzeniem mechanicznym maszyny[7]

Korzystając z praw przepływu oddziaływań dynamicznych przez układy dynamiczne [51], można napisać poniższe zależności dla sygnału drganiowego i hałasowego

$$d(t) = h_d(r,t) \otimes [w(t) + n_1(t)] + n_2(t) \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} z(t) &= h_a(r,t) \otimes d(t) + n_3(t) + n_4(t) = \\ &= h_a(r,t) \otimes \{ h_d(r,t) \otimes [w(t) + n_1(t)] \} + n_2(t). \end{aligned} \quad (3.12)$$

gdzie, jak poprzednio, gwiazdka  $\otimes$  oznacza operację splotu.

Porównanie zapisu procesu drganiowego i hałasowego mówi samo za siebie i stanowi dalszą motywację wniosków o zawartości informacji płynących z rysunku 3.8. Wnioski te można wzmocnić, jeśli oprzemy się na definicji wrażliwości amplitud sygnałów –  $\sigma_d$ ;  $\sigma_z$ , na zmiany amplitudy sygnału uszkodzenia -  $\sigma_w$ . Według Tomovica [52] najlepsza definicja wrażliwości ma postać:

$$c \equiv \lim_{\Delta \rightarrow 0} \left( \frac{\frac{\Delta \sigma_d}{\sigma_d}}{\frac{\Delta \sigma_w}{\sigma_w}} \right) = \frac{\sigma_w}{\sigma_d} \frac{\partial \sigma_d}{\partial \sigma_w} = \frac{\partial \ln \sigma_d}{\partial \ln \sigma_w}, \quad (3.13)$$

a jak można wywnioskować z rysunku 3.8 i zależności (3.11), (3.12) słuszna jest tu relacja:

$$\frac{\partial \ln \sigma_d}{\partial \ln \sigma_w} > \frac{\partial \ln \sigma_z}{\partial \ln \sigma_w}, \quad (3.14)$$

gdzie  $\sigma_{(.)}$  z odpowiednim indeksem oznacza skuteczną amplitudę danego procesu (.).

Chcąc zmierzyć zawartość informacji w procesie  $d(t)$  lub  $z(t)$  o procesie pierwotnym w  $(t)$  należy wziąć pod uwagę ilościowe miary informacji. Najstarsza i najbardziej popularna miara Shanona [53] przy

najprostszym modelu  $d(t) = w(t) + n(t)$  jest

$$I = \frac{1}{2} \lg_2 \left[ 2 + \frac{\sigma_d^2}{\sigma_n^2} \right] \text{ bitów}, \quad (3.15)$$

gdzie:  $\sigma_d^2$  – to moc sygnału drganiowego,  $\sigma_n^2$  – to całkowita moc zakłóceń w tym sygnale.

Może ona być użyta, jak widać, jedynie do oceny przepustowości kanału drganiowego w obecności szumu  $n(t)$ . Widać stąd, że im większy stosunek mocy sygnału do szumu

$\left( \frac{\sigma_d}{\sigma_n} \right)^2$  tym większa ilość informacji może być przeniesiona danym kanałem, np. sygnałem drganiowym.

Jest to bardzo ważny wniosek wskazujący na konieczność minimalizacji zakłóceń w całym procesie pomiarów, a w szczególności na konieczności wyboru procesu obserwowanego o minimalnej zawartości i mocy zakłóceń.

Miara ta jednak nie pozwala zmierzyć ilości informacji o procesie  $w(t)$  w obserwowanym procesie  $d(t)$  lub  $z(t)$ . Wprowadzając funkcję koherencji jako miarę spójności między procesami -  $\gamma_{dw}^2(f)$ , o których zakłada się, że są stacjonarne, typu Gaussa [54], można wprowadzić inną miarę informacji:

$$I_{dw} = \frac{1}{2\Delta F} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \lg_2 [1 - \gamma_{dw}^2]^{-1} df; \text{ bitów}, \Delta F = f_{\max} - f_{\min}. \quad (3.16)$$

Funkcja koherencji  $\gamma_{dw}^2(f)$  układów liniowych cechuje się między innymi tym, że dla danej częstotliwości  $f$  jej wartość maleje tym bardziej, im większy jest udział szumu  $n(t)$  w procesie  $d(t)$ , zaś w ogólności,  $0 \leq \gamma_{dw}^2(f) \leq 1$  będąc jedynką przy zerowej mocy szumu [51]. Wtedy to również ilość informacji przekazywana w procesie  $d(t)$  o procesie  $w(t)$  będzie na podstawie (3.16) maksymalna ( $\hat{\gamma}_{dw}^2(f) \Rightarrow 1, I_{dw} \Rightarrow :$ ). Przykładowo funkcja koherencji między procesem drganiowym  $d(t)$  i WA procesem pierwotnym  $w(t)$  zgodnie z modelem (3.16) ma postać:

$$\begin{aligned} \gamma_{dw}^2(f) &= \frac{|G_{dw}(f)|^2}{G_{dd}(f)G_{ww}(f)} = \frac{|H_d(f)|^2 G_{ww}^2(f)}{G_{ww}(f) \{ |H_d(f)|^2 [G_{ww}(f) + G_{n_1 n_1}(f)] + G_{n_2 n_2}(f) \}} = \\ &= \frac{|H_d(f)|^2 G_{ww}(f)}{|H_d(f)|^2 [G_{ww}(f) + G_{n_1 n_1}(f)] + G_{n_2 n_2}(f)} \end{aligned} \quad (3.17)$$

gdzie:  $H_d(f)$  - transmitancja drganiowa z rysunku 3.8,  $G_{ij}(f)$  - gęstości widmowe mocy procesów  $i(t)$ ,  $j(t)$  - wzajemne. Jeśli  $G_{ij}(f)$  oraz własne  $G_{ii}(f)$ .

Z wzoru tego widać, że gęstości widmowe mocy zakłócające są w mianowniku, tak że im większa ich moc, tym mniejsza wartość funkcji koherencji, tym mniejsza ilość informacji (3.16) przenoszona przez proces  $d(t)$  o procesie źródłowym  $w(t)$ .

Niezwykle dogodna w obliczeniach funkcja koherencji ma to do siebie, że musi być mierzona synchronicznie dla obu procesów, co nie zawsze jest możliwe. Przytoczymy więc jeszcze jeden wzór oparty na definicji ilości informacji różniacej - dywergencji Kullbacka w formie podanej przez Gerscha [55]

$$I(d, w) = \frac{1}{2} \lg_2 \left( \frac{\sigma_d^2}{\sigma_w^2} \right) + \frac{1}{2\Delta F} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \frac{G_{ww}(f)}{G_{dd}(f)} df - \frac{1}{2} \quad (3.18)$$

Ten sposób obliczenia zawartości informacji uwzględnia nie tylko moc procesu ( $\sigma_d^2$ ,  $\sigma_w^2$ ), lecz również ich własne gęstości widmowe mocy. Możemy zatem obliczyć różnice w zasobie informacji między procesami  $d(t)$  i  $z(t)$  z rysunku 3.8. Obliczając po drodze ilość informacji przenoszonej w hałasie o procesie źródłowym  $w(t)$

$$I(z, w) = \frac{1}{2} \lg_2 \left( \frac{\sigma_z^2}{\sigma_w^2} \right) + \frac{1}{2\Delta F} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \frac{G_{ww}(f)}{G_{zz}(f)} df - \frac{1}{2} \quad (3.19)$$

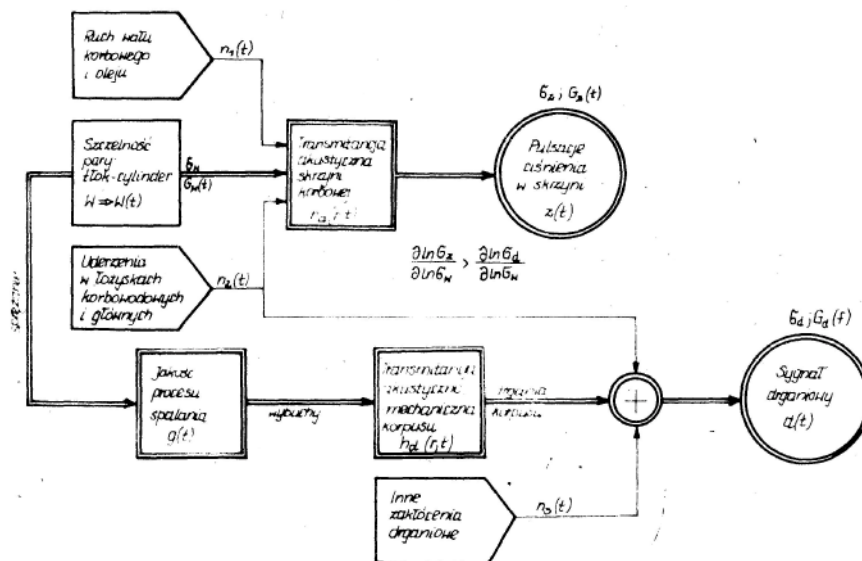
i tworząc różnice ostatnich wzorów mamy:

$$\Delta I(d, z) = I(d, w) - I(z, w) = \frac{1}{2} \lg_2 \left( \frac{\sigma_d^2}{\sigma_z^2} \right) + \frac{1}{2\Delta F} \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \left[ \frac{G_{ww}(f)}{G_{dd}(f)} - \frac{G_{ww}(f)}{G_{zz}(f)} \right] df \quad (3.20)$$

Z uwagi na większą zawartość szumu zakłócającego w procesie  $z(t)$ , co wynika z porównania (3.11) i (3.12), możemy założyć

$$\frac{G_{ww}(f)}{G_{dd}(f)} > \frac{G_{ww}(f)}{G_{zz}(f)}$$

Tak więc z wzoru (3.20) nawet przy równych mocach drgań i hałasu ( $\sigma_d^2 = \sigma_z^2$ ) mamy:  $I(d, z) > 0$ , co świadczy o przewadze informacyjnej drgań nad hałasem w sytuacji diagnostycznej analizowanej na rysunku 3.8.



Rys.3.9. Informacyjny model tworzenia sygnałów: drganiowego i pulsacji ciśnienia przy ocenie szczelności pary: tłok-cylinder w silniku spalinywym [ 7 ]

Sytuacje przeciwne do uprzednio przeanalizowanej można spotkać przy uszkodzeniach dających efekty typu przepływowego, jak np. przy ocenie szczelności pary tłok-cylinder w silniku spalinowym, tak jak na rysunku 3.9.

Z rysunku tego i naniesionych tam danych można wyciągnąć wprost przeciwny wniosek o większej wrażliwości pulsacji  $z(t)$  na diagnozowaną własność, gdyż łatwo tu pokazać własność przeciwną niż na rysunku 3.8, czyli:

$$\frac{\partial \ln \sigma_z}{\partial \ln \sigma_w} > \frac{\partial \ln \sigma_d}{\partial \ln \sigma_w} \text{ oraz } \Delta I(z, d) > 0 \quad (3.21)$$

Przedstawione dwa przykłady wyboru sygnałów diagnostycznych skłaniają do wniosku, że mając modele informacyjne procesów WA możemy każdorazowo wybrać proces o większej wrażliwości na zmiany interesującej nas własności - W. Wrażliwość tę, czyli zasób niesionej informacji o własności -- W można również oceniać ilościowo wg podanych związków, mając dane o widmach własnych i wzajemnych analizowanych procesów. Nawet bez tych danych możemy z wzoru (3.20) wyciągnąć ważny wniosek aplikacyjny, jeśli procesy  $d(t)$  i  $z(t)$  są jednakowo wrażliwe na zmiany  $w(t)$ , a różnią się jedynie amplitudą. Z wzoru tego mamy bowiem:

$$\Delta I(d, z) = \frac{1}{2} \lg_2 \left( \frac{\sigma_d^2}{\sigma_z^2} \right), \text{ gdy } \frac{G_{ww}(f)}{G_{dd}(f)} \equiv \frac{G_{ww}(f)}{G_{zz}(f)} \quad (3.22)$$

skąd wynika, że przy jednakowej wrażliwości należy zastosować proces o większej mocy, który daje  $\Delta I > 0$ . Stąd też wywodzi się motywacja ważnego przykazania diagnostyki drganiowej „mierz drgania w kierunku o największej amplitudzie”. A ponieważ sztywność wielu węzłów maszyn, np. obudowy łożysk, jest mniejsza w kierunku poziomym, to mamy tu większe amplitudy drgań i wykonujemy w tym kierunku dlatego większość pomiarów diagnostycznych. Miejsce pomiaru drgań wybieramy zaś jak najbliżej potencjalnego uszkodzenia, gdzie strumień energii drganiowej jest maksymalny.