

DIAGNOSTYKA UKŁADÓW MECHATRONICZNYCH

Kierunek: I ME DU

Wykład 5

Agenda

1. Przekładnie zębate.
2. Typowe uszkodzenia przekładni zębatych.
3. Diagnostyka przekładni zębatych.
4. Czynności przygotowawcze.
5. Wibrodiagnostyka.
6. Diagnostyka olejowa.

Przekładnie zębate

Przekładnie są mechanizmami lub układami maszyn, które pozwalają na przenoszenie ruchu z elementu czynnego (napędowego) na bierny (napędzany) z możliwą jednoczesną zmianą parametrów ruchu takich jak prędkość, moment, siła i kierunek.

W praktyce przekładnie zmieniają ruch obrotowy na ruch obrotowy, ruch obrotowy na liniowy lub ruch liniowy na ruch obrotowy. Przekładnie, w odniesieniu do wykorzystywanych zjawisk fizycznych, mogą być mechaniczne, hydrauliczne oraz pneumatyczne.

Przekładnia zębata jest przekładnią mechaniczną, gdzie przeniesienie napędu bazuje na zazębiających się kołach zębatych. Biorąc pod uwagę liczbę stopni zastosowanie znajdują przekładnie jednostopniowe, w których współpracuje jedna para kół zębatych, a także przekładnie wielostopniowe (np. dwustopniowe, trzystopniowe itp.), w których szeregowo pracuje więcej par kół zębatych, a przełożenie całkowite przekładni wielostopniowej stanowi iloczyn przełożeń poszczególnych stopni.

Przekładnie zębate

W kontekście umiejscowienia zazębienia w przekładniach wyróżnia się zazębienie zewnętrzne oraz zazębienie wewnętrzne. Nie mniej ważny jest rodzaj przenoszonego ruchu. Stąd też w przekładniach obrotowych uczestniczą dwa koła zębate natomiast w przekładniach liniowych koło zębate współpracuje z listwą zębatą tzw. zębatką, przy czym ruch obrotowy jest zamieniany na posuwisty lub na odwrót.

Biorąc pod uwagę wzajemne usytuowanie osi obrotu wyróżnić można osie równoległe (przekładnia walcowa), osie przecinające się (przekładnia stożkowa) oraz osie wchrowate prostopadłe (przekładnia hipoidalna, przekładnia ślimakowa) i nieprostopadłe (przekładnia hiperboloidalna).

Przekładnie zębate

Parametry przekładni

Kluczowym parametrem przekładni jest maksymalna prędkość na wale napędzającym, maksymalne obciążenie (siła lub moment siły na wale napędzanym) oraz przełożenie przekładni. Nie mniej ważna jest sprawność energetyczna przekładni.

Niejednokrotnie przekładnia stanowi reduktor. Jest to przekładnia redukująca, gdzie człon napędzany obraca się lub porusza z prędkością mniejszą od członu napędzającego. Z kolei multiplikator to przekładnia, w której człon napędzany obraca się lub porusza z prędkością większą niż człon napędzający. Istotną rolę odgrywają wariatory, czyli przekładnie o bezstopniowym przełożeniu. W wielu aplikacjach przekładnie mają taką samą prędkość zarówno na wejściu jak i na wyjściu. Przede wszystkim chodzi o rozwiązania wymagające zmiany kierunku/zwrotu wektora prędkości lub siły (momentu).

Typowe uszkodzenia przekładni zębatach

Do typowych uszkodzeń przekładni zębatach należą:

- uszkodzenia wałów przekładni
- uszkodzenia elementów łożyskujących
- nieszczelności wynikające z uszkodzeń pierścieni uszczelniających
- uszkodzenia zębów
 - zużycie cierne powierzchni zębów
 - zmęczenie powierzchni (pitting)
 - płynięcie plastyczne
 - łuszczenie się powierzchni
 - pęknięcia
 - złamania
 - zarysowania, zatarcia
 - korozja
 - zabarwienie, przypalenie

Typowe uszkodzenia przekładni zębatych

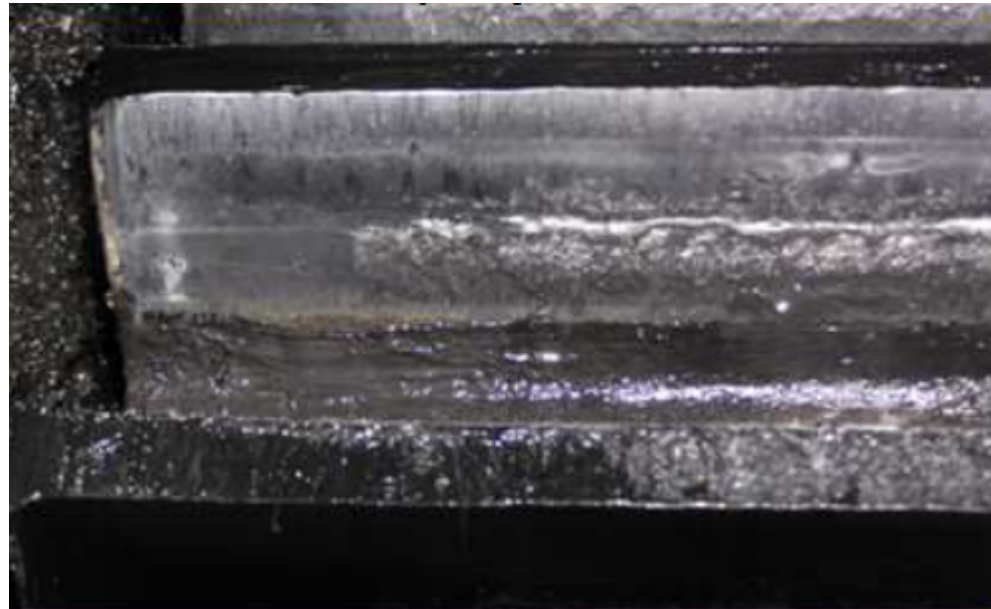
Przekładnie zębate



Zużycie ścierno-adhezyjne i zatarcia

Typowe uszkodzenia przekładni zębatych

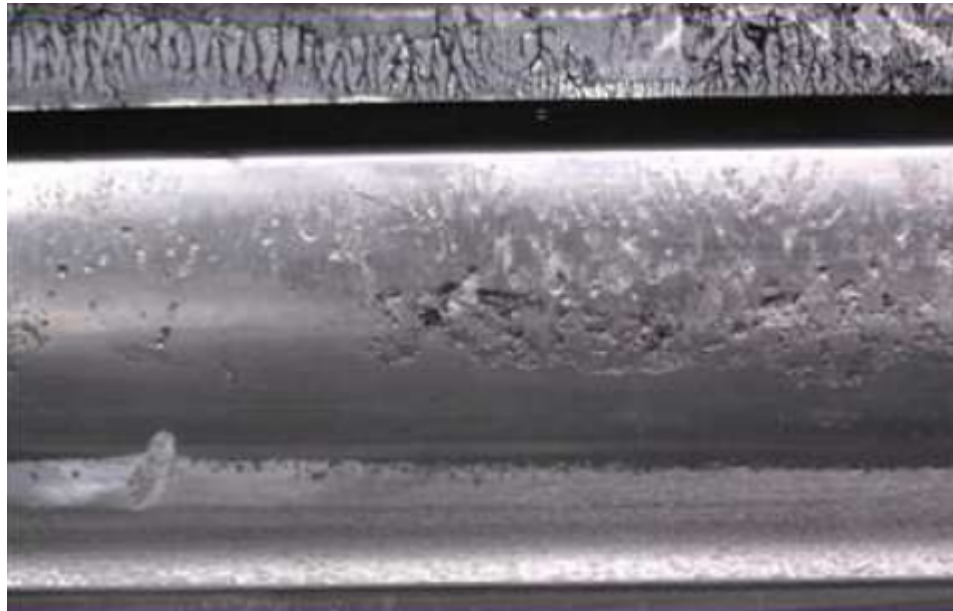
Przekładnie zębate



Zużycie ścierno-adhezyjne i odkształcenia plastyczne

Typowe uszkodzenia przekładni zębatych

Przekładnie zębate



Zużycie wykruszające

Typowe uszkodzenia przekładni zębatych

Przekładnie zębate



Złamania zębów



Korozja

Diagnostyka przekładni zębatych

Odpowiednio przeprowadzona diagnostyka przekładni bazuje na:

- monitorowaniu oraz analizie sygnałów drganiowych,
- pomiarze temperatury
- analizie produktów, które powstały w wyniku uszkodzeń.

Czynności przygotowawcze

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek czynności związanych z diagnostyką przekładni należy zebrać możliwie jak najwięcej informacji na jej temat. Warto więc zadbać o informacje na temat:

- schematu kinematycznego napędu z przekładnią,
- ilości zębów poszczególnych stopni przekładni,
- typów łożysk wałów przekładni,
- typów zastosowanych sprzęgieł przyłączeniowych,
- prędkości obrotowej wejścia lub wyjścia przekładni.

Podczas diagnostyki przekładni zębatych należy pamiętać aby drgania korpusu mierzyć na sztywnym jego fragmencie takim jak chociażby obudowa łożysk. Pomiaru powinny być wykonywane w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, z których dwa znajdują się w płaszczyźnie najlepiej prostopadłej do osi obrotu kół zębatych. Warto zadbać o wykonanie pomiarów we wszystkich dostępnych miejscach łożyskowania przekładni zębatej.

Wibrodiagnostyka

Wibrodiagnostyka bardzo często jest używana podczas wykrywania usterek w pracy przekładni zębatych, a wnioski niejednokrotnie są formułowane w efekcie analizy widma drgań. Stanowi ono przetworzenie przebiegu czasowego wibracji w spektrum częstotliwości. Tym sposobem sygnał wytwarzany przez maszynę dzieli się na poszczególne elementy składowe. Stąd też w oparciu o budowę maszyny oraz jej podstawowe parametry ruchowe jest możliwe przypisanie poszczególnych elementów do składowych widma drgań.

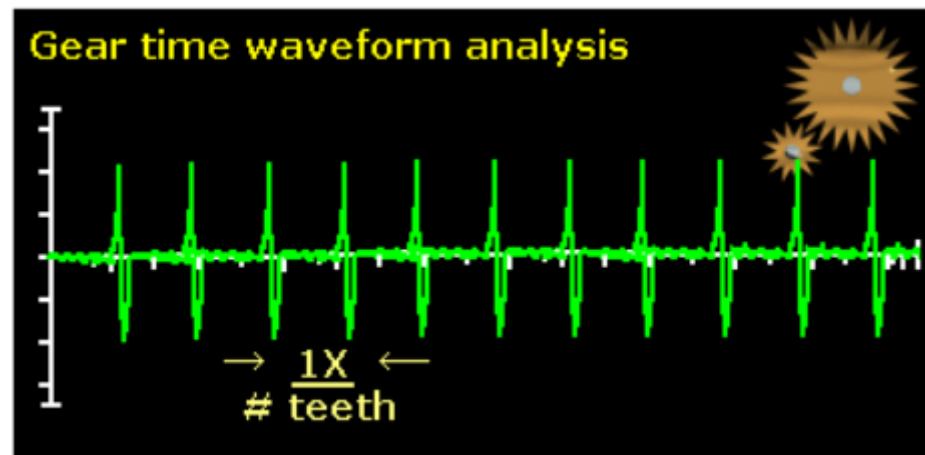
Wibrodiagnostyka

Jak odróżnić za pomocą wibrodiagnostyki uszkodzenie przekładni od uszkodzenia łożyska?

W celu poprawnej identyfikacji źródła drgań całego mechanizmu należy zwrócić uwagę na fakt, że częstotliwości defektów w łożyskach nigdy nie są całkowitymi wielokrotnościami obrotów wału, w przeciwieństwie do częstotliwości zazębień przekładni. Dla przykładu: obserwując na widmie, odniesionym do obrotów podpartego wału (1X) wyraźny wzrost amplitud częstotliwości np 4.733X lub 6.382X, istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że uszkodzone jest łożysko.

Wibrodiagnostyka

Analiza drgań przekładni



Wibrodiagnostyka

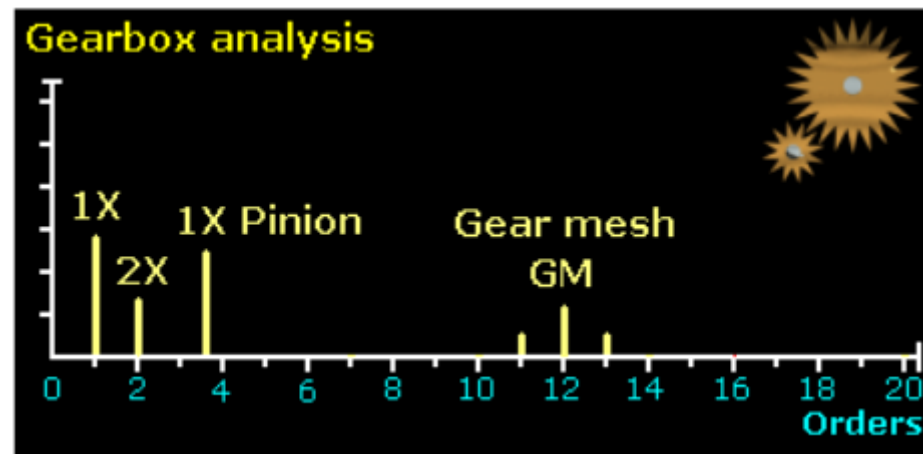
Analiza drgań przekładni

1X – obroty wału czynnego

2X – druga harmoniczna obrotów wału czynnego

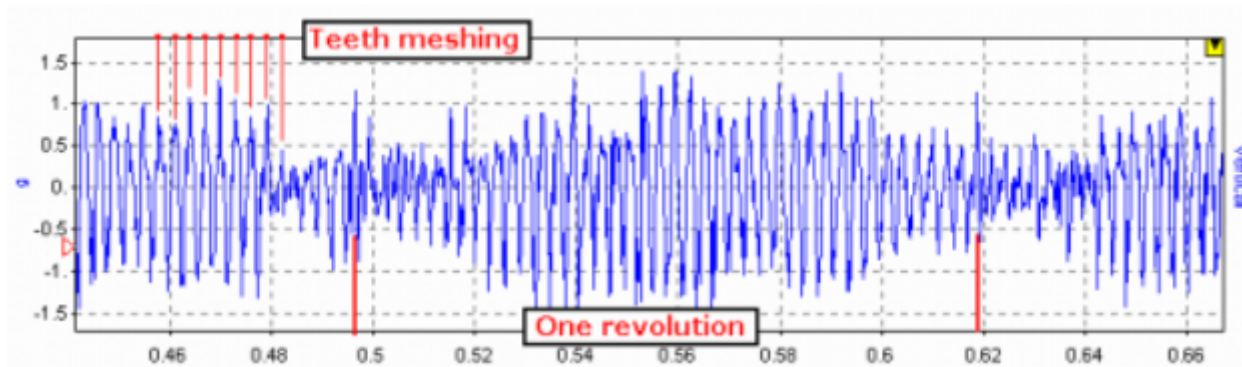
1X Pinion – obroty wału biernego

Gear mesh (częstotliwość zazębienia) = liczba zębów na wale wejściowym x prędkość wału czynnego (z x 1X)



Wibrodiagnostyka

Analiza drgań przekładni



Wibrodiagnostyka

Zużycie zębów

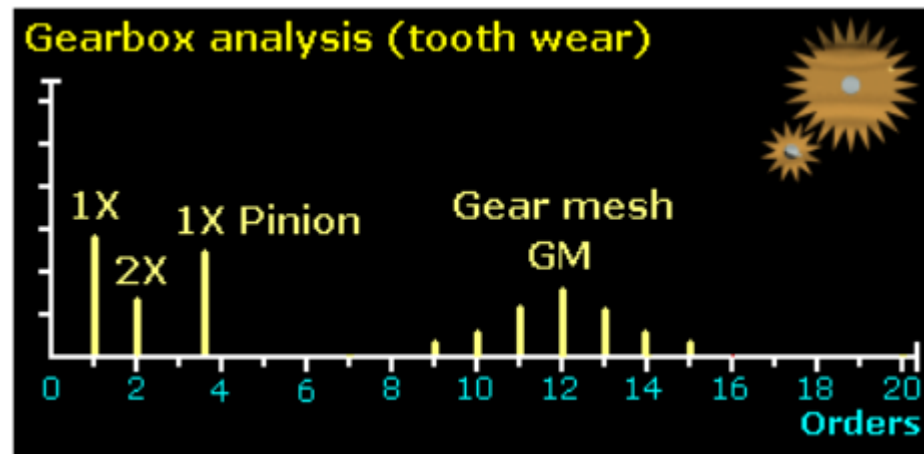
Pierwszy symptom - wzrost amplitud wstęp bocznych wokół częstotliwości zazębienia (GM).

Częstotliwości wstęp bocznych to:

$GM \pm 1X$

$GM \pm 2X$

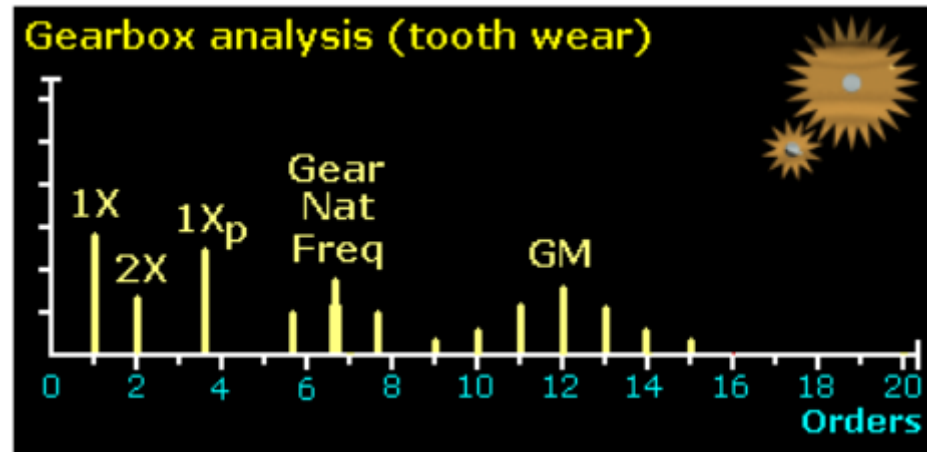
$GM \pm 3X$



Wibrodiagnostyka

Zużycie zębów

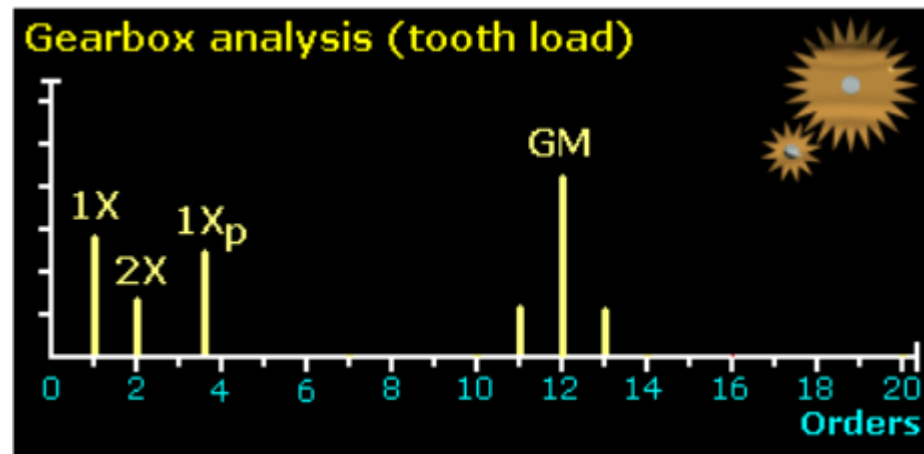
Drugi symptom - wystąpienie częstotliwości własnych przekładni (GNF) na skutek pobudzenia układu.



Wibrodiagnostyka

Przeciążenie zębów

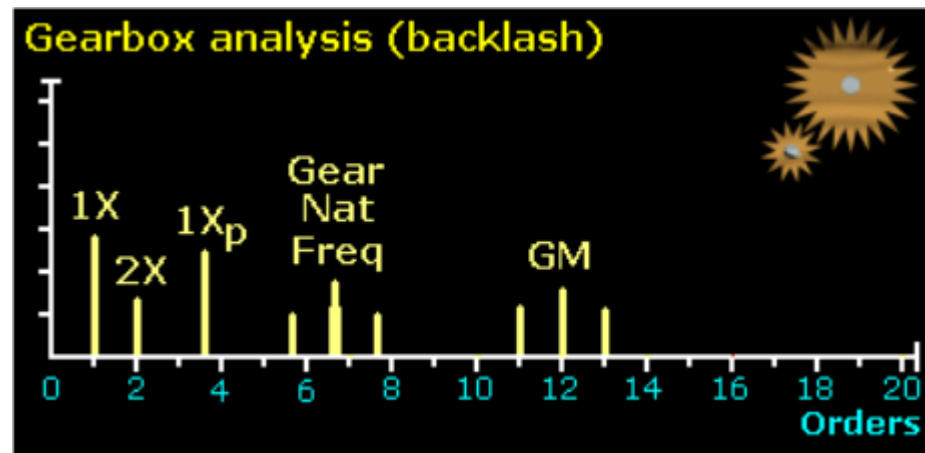
Wzrost amplitud wynikających z częstotliwości zazębienia (GM)



Wibrodiagnostyka

Luzy w przekładni

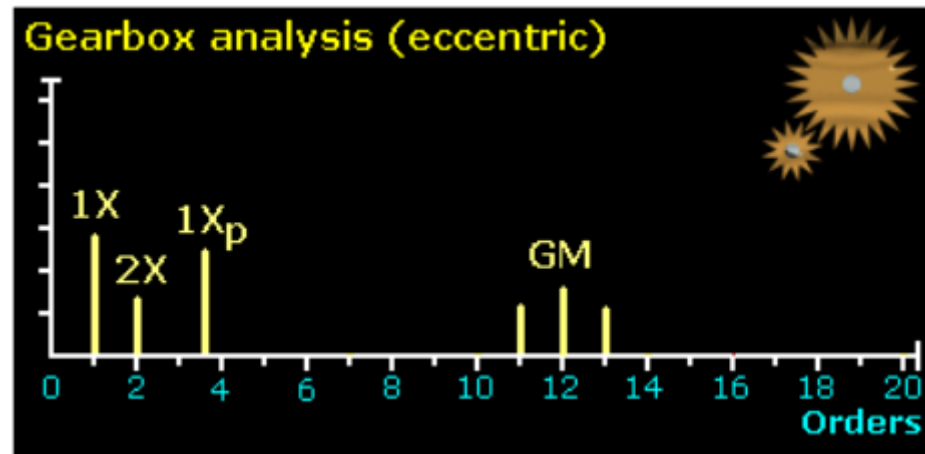
- wzrost amplitud wstęp bocznych wokół częstotliwości zazębienia (GM)
- wraz z rosnącym obciążeniem przekładni z luzami amplitudy częstotliwości własnych (GNF) i amplitudy częstotliwości zazębienia (GM) mogą maleć



Wibrodiagnostyka

Mimośrodowość przekładni / ugięty wał

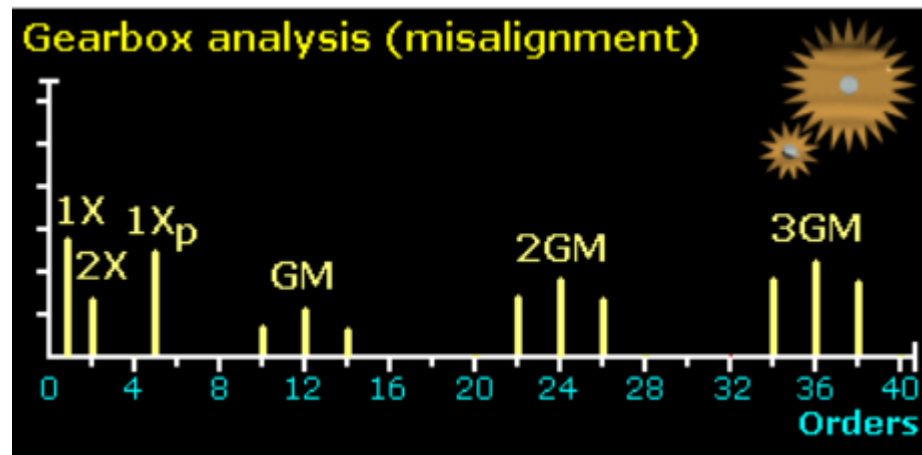
- pojawienie się jednej wstęgi bocznej (symetrycznie) wokół częstotliwości ząbienia (GM), czyli $GM \pm 1X$



Wibrodiagnostyka

Rozosiowanie wałów

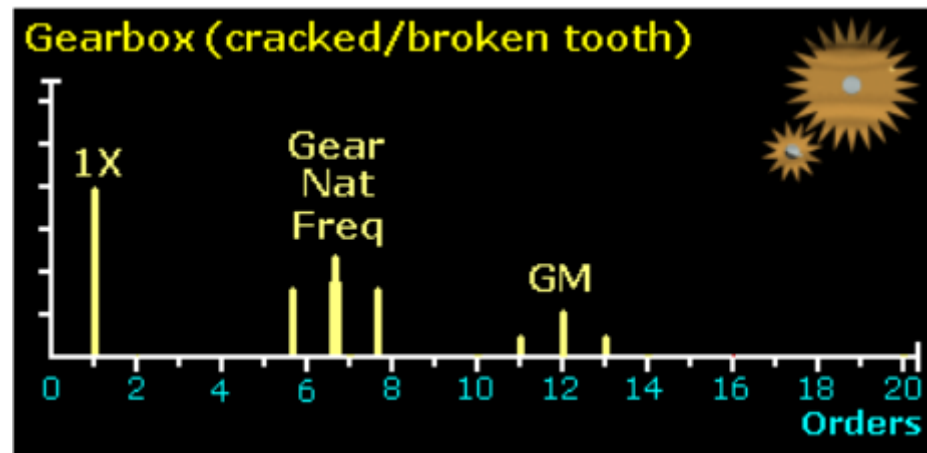
- pojawienie się harmonicznycy częstotliwości zazębienia 2GM, 3GM itd. Wraz ze wstęgami bocznymi



Wibrodiagnostyka

Pęknięty lub złamany ząb

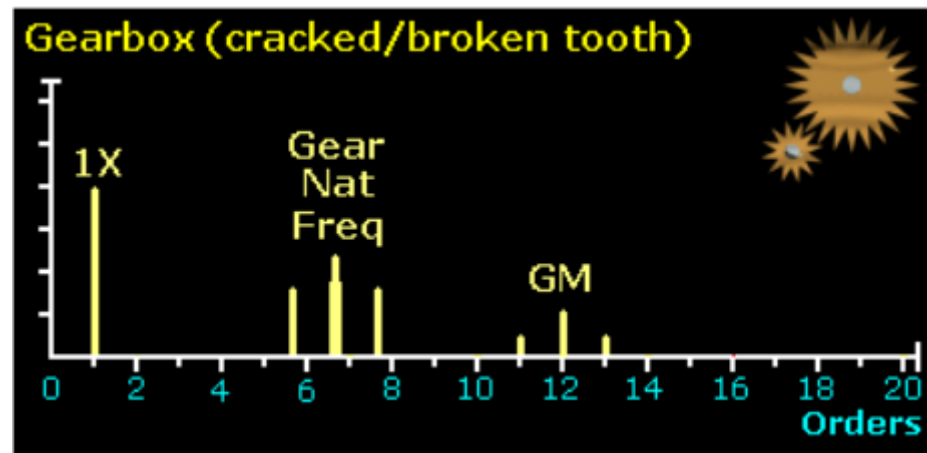
- wzrost amplitudy o częstotliwości 1X
- wystąpienie częstotliwości własnych przekładni (GNF)



Wibrodiagnostyka

Pęknięty lub złamany ząb

- wzrost amplitudy o częstotliwości 1X
- wystąpienie częstotliwości własnych przekładni (GNF)



Pomiar temperatury przekładni

Pomiar temperatury przekładni zębatej zazwyczaj odbywa się za pomocą pirometrów lub kamer termowizyjnych. Kiedy zatem warto przy diagnostyce przekładni zastosować pirometr a kiedy lepsza będzie kamera termowizyjna?

Pirometry zapewniają głównie możliwość pomiaru temperatury punktu lub bardzo małej powierzchni. Podczas prac związanych z pomiarami w oparciu o pirometry należy mieć na uwadze czasochłonność wynikającą z konieczności przeprowadzenia dużej ilości pomiarów. Kamera termowizyjna pozwala na wykonanie dużej ilości pomiarów przy użyciu jednego przycisku. Oprócz tego wyniki są przedstawiane w formie widocznego obrazu z naniesionymi punktami gorącymi i zimnymi. Co prawda zarówno kamery termograficzne jak i pirometry pozwalają na pomiar temperatury to jednak kamera jest w stanie wykonać znaczną ilość zdjęć jednocześnie.

Korzystając z pirometru należy zwrócić uwagę na miejsce prowadzenia pomiaru. Kamera pozwala nie tylko na odczyt temperatury ale również na przedstawienie ich w postaci wizualnej, dzięki czemu jest możliwe szybkie odnalezienie punktu o temperaturze odbiegającej od temperatury pozostałych elementów.

Diagnostyka olejowa

Diagnostyka oleju polega na pomiarze jego parametrów charakterystycznych, rejestrowaniu zmian w nim zachodzących oraz zestawianiu ich z wartościami dopuszczalnymi. Częstotliwość poboru próbek oleju jest dostosowana indywidualnie do każdego przypadku. Wśród badanych aspektów można wyróżnić:

- lepkość kinematyczną – parametr ten w wyniku eksploatacji może ulegać obniżeniu na skutek działania wysokiej temperatury, procesów ścinania i utleniania. Trwałość filmu smarnego pogarsza się, podobnie jak zdolności chłodzenia przekładni i amortyzowania wstrząsów;
- liczbę kwasową – stanowiącą jedno z kryteriów starzenia oleju. W pierwszym etapie eksploatacji liczba kwasowa spada, a wraz z pogarszaniem się działania środków uszlachetniających i utleniania się oleju gwałtownie wzrasta, wpływając negatywnie na jakość oleju;
- zawartość wody – olej reagując z wodą pogarsza właściwości dodatków uszlachetniających, a sama woda prowadzi do powstania korozji w układzie, przyspiesza zacieranie i zużycie ściernie powierzchni współpracujących kół zębatych;

Diagnostyka olejowa

- obecność zanieczyszczeń – występujących w postaci osadów i szlamów. Zanieczyszczenia do oleju dostają się głównie z zewnątrz. Źródłem ich mogą być: korozja, reakcje chemiczne oleju z elementami metalowymi, starzenie się elementów niemetalowych przekładni np. uszczelniaczy, prowadzące do ich wykruszania, a także sama współpraca powierzchni zębów. Dodatkowo powstają na skutek utleniania i starzenia;
- odporność na emulgowanie – czyli zdolność do niemieszania się oleju z wodą znajdującą się w obrębie korpusu przekładni. Woda osadzająca się w przekładni powoduje korozję elementów metalowych, hydrolizuje dodatki uszlachetniające, zwiększa opory filtracji;
- odporność na pienienie – pienienie prowadzi do niedostatecznego smarowania samej przekładni i uszkodzeń pomp i zaworów. Piana na powierzchni oleju powstaje głównie na skutek szybkości przepływu (przy smarowaniu natryskowym) i różnicy jego ciśnienia roboczego. Olej powinien mieć zdolność do odpowietrzania.

Diagnostyka olejowa

Do metod diagnostycznych środków smarujących przekładnie zębate można zaliczyć spektroskopię. Pozwala ona w jakościowy i ilościowy sposób ocenić cząstki metaliczne w oleju. Umożliwia w stosunkowo szybki sposób wykrycie przekroczenia dopuszczalnej liczby wspomnianych cząstek spowodowanego zanieczyszczeniami i zużyciem współpracujących powierzchni kół zębatach. Analiza spektrometryczna odnosi się przede wszystkim do diagnozowania nadmiernego tarcia w przekładni oraz węzłach łożyskowych.