

Tłumienie drgań skrętnych w układzie napędowym



GRZEGORZ FEDOROWICZ

EKSPERT PRZEDSTAWICIELSTWA
ZF FRIEDRICHSHAFEN AG W POLSCE

DRGANIA WYSTĘPUJĄCE W UKŁADZIE PRZENIESIENIA NAPĘDU PRZYSPIESZAJĄ SIĘ DO PRZYSPIESZONEGO ZUŻYCIA JEGO ELEMENTÓW ORAZ POWODUJĄ POWSTAWANIE HAŁASÓW OBNIŻAJĄCYCH KOMFORT UŻYTKOWANIA POJAZDU

Koncern ZF poświęca wiele uwagi badaniom nad występowaniem drgań o charakterze skrętnym oraz projektowaniu skutecznych układów ich tłumienia. Efektem tych prac jest z jednej strony radykalna poprawa komfortu podróżowania, a z drugiej – bardziej efektywne wykorzystywanie mocy i momentu obrotowego nowoczesnego silnika.

W uproszczeniu, układ napędowy pojazdów składa się z: silnika, sprzęgła, skrzyni biegów, wału napędowego lub przegubowych półosi oraz napędza-

nych kół. Dla poprawy komfortu podróży oraz oszczędności masy całego pojazdu układ napędowy musi być elastycznie zestrojony z występującymi w nim momentami obrotowymi. Już w latach 30. ubiegłego wieku stwierdzono, że drgania o charakterze skrętnym oraz towarzyszące im hałasy w układzie przeniesienia napędu można znacząco zredukować poprzez zmniejszenie sztywności skrętnej elementów łączących silnik ze skrzynią biegów. W kolejnych dziesięcioleciach doprowadziło to do opracowywania coraz doskonalszych tłumików drgań skrętnych wbudowywanych w tarcze sprzęgłowe, aż do ich konstrukcji wielostopniowych najnowszej generacji.

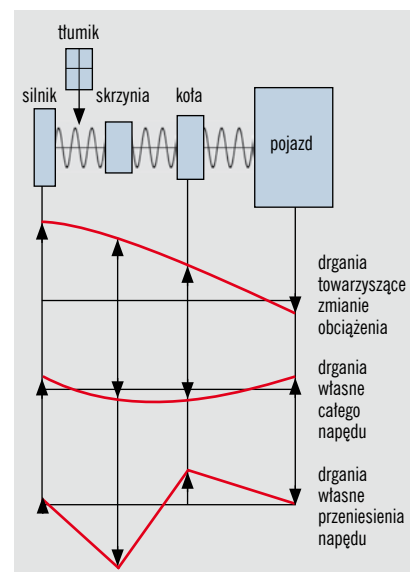
Fizyczna istota problemu

Przyczyną pojawiania się drgań skrętnych w układach napędowych współczesnych pojazdów są m.in.:

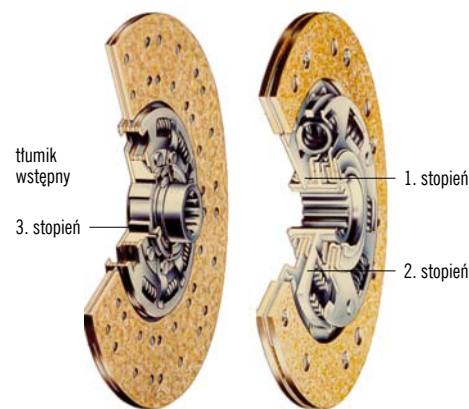
- szybkie zmiany wartości generowanego przez silnik momentu obrotowego, czyli cykliczne przyspieszenia kątowe związane z pracą poszczególnych cylindrów;
- zmiany obciążenia układu podczas dynamicznego przyspieszania pojazdu;
- nierównomierna praca sprzęgła zakłócająca płynność przenoszenia napędu.

Drgania te objawiają się hałasami dochodzącymi ze skrzyni biegów (zderzanie się zębów współpracujących ze sobą kół zębatach) oraz rezonansowymi wibracjami elementów karoserii. Natężenie hałasu zależy dodatkowo od luzów w ząbieniu kół zębatach, lepkości oleju przekładniowego oraz łożyskowania wału korbowego i obrotowych elementów przeniesienia napędu.

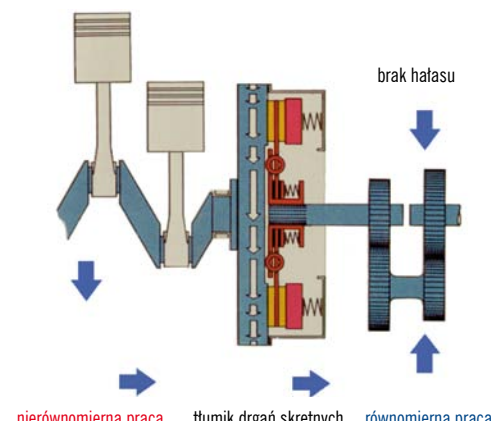
Optymalizacja występujących drgań skrętnych wymaga identyfikacji ich źródła oraz ustalenia częstotliwości drgań własnych w całym układzie przeniesienia napędu.



SCHEMAT DRGAŃ WŁASNYCH W POJEZDZIE



WIELOSTOPNIOWY TŁUMIK DRGAŃ SKRĘTNYCH

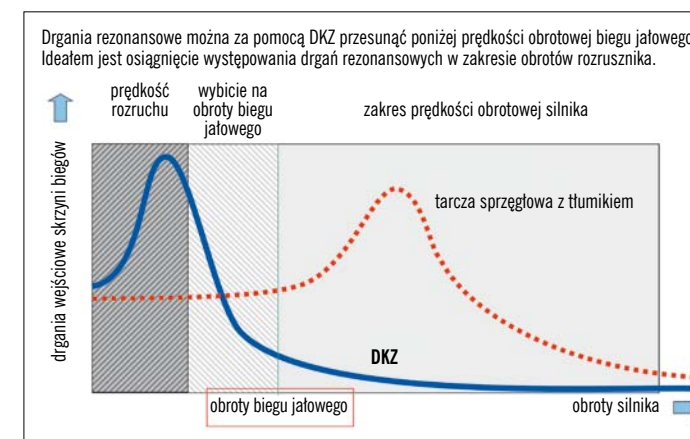


TARCZA SPRZĘGŁA Z TŁUMIKIEM DRGAŃ SKRĘTNYCH

FOT. ZF SERVICES

FOT. ZF SERVICES

Na pierwszym z załączonych rysunków pokazano schemat układu przeniesienia napędu składającego się z czterech drgających mas. Drgania i towarzyszące im hałasy nasilają się najbardziej w trakcie przechodzenia przez zakres drgań rezonansowych. Dla wyjaśnienia tych zjawisk trzeba się odwołać do stosowanego m.in. w mechanice pojęcia składowych harmonicznych (zwanym w skrócie „harmonicznymi”), czyli kolejnych wielokrotności jakiejś częstotliwości podstawowej.



PORÓWNANIE ZAKRESÓW CZĘSTOTLIWOŚCI REZONANSOWYCH PRZY DKZ ORAZ TRADYCYJNEJ TARCZY SPRZĘGŁOWEJ

Pierwsza harmoniczna drgań własnych całego układu napędowego występuje na biegach niskich, przy częstotliwościach 1-3 Hz, a powodują ją głównie zmiany obciążeń zewnętrznych. Pierwsza harmoniczna samego układu przeniesienia napędu (bez uwzględnienia drgań silnika), zawiera się w przedziale częstotliwości 9-13 Hz i może niekiedy powodować „szarpnięcie” sprzęgła.

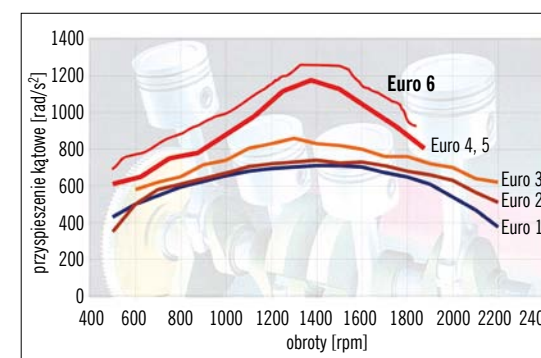
Trzecia harmoniczna układu napędowego wzbudzana jest powtarzalnością zapłonów w tych samych cylindrach (w czterocylindrowych silnikach czterosuwowych co 2 obroty wału korbowego, w pięciocylindrowych co 2½ obrotu itd.).

W tarczach sprzęgłowych z tłumikiem drgań skrętnych i przy włączonym biegu rezonans drgań własnych (trzecia harmoniczna) występuje najczęściej w zakresie częstotliwości 40-70 Hz. Analogiczne prędkości obrotowe (2400-4200 obr./min) występują przy optymalnym użytkowaniu silnika. Dlatego konstruktorzy starają się tak przenosić ten zakres drgań własnych, by nie docho-

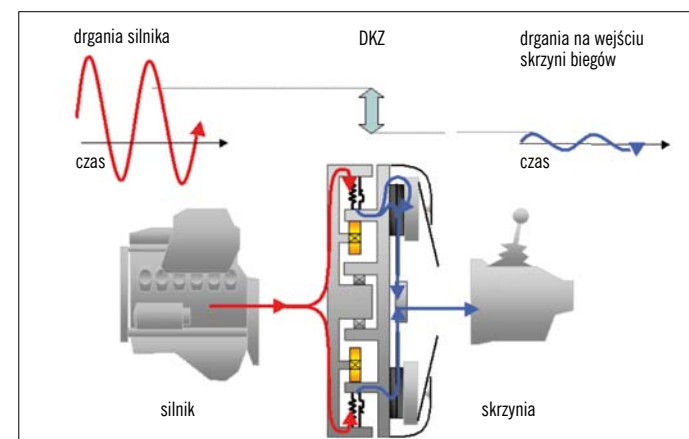
dziło do rezonansu z powodu zgodnych częstotliwości.

Niski próg rezonansu

W najnowszej generacji tarcz sprzęgłowych stosuje się najczęściej trzystopniowy układ tłumienia drgań skrętnych. Zawiera on takie elementy, jak: tarcza zabierakowa, przeciwtarcza oraz sprężyny spiralne poszczególnych stopni tłumienia (umiejscawiane w oknach centralnej części tarczy). Sprężyny tarcz sprzęgłowych



ZALEŻNOŚĆ PRZYSPIESZEŃ KĄTOWYCH WAŁU KORBOwego OD GENERACJI SILNIKA



EFEKTY DZIAŁANIA DWUMASOWEGO KOŁA ZAMACHOWEGO

umożliwiają kątowy skręt piasty nawet do 18°. Przez odpowiedni dobór sztywności sprężyn oraz ich wielkości można osiągać zróżnicowane charakterystyki tłumienia drgań. Wielostopniowe tłumienie pozwala na uzyskanie progresywnej charakterystyki tłumienia. Dodatkowo, w układzie często stosuje się osobne tłumiki drgań (tzw. „wstępnych” obrotów biegu jądowego), a w tarczach sprzęgłowych jako elementy tłumiące wykorzystuje się pierścienie cierne.

Moment obrotowy współczesnych silników jest jednak już przy prędkości 800-1000 obr./min wystarczający do napędzania pojazdu. Do redukcji drgań w tym zakresie częstotliwości niezbędny byłby tradycyjny tłumik drgań o małej sztywności skrętnej (rzędu 1 Nm/°) lub wprowadzenie dodatkowej masy o znacznym momencie bezwładności pomiędzy tłumik a skrzynię biegów. Obie te koncepcje były mało realne. Rozwiązaniem tego problemu okazało się zintegrowanie tłumika drgań skrętnych z kołem zamachowym podzielonym na dwie masy (pierwotną i wtórną). Zespół

ten znany jest dziś jako dwumasowe koło zamachowe DKZ.

Trzecia harmoniczna drgań własnych w przypadku kół dwumasowych zawiera się w przedziale 6-20 Hz, czyli w zakresie obrotów wału korbowego podczas rozruchu silnika, a poniżej prędkości obrotowej biegu jądowego.

DWUMASOWE KOŁA ZAMACHOWE ROZWIĄDUJĄ DOTYCHCZASOWE PROBLEMY DRGAŃ W UKŁADACH NAPĘDOWYCH



W ciężkich pojazdach użytkowych tarcze sprzęgłowe (o średnicy 430 mm) mają trzecią harmoniczną drgań własnych w przedziale 30-50 Hz. Stosowanie DKZ nie jest więc w tym wypadku konieczne, ale przynosi wymierne korzyści w postaci bardziej efektywnego wykorzystania wyższego zakresu prędkości obrotowych silnika na wysokich biegach. ■