



Katowice 15.11.2009r.

Napęd 4x4 - co to takiego do jasnej cholery?

Czyli układy przeniesienia napędu od podstaw

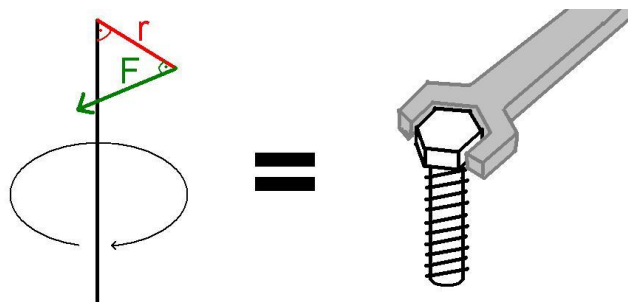
Jeśli podejmiemy do pierwszego z brzegu człowieka na ulicy i zadamy mu pytanie „co to jest napęd na 4 koła” to prawdopodobnie spojrzy na nas jak na idiotę i odpowie „no jak to co, wszystkie koła są napędzane”. Brzmi prosto, ale już wcale takie proste nie jest. Dlatego też postanowiłem napisać te parę słów, żeby wyjaśnić kilka spraw i obalić trochę stereotypów. Będziemy się tu zajmować tylko układami 4x4, które możemy znaleźć w samochodach, jeśli kogoś interesują kwestie np. maszyn budowlanych, będzie musiał zajrzeć gdzie indziej.

Na pewno nie uda mi się tematu wyczerpać, ale jeśli po przeczytaniu tego będziesz umiał sformułować konkretne pytania na ten temat, to uznam to już za swój sukces. Zagadnienie to jest na tyle szerokie, że bardzo trudno ułożyć to w spójną całość, zachowując logiczny tok i unikając dygresji, ale wiercie mi, robię co mogę. Zaczynamy więc...

Troszkę pojęć podstawowych, czyli wracamy do podstawówki.

Pierwszym zagadnieniem, którym musimy się zająć jest ustalenie kilku pojęć fizycznych. Nikt tego nie lubi, ale braki u podstaw uniemożliwiają zrozumienie tego co jest dalej.

W przypadku napędu pojazdów kołowych, to co interesuje nas najbardziej to **moment obrotowy**. Moment obrotowy definiujemy jako siłę działającą na długości ramienia, wg wzoru $M = r \cdot F$, co łatwo możemy sobie wyobrazić w życiu codziennym- próbując odkręcić zabezpieczoną śrubę każdy z nas bez zastanawiania się sięgnie po najdłuższy dostępny klucz. Wynika to z tego, że siłę F mamy zawsze taką samą, zależną od siły naszych rąk, ale długość narzędzia możemy zmienić, uzyskując dwukrotne zwiększenie momentu przez użycie dwukrotnie dłuższego narzędzia. W samochodzie mamy sytuację nieco odwrotną- czym większe koła, tym więcej potrzebujemy momentu obrotowego, żeby taką samą



siłę pchającą nas do przodu przelożyć na asfalt.

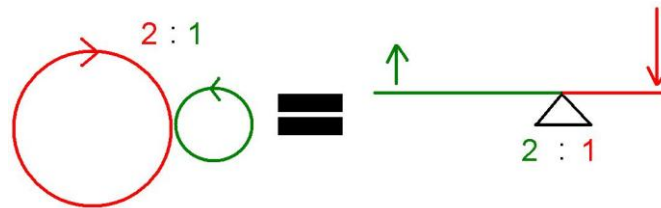
Wartość której wszyscy bardzo się czepiają to **moc**. W motoryzacji moc definiujemy jako moment obrotowy mnożony przez prędkość obrotową (prędkość kątową) $P = M \cdot \omega$. Co to w praktyce dla nas oznacza? Jeśli dwa silniki dają w danej chwili taki sam moment, ale jeden kręci się od drugiego dwa razy szybciej to ten drugi ma dwa razy większą moc. Wówczas możemy pokusić się o wstawienie temu szybszemu silnikowi przekładni o przetożeniu 2:1 (2 obroty silnika dadzą 1 obrót wału). Efektem będzie to, że otrzymamy przy szybkości obrotowej równej silnikowi słabszemu dwukrotnie większy moment, czyli to co pcha nas do przodu. Na tej zasadzie bazują właśnie wszelkie przekładnie, np. skrzynia biegów.

Innymi słowy, moc określa ile pracy w danym czasie może wykonać silnik.



- www.jeepnici.pl SQUAD -

Reduktor- jest to przekładnia, która zgodnie z podanym wyżej wzorem, daje nam więcej momentu kosztem prędkości obrotowej. Przełożenie reduktora 2:1 oznacza, że dla danej prędkości jazdy silnik będzie (na tym samym biegu skrzyni) uzyskiwał 2 razy większą prędkość obrotową, ale też na kołach będziemy mieli 2x więcej momentu (nie uwzględniając oczywiście tego, że przy innych obrotach silnika moment przezeń oddawany jest inny). Tak też, reduktor jest dla nas tym wspomnianym dłuższym kluczem.

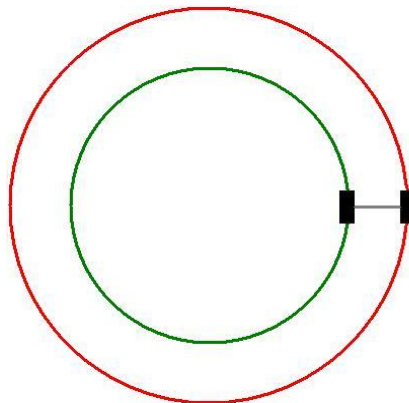


Skrzynia rozdzielcza z kolei odpowiada za rozkładanie napędu na obie osie z pomocą mechanizmów, które omówimy dalej. Ponieważ zwykle to ona zawiera w sobie reduktor, bywa określana powszechnie (acz błędnie) mianem reduktora.

Obecnie najczęstszym rozwiązaniem w konstrukcji skrzyń rozdzielczych jest wyprowadzanie jednego wałka bezpośrednio w osi samochodu (napęd na tył), oraz odsunięcie wyjścia wału przedniego w bok, aby móc ominąć ułożony wzdłużnie silnik. Najczęściej napęd wału przedniego przenoszony jest w tym układzie za pomocą łańcucha, jednak zdarzają się też inne rozwiązania. Innym podejściem do tematu jest układ poprzeczny, gdzie dyferencjał centralny jest scalony z dyferencjałem osi przedniej i przyklejony z boku skrzyni biegów. Tutaj dla uproszczenia stosował będę układ klasyczny, bo inaczej zupełnie się w tym pogubimy...

Jak połączyć ze sobą koła? Dyferencjał.

Nie licząc fanów wyścigów na ¼ mili oraz wielbicieli wielkich felg w obniżanych autach, większość kierowców chciałaby, żeby ich auto było w stanie skręcać. Musimy jednak pamiętać, że koła naszego pojazdu w zakręcie pokonują różnej długości drogę. Obrazuje to ten banalny rysunek:



Gdyby tego było mało, to przednie i tylne również pokonują różne drogi (weźcie to na wiarę, nie chce mi się tego rysować). Efekt jest taki, że w zakręcie każde z 4 kół pokonuje różną drogę, a to oznacza, że musi kręcić się z inną prędkością.

Wszystko jest w porządku gdy poruszamy się zaprzęgiem konnym, w którym każde koło jest niezależne, a siłą pociągową daje nam koń. Niestety od czasu gdy człowiek wpadł na genialny pomysł, żeby do bryczki



- www.jeepnici.pl SQUAD -

wpakować silnik a jego moc przenieść prosto na koła, pojawił się pewien problem. Facet ów stanął przed wyborem, czy woli napędzać tylko jedno koło (co jest trochę niepraktyczne, bo bryczka sama by skręcała, lub musiałyby mieć tylko 3 koła), czy też oba na jednej, sztywnej osi (co z kolei powodowało, że bryczka nie za bardzo chciała skręcać, koło po wewnętrznej stronie zakrętu traciło przyczepność, a oś łącząca koła narażona była na duże przeciążenia).

Z pomocą przyszła prosta sztuczka fizyczna- wymyślono mechanizm różnicowy (bo różnicuje prędkości kół), czyli dyferencjał.



Jak działa dyferencjał? Najpierw ustalmy, co jest czym na zdjęciu:

Założeniem podstawowym jest, że w układzie działają trzy momenty obrotowe- jeden idący z silnika i dwa idące do kół (jedna do lewego, druga do prawego). W sytuacji jazdy na wprost po przyczepnej nawierzchni obudowa kosza jest napędzana przez silnik. Niezależnie co się dzieje, obraca się ona ze stałą prędkością będącą równą prędkości obu kół.

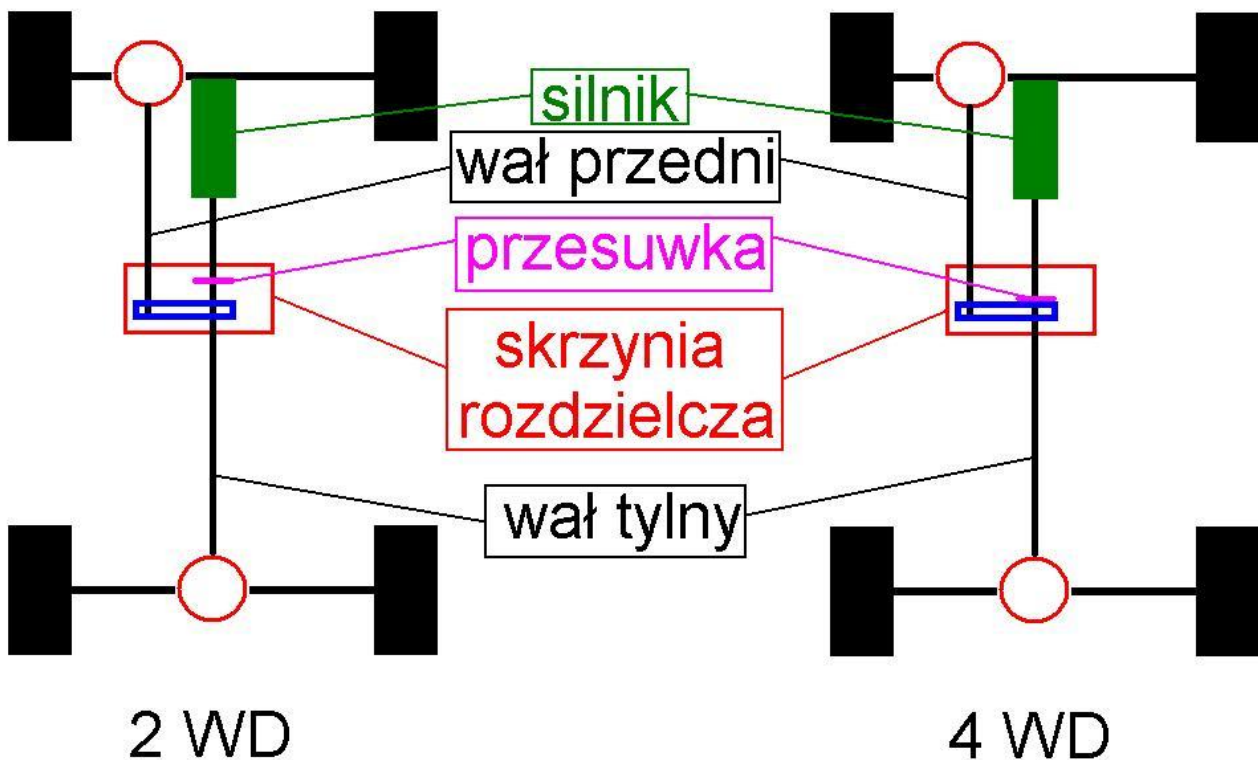
Nieco ciekawiej robi się w zakręcie. Wówczas, kosz kręci się dalej ze stałą prędkością, będącą średnią z prędkości obu kół. Koła koronowe natomiast kręcą się przeciwnie do siebie, co pozwala jednej półosi przyspieszyć, a drugiej zwolnić.

Ponieważ satelita oparta jest na sworzniu (więc MUSI się kręcić razem z obudową) i ma ząbki równej wielkości, oznacza to, że oba koła dostają taki sam moment (wychodzi z tego dźwignia dwuramienna o równej długości ramion). Sytuacja jest więc analogiczna do konika na placu zabaw- zabawa jest super do czasu, gdy obie siedzące na nim osoby mają podobną masę. Gdy jednak złośliwy kolega zeskoczy z



przeciwnej strony, lecimy w dół, boleśnie obijając swój tyłek. Takim złośliwym kolegą jest poślizg jednego z kół danej osi. Jeśli jedno koło ma idealną przyczepność, ale drugie np. wisi w powietrzu (lub stoi na lodzie, błocie- użyjcie wyobraźni), to cała energia generowana przez silnik (odliczając opory tarcia, o czym później) pójdzie do tego bezużytecznego w chwili obecnej koła. Mało tego, musimy zauważyć, że wówczas układ satelit działa jak przekładnia, powodująca, że koło w powietrzu kręci się dwukrotnie szybciej od kosza. Ponieważ moc oddawana przez silnik jest zawsze taka sama, oznacza to, że koło takie dysponuje o połowę mniejszym momentem ($P = M \cdot \omega$, więc $P = \frac{1}{2} M \cdot 2 \omega$). Innymi słowy, w klasycznym dyferencjale, pojedyncze koło może przenieść **MAKSYMALNIE** połowę momentu dostarczanego do kosza i ani trochę więcej, niezależnie od okoliczności.

Jak to zrobić najprościej? Part-time 4x4



Nie wnikając za bardzo w historyczne niuanse, pierwszym powszechnie znanym samochodem terenowym był Jeep Willys. Jako auto dla wojska musiał być możliwie najprostszy, a przy tym dzielny w terenie. Przyjęto więc założenie, że musi mieć napęd na 4 koła. Do tego musiał poruszać się po drogach. Wyposażono go więc w najprostszy napęd z jakim można się spotkać w samochodach dziś produkowanych- obie osie posiadały zwykłe dyferencjały, natomiast wał przedni nie był napędzany do czasu gdy kierowca wajchę wbił 4x4, co powodowało przemieszczenie przesuwki, która łączyła ze sobą sztywno oba wały. Oznacza to, że samochód z takim napędem nie może poruszać się z napędem na 4 koła po przyczepnej nawierzchni- tylne koła pokonujące krótszą drogę niż przednie chcą jechać wolniej, przednie szybciej. Albo któreś koło musi się poślizgnąć (na szczęście najczęstsza sytuacja), albo coś musi się urwać (niestety, też tak bywa).



- www.jeepnici.pl SQUAD -

Oczywiście, w terenie mamy napędzane wszystkie 4 koła, ale musimy pamiętać o tym, że strata trójki przez jedno z kół osi odbiera napęd drugiemu. Tym samym, jeśli wpakujemy się np. jedną stroną auta do rowu, unosząc dajmy na to oba prawe koła w powietrze, to możemy spokojnie dzwonić po traktor.

Dodatkowym elementem często używanym w układach part-time są sprzęgielka montowane w piastach. Pozwalają one na odłączenie półosi od kół, co z kolei w połączeniu z odpięciem wału w skrzyni rozdzielczej powoduje, że wał, dyferencjał i półosie w czasie jazdy 2WD nie kręcą się. Pozwala to na zmniejszenie spalania i lekką poprawę osiągnięć.

Zalety:

- prostota
- tanie wykonanie
- niezawodność

Wady:

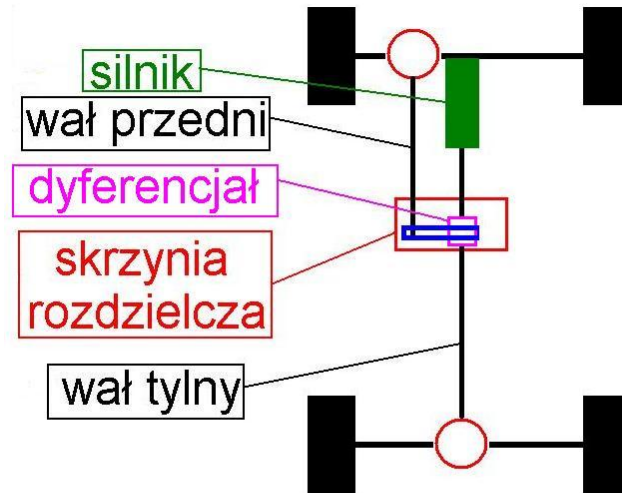
- brak możliwości jazdy 4x4 po nawierzchniach przyczepnych
- brak przekazywania momentu pomiędzy kołami danej osi
- możliwość uszkodzenia wskutek nieumiejętnego użycia

Przykładowe zastosowania:

- Jeep: command-trac, rock-trac (Wrangler, Cherokee, Liberty, Grand Cherokee ZJ)
- Suzuki: Drive Action 4x4 (Jimny)

A co gdyby trochę udziwnić? Full-time 4x4

W pewnym momencie ktoś wpadł na sprytny pomysł, żeby wstawić pomiędzy osie trzeci dyferencjał, tzw. dyferencjał centralny. To umożliwiło jazdę 4x4 po nawierzchniach przyczepnych, co jest szczególnie cenne dla samochodów sportowych. Dzięki zastosowaniu trzech dyferencjałów, każde koło dostawało po 25% mocy silnika, co znacząco zmniejszało tendencje do poślizgów. Niestety nasiliło to problem utraty przyczepności jednego z kół- w tym układzie teoretycznie strata przyczepności jednego koła powodowała całkowite unieruchomienie samochodu. Spowodowało to, że układ w tej postaci nie jest już praktycznie nigdy stosowany (za wyjątkiem układów z kontrolą trójki, ale o tym dalej).



Full-time 4x4

Zalety:

- możliwość używania 4x4 na nawierzchniach przyczepnych
- równe obciążenie wszystkich kół siłą napędową

Wady:

- podniesienie kosztów produkcji
- większa ilość ruchomych elementów
- możliwe unieruchomienie auta

Przykładowe zastosowania:

- Fiat Panda I generacji
- Golf Cross-Country

Jak pokonać problem „uciekania mocy” między osiami? Full-time 4x4 z blokadą centralnego dyferencjału

Dalszym krokiem ewolucji napędu 4x4 jest napęd stały z dyferencjałem centralnym i możliwością jego blokady. Zblokowanie centralnego dyferencjału czyni z tego układu układ typu part-time (czasem jest to wariant pośredni między full-time a part-time, o tym dalej). Blokada ta może być realizowana na wiele różnych sposobów, wśród nich:

a) blokada mechaniczna za pomocą przesuwki- kierowca może zablokować dyferencjał dźwignią, co najczęściej realizowane jest przesuwką łączącą jeden z wałków z obudową dyferencjału. Skutkiem jest zatrzymanie satelit w miejscu, co z kolei uniemożliwia różnicowanie prędkości mostów. Jest to rozwiązanie stosowane głównie w samochodach terenowych

Zalety:

- prostota działania
- 100% blokada
- pełna kontrola przez kierowcę

Wady:

- długi czas uruchamiania



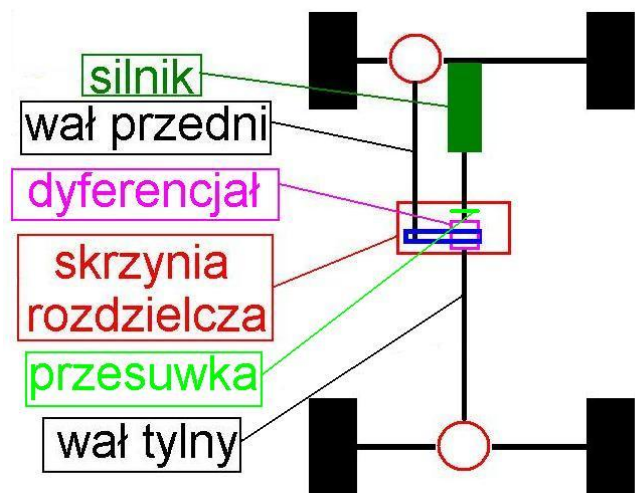
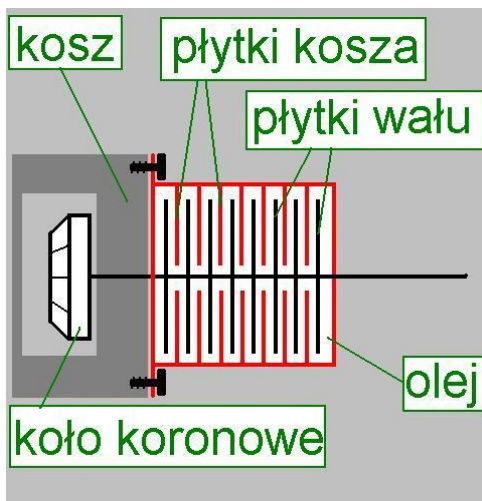
- www.jeepnici.pl SQUAD -

- brak możliwości zblokowania przy różnych prędkościach kół (w poślizgu)
- wymaga reakcji kierowcy z wyprzedzeniem, zanim wymagana będzie pełna trakcja
- duża ilość elementów ruchomych
- wymaga od kierowcy wiedzy o zasadach używania mechanizmów

Przykładowe zastosowania:

- Jeep: Selec-Trac (Cherokee, Liberty, Grand Cherokee ZJ i WJ)

b) blokada wiskotyczna- założone na dyferencjał sprzęgło wiskotyczne robi dokładnie to samo co mechaniczna przesuwka, z tym tylko, że dzieje się to płynnie (bezstopniowo) i bez udziału kierowcy. Idea pracy sprzęgła wiskotycznego opiera się na pewnej własności polimerów zastosowanych w oleju je wypełniającym. Sprzęgło posiada kilka(naście) płytek z otworkami umocowanych na jednym wałku wychodzącym z dyferencjału i kilkanaście płytek umocowanych na obudowie dyferencjału. Płytki te ułożone są naprzemiennie. W momencie uślizgu którejś osi, płytki poruszają się względem siebie. Ich wzajemna prędkość obrotowa warunkuje tzw. szybkość ścinania (parametr określany w układzie SI za pomocą jednostki Poise). Innymi słowy, wskutek lepkości oleju, jest on rozdzielany przez płytki. Przy odpowiedniej szybkości ścinania, polimery które dotąd były zwinięte w kuleczki zaczynają się rozciągać. Coś jakby zwinięty sznurek wystawić na wiatr. Wówczas, duże, liniowe cząstki zaczynają się o siebie ocierać, drastycznie zwiększając lepkość oleju, a co za tym idzie- tarcie. To powoduje, że płytki dostawnie kleją się do siebie, wyrównując swoje prędkości obrotowe, tym samym wyrównując prędkość wału i obudowy dyferencjału.



Full-time 4x4
z blokadą mechaniczną

Zalety:

- możliwość blokowania dyferencjału w dowolnej chwili
- prostota konstrukcji

Wady:

- stosunkowo długi czas reakcji
- spadek skuteczności z biegiem czasu
- brak możliwości 100% transferu mocy

Przykładowe zastosowania:

- Jeep: Quadra Trac (Grand Cherokee ZJ)



- Subaru: Forester, Impreza
- Suzuki: Grand Vitara

c) Blokada sprzęgłem wielopłytkowym- systemy typu haldex i gerodisk. Oba systemy opisane będą dokładnie dalej, w punkcie o układach On-Demand. Jedyna różnica polega na tym, że o ile w układach on-demand sprzęgła łączą bezpośrednio wały napędowe, o tyle w systemach full-time, służą one do zablokowania centralnego dyferencjału. Idea jest dokładnie taka sama jak w przypadku układu Full-time z blokadą wiskotyczną, różni się tylko i wyłącznie typ sprzęgła.

d) Dyferencjał o zwiększonym tarcu wewnętrznym.

Kolejnym ciekawym pomysłem na rozwiązanie problemu „ucieczki momentu” okazało się wynalezienie dyferencjałów o ograniczonym uślizgu, tzw. LSD (Limited Slip Differential). Klasyczne LSD płytkowe opiszę dalej, gdyż nie znalazło ono szerokiego zastosowania w dyferencjale centralnym. Tutaj skupimy się na szczególnym przypadku- dyferencjale typu Torsen (TORque SENSing). Matematyczny opis zasady działania jest na tyle trudny, że sam go nie łapię, więc nie będę zgrywał eksperta i próbował rzucać tu wzorami. Istotne w tym momencie jest natomiast zrozumienie fenomenu przekładni ślimakowej.

Z przekładnią taką mamy do czynienia np. w układzie kierowniczym ze względu na jej wyjątkową cechę- zębatka ślimakowa jest w stanie napędzać zębatkę o użębieniu prostym/skośnym, ale ta sama zębatka prosta nie potrafi napędzać ślimaka (tzn. w ograniczonym stopniu potrafi, ale straty siły są na takim przełożeniu ogromne, tym większe, czym większy opór ślimaka). Skutkiem tego, przykładowa kierownica nie wyrwa nam się z rąk przy wjeździe w dziurę (wielkie tarcie dla transferu siły od kół do kierownicy), a jednocześnie możemy spokojnie nią swobodnie skręcać (brak tych strat w drugą stronę).

Teraz wyobraźmy sobie, co się stanie, jeśli koło koronowe dyferencjału zostanie kołem skośnym, a satelity zostaną zastąpione ślimakami. Możemy budowę takiego przykładowego dyferencjału (Detroit TrueTrac) zobaczyć na filmiku pod adresem: <http://www.youtube.com/watch?v=lZmsY2YvVsc>

Jak widać, w momencie gdy któreś koło koronowe próbuje przyspieszyć, jest ono hamowane przez tarcie przekładni ślimakowej. Satelity z kolei wzajemnie rozpychają się, napotykać opór ścianek dyferencjału, co jeszcze bardziej zwiększa tarcie. Tym samym, poślizg jest ograniczony, lecz wciąż może zachodzić różnicowanie prędkości obrotowych. Ograniczanie poślizgu jest tym większe, czym większe są momenty w dyferencjale.

Słabą stroną tego rozwiązania jest to, że aby zachodziło tarcie w dyferencjale, oba wały muszą stawić pewien opór, czyli że na obu osiach musimy mieć jakąś przyczepność. Stopień ograniczania poślizgu określa parametr zwany z angielskiego „bias”. Opisuje nam on o ile więcej momentu obrotowego może otrzymać jedna oś (lub koło, jeśli torsen znajduje się w moście, o tym dalej) względem drugiej. Bias 3:1 oznacza, że jeśli jeden wał z racji na ograniczoną przyczepność kół danej osi przenosi tylko 100Nm, drugi może dostać 3 razy więcej, czyli 300Nm. Regulacja tej siły realizowana jest przez zmianę kąta nachylenia ślimaka. Bias jest tym większy, im większe jest nachylenie ślimaka. Niestety, jeśli jeden most nie ma żadnej przyczepności (np. wisi w powietrzu), wówczas w sposób oczywisty, $0 \cdot 3 = 0$, czyli i tak stoimy w miejscu.

Zalety:

- nieustanne działanie ZANIM nastąpi poślizg osi
- niewielka ilość elementów ruchomych- wysoka niezawodność
- niewielka masa
- brak zaangażowania kierowcy w proces przenoszenia mocy
- trwałość (brak typowych elementów ciernych)

Wady:

- niemożność przeniesienia 100% mocy na jedną oś
- wysoki koszt produkcji przekładni ślimakowej

Przykładowe zastosowania:

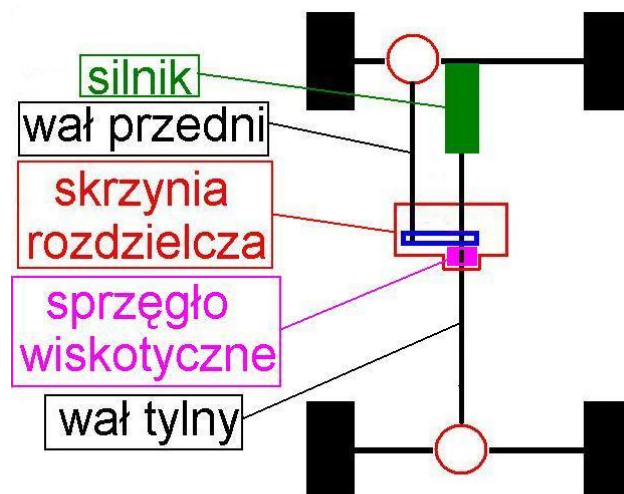
- Audi Quattro (z wyjątkiem Quattro bazującym na sprzęgle Haldex)
- Alfa Romeo Q4



A może by tak napęd 4x4 tylko gdy go potrzeba? On-demand 4x4.

W latach 80-tych poprzedniego wieku producenci zauważyli, że dla przeciętnego użytkownika prawdziwy napęd 4x4 potrzebny jest bardzo rzadko i to tylko na chwilę. Wpadli więc na pomysł, że można skonstruować systemy odpowiedzialne za automatyczne dopinanie drugiej osi w razie potrzeby. Zwykle w takich samochodach napędzana jest oś tylna, a przednia jest dołączana. Zadanie to realizowane jest na kilka sposobów:

a) sprzęgło wiskotyczne- działa dokładnie tak, jak opisano wyżej dla dyferencjału centralnego, z tym tylko, że teraz zamiast mocować obudowę sprzęgła do obudowy dyferencjału, montujemy na niej bezpośrednio łańcuch przenoszący napęd na oś przednią. Gdy tylko tył przyspiesza, zachodzi wspomniane zjawisko zmiany lepkości oleju w sprzęgle, co powoduje, że tylny most próbuje za sobą pociągnąć przedni. Czasem dodatkowo stosuje się przesuwkę, mogącą zablokować obudowę sprzęgła z wałkiem napędowym, dzięki czemu uzyskujemy system działający identycznie jak part-time 4x4



On-demand 4x4 z blokadą wiskotyczną

zalety:

- prostota działania
- tania produkcja
- całkowity automatyzm działania
- stała gotowość do transferu mocy
- niezależność działania od pozostałych systemów pojazdu

wady:

- długi czas reakcji
- zużycie sprzęgła
- niemożność przeniesienia 100% mocy

Przykładowe zastosowania:

- Jeep (Grand Cherokee ZJ)
- Fiat (Panda II gen)



- Suzuki (Ignis 4x4)

b) Sprzęgło płytkowe olejowe- działanie tych systemów polega na tym, żeby jedna z osi była napędzana tylko w momencie ściśnięcia sprzęgieł. Najbardziej znane systemy tego typu to Haldex i Gerodisc. Prześledźmy więc działanie najprostszego wariantu, na przykładzie skrzyni rozdzielczej NV247 z Jeepa Grand Cherokee.

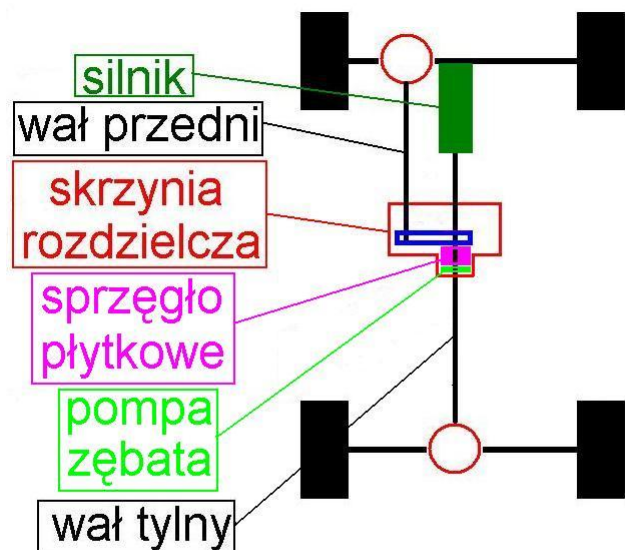
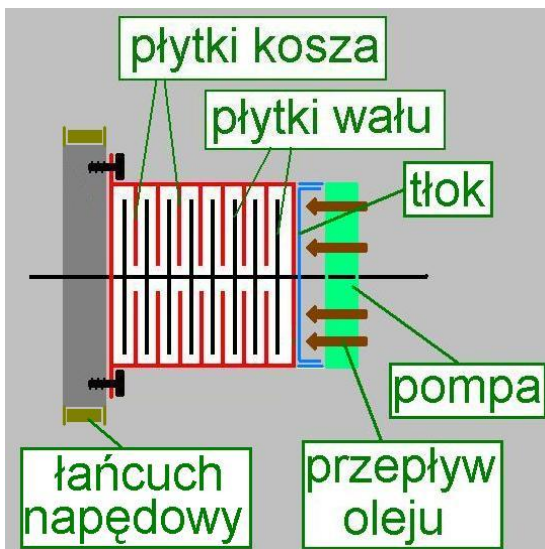
Aby zacząć opis pracy sprzęgła gerodisc musimy wyjaśnić sobie działanie olejowej pompy zębatej (z ang. gerotor). Takie pompy stosowane są od dawna jako pompy oleju w silnikach oraz skrzyniach biegów. Pompa taka składa się z obudowy oraz dwóch rotorów (jeden kręci się wewnątrz drugiego) o przesuniętej względem siebie osi obrotu. Każdy z rotorów jest po prostu zębatką- wewnętrzny ma mniej ząbków ułożonych na zewnątrz, zewnętrzny- więcej, ułożonych wewnątrz. Rotory zazębiają się. Kręcąc rotorem wewnętrznym powodujemy zazębianie się rotorów, a tym samym wypychanie oleju (ząbek wsuwający się pomiędzy dwa inne zajmuje miejsce oleju- olej zostaje wyciśnięty).

Ktoś w pewnym momencie wpadł na pomysł, że taką pompę możemy wykorzystać do wytwarzania ciśnienia, za pomocą którego możemy operować sprzęgłem. Obudowa gerodisku jest połączona z kołem zębatym, które przenosi łańcuchem napęd na oś przednią. Rotor z kolei osadzony jest na wałku wyprowadzającym moc na oś tylną. Dopóki oba wały kręcą się z tą samą prędkością, obudowa porusza się tak samo, jak rotor, zatem z punktu widzenia pompy, nic się nie kręci, więc ciśnienie nie jest wytwarzane w ogóle.

W momencie gdy tylna oś zaczyna kręcić się szybciej od przedniej, rotor zaczyna poruszać się względem obudowy i pompować olej. Olej ucieka przez otworek upustowy. Przy niewielkiej różnicy prędkości kątowych wałów (np. jazda po łuku) pompowane jest mało oleju, zatem cały ucieka przez otwór upustowy. Gdy jednak jedna oś przyspieszy znacznie, wówczas olej nie nadąży uciekać i zaczyna się wytwarzać ciśnienie. Ciśnienie to zaczyna naciskać na „paczkę” sprzęgieł, powodując ich ściśnięcie i połączenie wałów ze sobą, zachowując się na chwilę jak part-time 4x4.

Obecnie wersją rozwojową tego systemu jest E-Gerodisc, czyli gerodisc z zaworem upustowym regulowanym elektronicznie (spotkać się z nim możemy w postaci układu full-time w systemach Quadra-trac II i Quadra-Drive II w Jeepie Grand Cherokee WK). Idea działania pozostaje niezmienna, jedyna różnica polega na ingerencji elektroniki w upuszczanie z układu ciśnienia (prosty otworek zastąpiono zaworem). Pozwala to zmieniać czułość systemu zależnie od potrzeb, skrócić czas reakcji, oraz utrzymywać pełny sprzęg blokady przez dłuższy czas.

Zalety:



On-demand 4x4
z blokadą gerodisc



- www.jeepnici.pl SQUAD -

- krótki czas reakcji
- stała gotowość do transferu mocy
- prostota konstrukcji
- możliwość transmitowania dużych momentów obrotowych
- działanie w pełni automatyczne
- niezależność działania od pozostałych systemów pojazdu

Wady:

- Sprzęgło ulega zużyciu
- Wysoka wrażliwość na jakość oleju

Przykładowe zastosowania:

- Jeep (Grand Cherokee WJ)

Ok, mamy moc na obu osiach, a może by na każdym kole osobno? All wheel drive.

Kolejnym problemem, przed jakim stajemy, szukając idealnego napędu 4x4 jest zapewnienie stałej dostawy momentu obrotowego dla każdego koła, czyli mówiąc wprost, omińcie „ucieczki momentu” zachodzącej w dyferencjale konkretnej osi. Zastosowane rozwiązania są zbliżone do tych z dyferencjałów centralnych (zasada działania wszak ta sama), więc nad większością nie będziemy się specjalnie rozwodzić. Spróbujmy więc to sobie usystematyzować:

a) Transfer momentu za pomocą układu hamulcowego (BTCS- Brake Traction Control System) to najczęściej stosowane obecnie rozwiązanie. Niestety, jest ono stosowane nie dlatego, że inżynierowie odkryli że jest najlepsze, a jedynie dlatego, że księgowi odkryli, że jest... najtańsze. Jest tak dlatego, gdyż praktycznie każdy produkowany obecnie samochód posiada układ ABS, który sam w sobie jest w stanie operować niezależnie hamulcami poszczególnych kół. Wystarczy tylko napisać odpowiedni program, który w razie buksowania któregoś z kół przyhamuje je i już „ucieczka momentu” zostanie powstrzymana.

Brzmi idealnie, w czym więc problem?

Otóż problem leży w kilku punktach. Po pierwsze - jak już mówiliśmy we wstępie - w klasycznym mechanizmie różnicowym pojedyncze koło może przenieść **MAKSYMALNIE 50%** dostarczanego do dyferencjału momentu obrotowego. Oznacza to, że przyhamowanie jednego koła pożre nam aż połowę dostarczanej przez nas mocy. Innymi słowy, może nam na kole posiadającym dobrą przyczepność po prostu zabraknąć momentu by pojechać dalej.

Drugi problem polega na tym, że hamulce w czasie swej pracy grzeją się i zużywają. Pół biedy jeśli naszą wspaniałą, lśniącą limuzyną przemieszczamy się jedynie po asfalcie. Jeśli jednak pchnęłoby nas do wjazdu w błoto, możemy się bardzo niemilo zdziwić, gdy poczujemy smród spalenizny, a z naszych chromowanych felg wydobywał się będzie dym.

Trzecią kwestią jest to, że elektronika nie potrafi przewidywać pewnych sytuacji. Nie ma tego problemu podczas testów na rolkach, którymi chętniej się producenci, jednak rzeczywistość może pokazać coś zgoła odmiennego. Weźmy na przykład trawiastą górkę. Przyczepność na niej może być bardzo, bardzo zmienna. Koła mogą na przemian tracić i odzyskiwać trakcję. Jeśli nasze hamulce będą się wtrącać, może okazać się (i często tak właśnie jest), że gdy już zaczynają się one zaciskać, koło odzyskuje przyczepność i tym samym, nasze hamulce zamiast pomóc nam przekazać moment na drugie koło, zaczynają nas spowalniać. Mało tego, skokowy transfer momentu do koła o dobrej przyczepności może tę przyczepność zerwać. Wówczas hamulce nieporadnie naprzemiennie blokują to jedno, to drugie koło, powodując ruch jedynie w głąb ziemi. Kiepska sprawa, gdy siedzimy w swoim pięknym Mitsubishi L200 zakopani w błocie, czekając na traktor, a obok nas przejeżdża sobie spokojnie Panda 4x4...



- www.jeepnici.pl SQUAD -

Zalety:

- niski koszt
- działanie niezależne od kierowcy
- stała gotowość do działania

Wady:

- utrata momentu obrotowego
- szybkie zużycie hamulców
- niska skuteczność przy bardzo zmiennej nawierzchni
- zależność od elektroniki pojazdu

Przykładowe zastosowania:

- Jeep (Liberty KJ, KK, Grand Cherokee WK, Wrangler JK)
- Land Rover (Discovery, Range Rover)
- BMW (X3, X5, X6)
- Mercedes (ML)

b) Mechaniczna manualna blokada dyferencjału- jest to rozwiązanie typowo terenowe. Blokada taka zachowuje się jak zwykły dyferencjał do czasu, gdy nie aktywujemy jej. Co się stanie wówczas zależy od projektu, zwykle jednak po prostu w jedno z kół koronowych wsuwają się bolce, łączące je trwale z koszem. Tą metodą, koła koronowe nie mogą się obracać, więc oba koła, niezależnie od sytuacji, muszą się obracać z tą samą prędkością. Każde koło może otrzymać 100% dostarczanego momentu obrotowego. Niestety, produkcja jest dość kosztowna, użycie wymaga na ogół zatrzymania się, nie ma możliwości różnicowania prędkości kół, zatem jazda po nawierzchniach przyczepnych odpada.

Zalety:

- 100% momentu może trafić do każdego z kół
- kierowca ma pełną kontrolę nad pracą systemu
- praktycznie zerowe zużycie
- niezależność od układów elektronicznych

Wady:

- wysoki koszt
- konieczność przeszkolenia kierowcy
- konieczność zatrzymania do aktywacji

Przykładowe zastosowania:

- Jeep (Wrangler Rubicon)
- Mercedes (G, ML)
- Nissan (Patrol)
- Hummer (H2)

c) Układy sprzęgieł wielopłytkowych/ wiskotycznych- działają dokładnie tak, jak ich odpowiedniki w dyferencjałach centralnych. Obecnie bardzo rzadko stosowane w dyferencjałach osi. Warty wspomnienia jest unikalny pod tym względem jeepowski układ Quadra-Drive II, wyposażony w E-gerodisk na obu osiach.

Zalety:

- w pełni automatyczne działanie
- stała gotowość do działania

Wady:

- wysoki koszt wytworzenia
- na ogół brak możliwości transmitowania 100% momentu.

Przykładowe zastosowania:

- Jeep- quadra-drive, quadra-drive II (Grand Cherokee WJ, WK)
- Subaru (Forester)



- www.jeepnieci.pl SQUAD -

d) Klasyczne LSD wielopłytkowe- jest to układ obecnie wychodzący z użycia, jednak spotykany bardzo często w przeszłości. Jego idea działania opiera się na fakcie, że zęby kół koronowych i satelit mają powierzchnie pochyłe. Tym samym, w miarę transmitowania momentu, koła koronowe mają naturalną skłonność do rozpychania się na boki. Jeśli między koło koronowe a kosz dyferencjału wstawimy w tym momencie sprzęgła, będą one próbowały powstrzymać koła koronowe od kręcenia się. Ich działanie będzie tym silniejsze, im więcej momentu będzie przez koła koronowe przechodzić. Ma to tę zaletę, że gdy wciskamy gaz, otrzymujemy maksymalną trąkcję, a gdy przechodzimy zakręt bez dodawania gazu, sprzęgła działają z minimalną siłą i koła mogą swobodnie różnicować swe prędkości. Problemem jest jednak fakt, gdy jedno koło ma skrajnie niską przyczepność- wówczas transmitowany moment spada, a co za tym idzie, siła sprzęgająca również maleje. Producenci próbowali poradzić sobie z tym problemem, montując pomiędzy oba koła koronowe sprężyny, które rozpychały je cały czas. Oczywistą wadą tego rozwiązania jest pogorszenie różnicowania prędkości kół w zakrętach i przyspieszone zużycie sprzęgieł.

LSD w tej formie nie występuje nigdy w przedniej osi z racji na możliwą podsterowność.

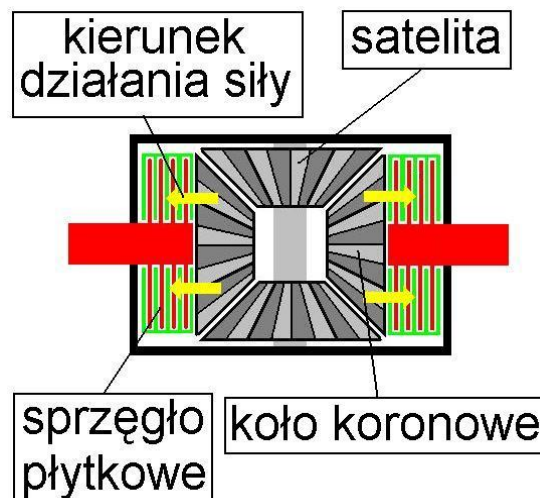
Zalety:

- prostota konstrukcji
- niskie koszty wytworzenia
- stała gotowość do transmitowania momentu

Wady:

- szybkie zużycie sprzęgieł
- niewielka sprawność przenoszenia momentu
- tendencje do wpadania osi w poślizg

Przykładowe zastosowania



- Jeep (Cherokee, Grand Cherokee ZJ i WJ, Wrangler YJ i TJ)

e) Mechanizm Torsena- obecnie, dzięki Panom z kalkulatorami w rękach, stosowany jest bardzo rzadko, działa dokładnie tak, jak jego odpowiednik w skrzyni rozdzielczej. Właściwości torsena pozwalają jednak na znacznie efektywniejsze wykorzystanie układu BCTS (hamulec nie musi działać dużą siłą, wystarczy dać lekki opór), czy nawet samodzielną operację pedałem hamulca- delikatne wciśnięcie hamulca wytwarza opór pozwalający na wytworzenie się sił rozpychających w dyferencjale. Dość dziwne uczucie, gdy naciskając gaz stoisz zakopany w błocie, a wtedy delikatnie wciskasz hamulec i auto rusza do przodu...



- www.jeepnici.pl SQUAD -

Zalety:

- nieustanne działanie ZANIM nastąpi poślizg koła
- niewielka ilość elementów ruchomych- wysoka niezawodność
- niewielka masa
- brak zaangażowania kierowcy w proces przenoszenia mocy
- trwałość (brak typowych elementów ciernych)

Wady:

- niemożność przeniesienia 100% mocy na jedno koło
- wysoki koszt produkcji przekładni ślimakowej

Przykładowe zastosowania:

- Alfa Romeo Q2
- Hummer H1

f) Blokady automatyczne oparte o sprzęgła kłowe- uznałem, że temat ten warto poruszyć, mimo że nie jest mi znany żaden samochód fabryczny wyposażony w takie rozwiązanie. Jest to jednak częsta modyfikacja, z którą wielu z nas zetknęło się już pod postacią blokad takich jak aussie locker, lock-right, detroit locker, EZ-locker, No-Spin itd.

Blokada taka działa dość prosto, polega to na tym, że każde z kół koronowych jest zastąpione sprzęgłem kłowym. W momencie gdy przez kosz transmitowany jest moment, sprzęgła rozpychają się i zazębiają, powodując sztywne połączenie obu półosi. Gdy pokonujemy zakręt, koło które chce poruszać się szybciej (zewnątrzne) może to zrobić, co objawia się klikaniem (zęby sprzęgła kłowego przeskakują po sobie), natomiast to wolniejsze wciąż porusza się z prędkością kosza. Oznacza to dla nas, że cały moment obrotowy idzie na jedno koło, co gorsza- wewnętrzne do zakrętu, czyli w danym momencie odciążone. To drastycznie zwiększa szansę zerwania tym kołem przyczepności, a wówczas z kolei może ono z łatwością wyprzedzić koło zewnętrzne, które w tym momencie staje się kołem wolniejszym i co za tym idzie- również się blokuje.

Z tego też powodu blokad tych nie można używać w osiach przednich przy napędach typu full-time i on-demand.

Musimy też pamiętać, że taka blokada działa skokowo (albo przekazuje cały moment albo nie), co z kolei stanowi spore obciążenie dla półosi i reszty układu napędowego.

Zalety:

- prostota konstrukcji
- niska cena
- bezawaryjność

Wady:

- emisja klikających dźwięków
- znaczne zwiększenie szansy poślizgu
- znaczne zwiększenie obciążeń w układzie napędowym

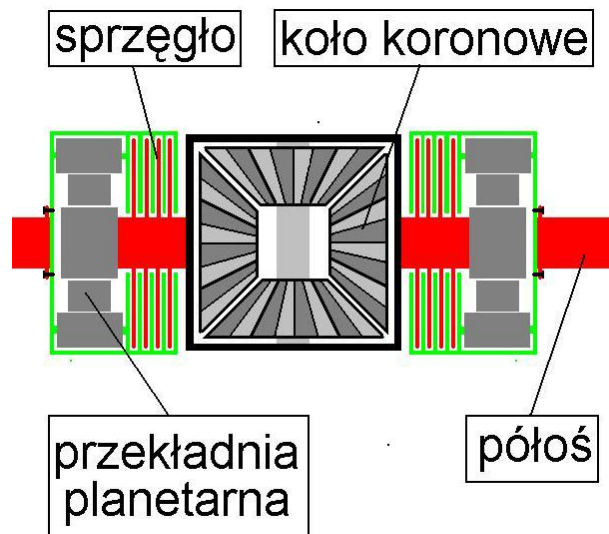
g) DPC (Dynamic Performance Control) - aktywny dyferencjał BMW.

Nasi Bawarscy koledzy wymyślili coś, za co należy im się pochwała. Któryś z nich zauważył, że w zakręcie jedno koło zostaje dzięki sile odśrodkowej dociążone, a drugie odciążone. Ponieważ przyczepność koła zależy między innymi od siły jego nacisku na podłoże, jest dość oczywiste, że jedno może wtedy napędzać mocniej niż drugie. Trzeba więc zrobić tak, żeby jedno dostawało więcej siły napędowej od drugiego. Tylko jak, skoro raz skręcamy w prawo, raz w lewo?

Rozwiązanie okazało się całkiem proste- dodanie między kołem koronowym a półosią przekładni planetarnej, którą przy pomocy sprzęgła możemy w dowolnej chwili aktywować lub dezaktywować. Cały „wic” polega na tym, że klasyczny dyferencjał zawsze podzieli moment w proporcji 50/50, niezależnie od prędkości obrotowych kół. Jeśli więc na jednym kole mamy przełożenie redukcyjne, to otrzymamy dodatkowy moment na jedno z kół.



Policzmy to sobie na prostym przykładzie- do dyferencjału wpada 100Nm momentu. Dyfer dzieli to na dwa- jedno koło koronowe dostaje 50Nm i tyle wysyła na koło będące po wewnętrznej stronie zakrętu. Drugie z kolei dostaje 50Nm, które wrzuca do przekładni o przełożeniu powiedzmy 2:1, więc na koło zewnętrzne idzie już 100Nm. Ponieważ mamy taką dodatkową siłę, to nie tylko koło wewnętrzne nie traci przyczepności, ale też całe auto może zakręcać ciaśniej, bo z jednego боку jest pchane mocniej niż z drugiego. Tą samą metodą możemy wykorzystać przy kiepskiej przyczepności- koło się ślizga? To dajmy więcej momentu na drugie. Otrzymujemy wtedy coś co zachowuje się niemal jak torsen. Proste i skuteczne.



Podsumowanie, czyli „coś ty chłopie chciał przekazać?”

Zdaję sobie sprawę, że zapewne większość z was zasnęła przy czytaniu tego więcej razy, niż ja przy pisaniu. Mam jednak nadzieję, że pewne podstawy zostały wyjaśnione i niektóre rzeczy się wszystkim wyklarowały. Największym problemem jest oczywiście to, że niektóre systemy są bardzo podobne i korzystają z podobnych rozwiązań. Trudno o tym nie napomknąć, a jednocześnie głupio się w kółko powtarzać.

Mam nadzieję, że z opracowania tego wynika jasno, że wszystkie rozwiązania mają wady i zalety. Nie ma czegoś takiego jak najlepszy układ napędowy i nigdy nie będzie, bo każde zastosowanie wymaga konkretnych rozwiązań.

Jaka natomiast jest przyszłość układów napędowych 4x4? Obawiam się, że sprawa nie przedstawia się zbyt różowo. Rozwiązania elektroniczne (BCTS) są na tyle tanie, a jednocześnie satysfakcjonujące dla szerokiej klienteli, że wypierają powoli nawet najdoskonalsze systemy. Przykładem jest Quadra-Drive II, które (czy nam się to podoba czy nie, bo ja np. osobiście wolę prostsze rozwiązania) jest prawdopodobnie szczytem rozwoju układów 4x4 w formie jaką znamy obecnie. Niestety, kolejna generacja Grand Cherokee zostanie pozbawiona E-gerodisc'u z przedniej osi, ze względów ekonomicznych. Pozostanie jedynie jako opcja dla tylnej osi.

Ciągłe protesty ekologów i rosnące ceny paliw sprawiają, że pojazdy terenowe są w odwrocie, co raczej już się nie zmieni. Także cieszymy się tym co już mamy i trzymajmy kciuki za powstanie czegoś nowego.