فصل ۲

جعبه دنده‌های مکانیکی

هدف‌های رفتاری: هنرجو پس از فراگیری این فصل می‌تواند:

- **کار اصلی دستگاه انتقال قدرت در خودرو را توضیح دهد.**
- **کار دستگاه جعبه دنده را توضیح دهد.**
- **انواع جعبه دنده‌ها را بیان کند.**
- **تکنولوژی تکامل جعبه دنده‌ها را توضیح دهد.**
- **نسبت تبدیل در جعبه دنده‌ها را بیان کند.**
- **ساختمان و طرز کار جعبه دنده‌های نوع دنده مورّب را توضیح دهد.**
- **انواع جعبه دنده‌های نوع مورّب را بشناسد.**
- **انواع سیستم‌های کشویی و نحوهٔ درگیری دنده‌ها را تشریح کند.**
- **جعبه دنده‌های با سیستم درگیر شوندهٔ سنگرونیزه را توضیح دهد.**
- **سیستم کار انواع اهرم‌های تعویض دنده را تشریح نماید.**
- **تعویض دنده به روش دستی را شرح دهد.**
- **میل ماهک و متعلقات آن را معرفی کند.**
- **مکانیزم تعویض دنده به روش هیدرولیکی مکانیکی را توضیح دهد.**
- **سیستم کار جعبه دنده‌های واریوماتیک را شرح دهد.**

۲ـ جعبه دنده‌های مکانیکی

۱ـ۲ـ کار دستگاه انتقال قدرت

کار دستگاه انتقال قدرت عبارت است از : انتقال دادن قدرت ثابت موتور (Pe) به صورت سرعت

کم (v) و نیروی زیاد F (در شروع حرکت یا بار زیاد) یا به‌صورت سرعت زیاد (V) و نیروی کم F (در حرکت سریع).

این وظیفهٔ مهم به عهدهٔ جعبه دنده است؛ بنابراین می‌توان جعبه دنده را یک مبدّل گشتاور دانست؛ یعنی، با ثابت نگه‌داشتن توان مفید موتور (Pe)، مقدار نیروی محرکه یا گشتاور خارج شده از فلایویل را (F یا M) در شروع حرکت، زیاد می‌کند و سرعت خطی V یا دور آن را می‌کاهد یا عمل عکس در حرکت سریع خودرو انجام می‌دهد.

۲ـ۲ـ کار جعبه دنده

۱ــ تبدیل گشتاور برای حالت‌های مختلف حرکت : ایجاد گشتاور زیاد در چرخ‌ها در آغاز حرکت و هنگام اعمال بار زیاد بر چرخ‌ها و گشتاور کم در حالت حرکت سریع.

۲ــ امکان حرکت معکوس برای خودرو : موتورهای احتراقی فقط در یک جهت گردش می‌کنند؛ از این‌رو، بدون واسطه نمی‌توان دور موتور را برای حرکت معکوس به چرخ‌ها انتقال داد. جعبه دنده حرکت معکوس را برای چرخ‌ها فراهم می‌آورد.

۳ــ امکان درجا کار کردن موتور : در مواقعی که خودرو بی‌حرکت است، برای روشن نگه‌داشتن موتور، جعبه دنده، مدار قدرت را از خط انتقال قدرت قطع می‌کند.

۳ـ۲ـ انواع جعبه دنده

جعبه دنده‌ها به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند :

ــ جعبه دنده‌های مرحله‌ای؛ این نوع جعبه دنده‌ها معمولاً مکانیکی عمل می‌کنند.

ــ جعبه دنده‌های بدون مرحله؛ این نوع جعبه دنده‌ها معمولاً هیدرولیکی هستند.

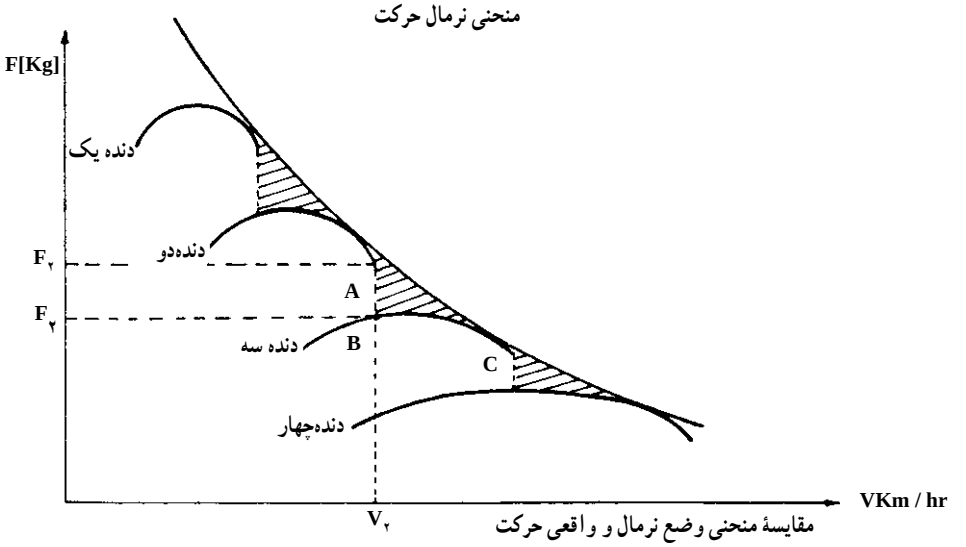
جعبه دنده‌های مرحله‌ای : جعبه دنده‌های مرحله‌ای به علت راندمان خوب، دوام زیاد، سادگی ساختمان و تعمیرات و ارزانی قیمت، با وجود آن که جعبه دنده‌های هیدرولیکی پیشرفت زیادی نموده‌اند سازندگان خودرو و خریداران از آن استقبال زیادی می‌نمایند.

راندمان جعبه دنده‌های مرحله‌ای در حدود ۹۸٪ بوده، تنها عیبشان داشتن محدودیت تبدیل دوراست.

در شکل ۱ــ۲ مربوط به دیاگرام، مواضع هاشور خورده، معایب جعبه دندهٔ مرحله‌ای را نسبت به وضعیت مطلوب حرکت نشان می‌دهد.

بین نیروی کششی و سرعت خودرو، منحنی نرمال حرکت، تناسب مطلوب نشان می‌دهد.

مثال : در دندهٔ دو حداکثر سرعت V_2 بوده، نیروی کششی F_2 است. اگر سیستم جعبه دنده به‌طور مطلوب عمل کند باید افزایش سرعت طبق منحنی AC صورت گیرد، اما در جعبه دندهٔ مرحله‌ای، به‌علت مکث دستگاه انتقال قدرت، مسیر ABC طی می‌شود. در این مسیر نیروی کششی به F_2 رسیده، مسیر BC طی می‌شود. بدیهی است مسیر منحنی AC که در جعبه دنده‌های هیدرولیک طی می‌شود دارای راندمان بیشتری است.

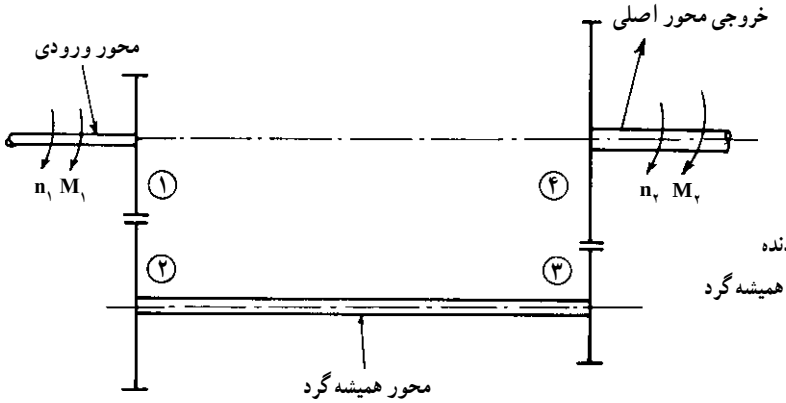


شکل ۱ــ۲ــ دیاگرام نیروی کششی و سرعت

جعبه دنده‌های مرحله‌ای دارای ۳ تا ۱۲ مرحله هستند که در سواری‌های پرقدرت نوع سه دندهٔ مستقیم و یک دنده معکوس و در انواع کم‌قدرت جعبه دنده چهار یا پنج دنده مستقیم و یک دندهٔ معکوس وجود دارد. در خودروهای سنگین جعبه دنده‌ها تا ۱۲ مرحله ساخته می‌شوند.

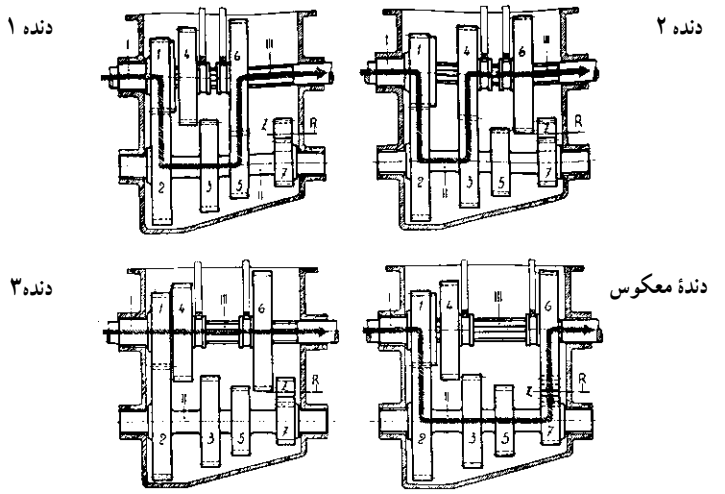
انواع جعبه دنده‌های مرحله‌ای عبارت‌اند از : ۱) جعبه دندهٔ کشویی، ۲) جعبه دنده مورّب.

۱ــ جعبه دندهٔ کشویی : این نوع جعبه دنده در ماشین‌های صنعتی مصرف داشته، در خودروهای جدید، کاربرد ندارد. در جعبه دندهٔ کشویی همهٔ چرخ دنده‌ها از نوع مستقیم بوده، به‌طور لغزشی با یکدیگر درگیر می‌شوند (شکل ۲ــ۲). این جعبه دنده دارای چهار محور است که عبارت‌اند از : محور ورودی، محور همیشه گرد، محور اصلی و محور دنده عقب.



شکل ۲ــ۲ــ حالت دنده یک

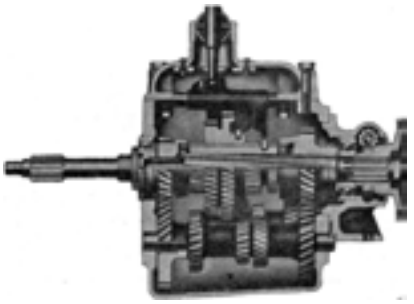
دور موتور از محور ورودی وارد جعبه دنده می‌شود (n_1) و چرخ دندهٔ ① را به حرکت درمی‌آورد. چرخ دندهٔ ② با چرخ دندهٔ ① درگیر بوده، محور همیشه گرد و چرخ‌دندهٔ ③ را به حرکت در می‌آورد. در دندهٔ یک چرخ دندهٔ بزرگ‌تری که روی محور اصلی قرار دارد، چرخ‌دندهٔ ④ با کوچک‌ترین دندهٔ همیشه گرد چرخ دندهٔ ③ درگیر شده نیرو با دور کم n_2 و گشتاور زیاد M_2 از جعبه دنده خارج می‌شود.



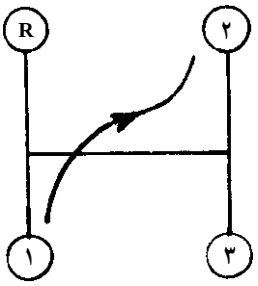
شکل ۳ــ۲ــ حالت‌های مختلف در جعبه دندهٔ کشویی

الف) حالت دندهٔ دو : در دندهٔ دو دسته دنده حرکتی مانند شکل ۵ــ۲ نموده ماهک دیگری را که به دندهٔ دوم متصل است حرکت داده در نتیجه آن را با چرخ دندهٔ دیگری که در روی محور همیشه گرد قرار دارد درگیر می‌کند. دندهٔ دو کوچک‌تر از دنده یک و دندهٔ دو زیر بزرگ‌تر از دندهٔ یک زیر

است؛ بنابراین، دور خروجی محور اصلی زیادتر از حالت دندهٔ یک و گشتاور خروجی کمتر از حالت اوّل است.

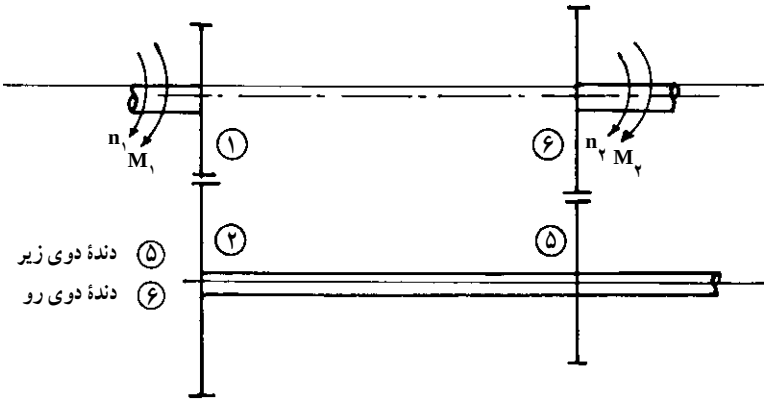


شکل ۴ــ۲ــ جعبه دندهٔ کشویی با حرکت محوری چرخشی

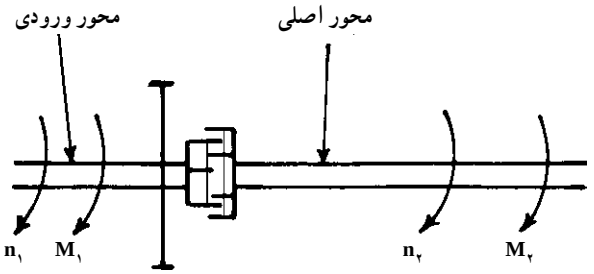


شکل ۵ــ۲ــ فرم حرکت دسته دنده مثال : یک به دو

ب) وضعیت دندهٔ ۳ : در این حالت از دنده عامل انتقال قدرت چرخ‌دنده‌ها نبوده بلکه با حرکت دستهٔ دنده به سمت عقب دو محور ورودی و اصلی یک‌پارچه می‌شوند و قدرت را بدون تغییر دور و گشتاور به محور خروجی منتقل می‌کنند.

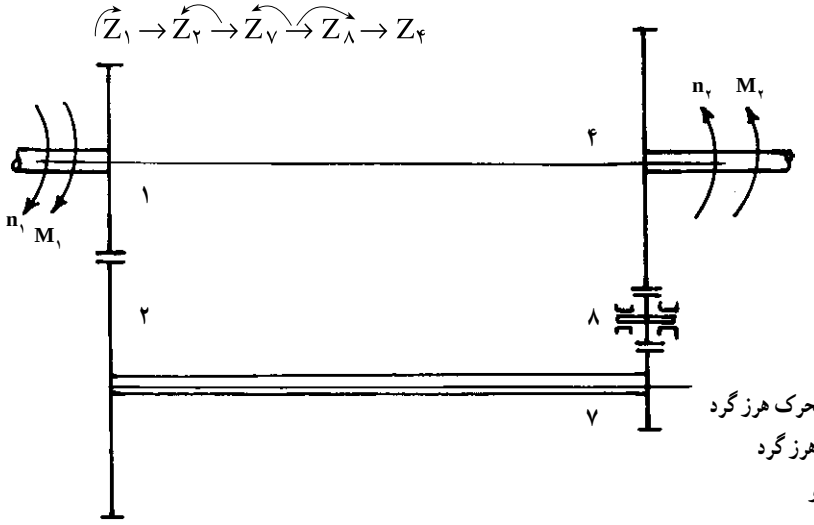


شکل ۶ــ۲ــ حالت دندهٔ دو



شکل ۷ــ۲ــ حالت دندهٔ سه

ج) وضعیت دندهٔ معکوس: در دندهٔ معکوس دستهٔ دنده در جهت عکس حرکت دندهٔ یک حرکت کرده چرخ دندهٔ یک را با چرخ دندهٔ هرزگرد درگیر می‌کند. چرخ دندهٔ هرزگرد ۸ با چرخ‌دندهٔ محرک دندهٔ هرزگرد ۷ درگیر بوده، در جهت عکس آن می‌چرخد. حال، وقتی دنده یک با دندهٔ هرزگرد درگیر شود، در جهت معکوس نسبت به سایر دنده‌ها خواهد چرخید (شکل ۸ــ۲).



شکل ۸ــ۲ــ حالت دندهٔ معکوس

برای هر حالتی از موارد یاد شده لازم است یکی از چرخ دنده‌های روی محور اصلی که نسبت به آن درگیری هزار خاری دارد، حرکت لغزشی نموده، به طرف دندانهٔ مورد نظر که در روی محور همیشه گرد قرار دارد نزدیک شده، با آن درگیر شود، در این‌جا شرط درگیر شدن دو دندانهٔ مستقیم چنین است :

برای درگیری راحتِ دو دندانهٔ در حال حرکت لازم است سرعت خطی دو دندانه یکسان باشد.

برای تغییر دندهٔ سنگین به سبک باید پس از گرفتن کلاچ کمی صبر کنیم سپس دنده را تعویض نماییم یا با دوبار کلاچ گرفتن عمل تعویض دنده را انجام دهیم. با این عمل دور دندهٔ زیر که به وسیلهٔ موتور می‌گردد و زیاد است، گرفته شده با دور دندهٔرو که به وسیلهٔ چرخ‌ها آهسته‌تر می‌گردد، برابر شده

در لحظه‌ای که سرعت خطی دو دنده برابر شدند آنها با هم درگیر می‌شوند.

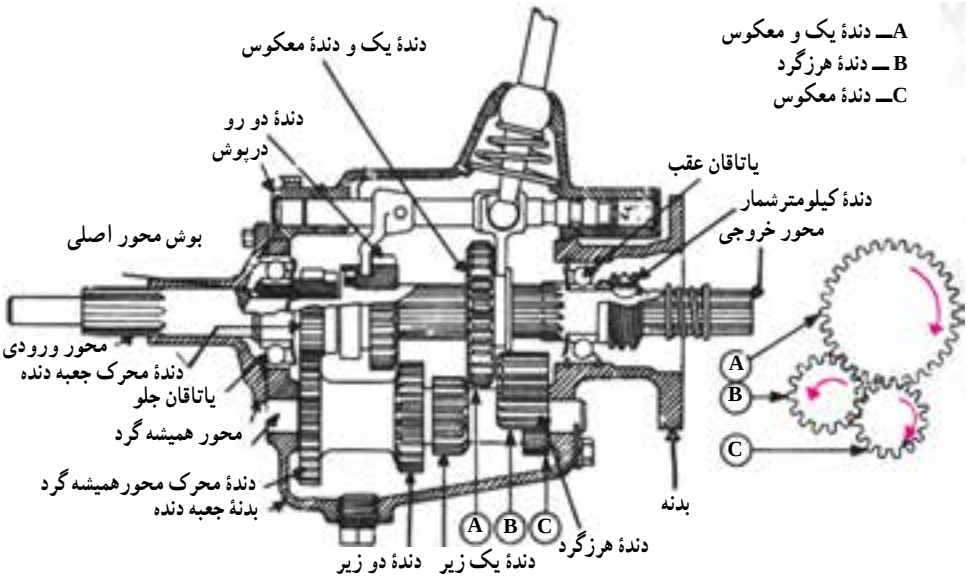
در هنگام تعویض دنده از حالت سبک به سنگین (سه به دو)، دور دنده رو زیادتر است و لازم است در هنگام تعویض دنده پس از گرفتن کلاچ، کمی گاز به موتور داده شود سپس عمل تعویض دنده انجام گیرد. با این عمل دور دنده‌های زیر هم افزایش می‌یابد و هنگامی که سرعت خطی آن دو با هم برابر شود، دنده‌ها به‌راحتی با هم درگیر می‌شوند.

معایب جعبه دنده‌های کشویی : جعبه دنده‌های کشویی به دلیل داشتن معایبی، امروزه در خودروها چندان مورد استفاده نبوده ولی در ماشین‌های صنعتی هنوز هم کاربرد دارد :

۱ــ به علت درگیر و خلاص شدن ناگهانی دندانه‌ها، جعبه دنده با سروصدا کار می‌کند.

۲ــ به علت درگیر بودن یک دنده از هر چرخ‌دنده با یک دنده از چرخ دندهٔ دیگر، ظرفیت انتقالی جعبه دنده مطلوب نیست.

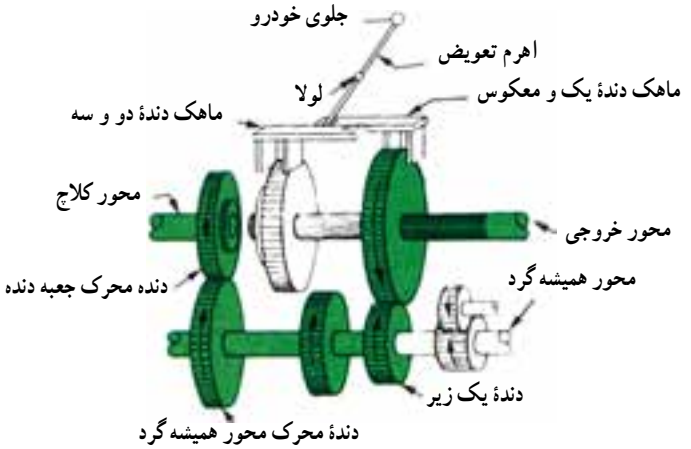
۳ــ به علت مساوی نبودن دور دو دندهٔ درگیر شونده ($n_1 \neq n_2$) و عدم تساوی شعاع‌های متوسط آنها ($R_1 \neq R_2$) سرعت خطی دو دندهٔ درگیر شونده مختلف بوده ($V_1 \neq V_2$) در نتیجه عمل تعویض دنده مشکل است و نیاز به مهارت خاص دارد. در شکل **۹ــ۲** مقطع برش جعبه دندهٔ کشویی سه دنده نشان داده شده است.



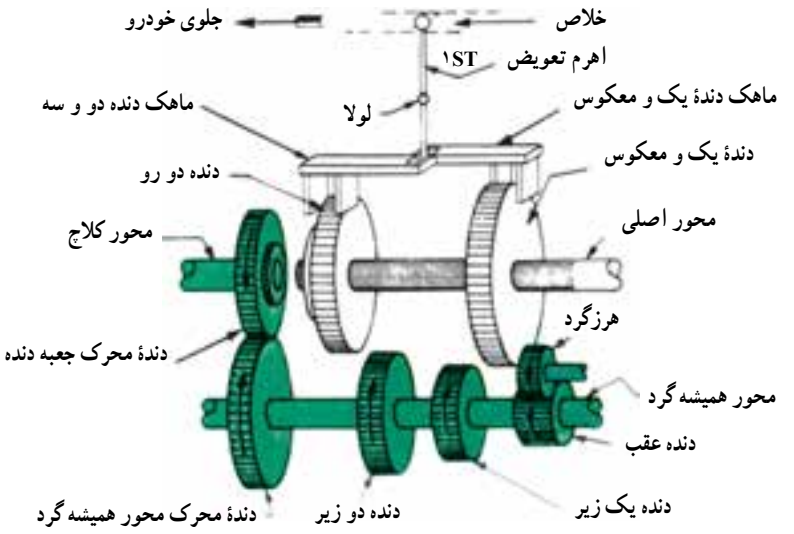
شکل ۹ــ۲ــ جعبه دندهٔ سه دندهٔ کشویی

تکامل جعبه دنده‌ها : «لُواسور» مبتکر فرانسوی اولین جعبهٔ کشویی را اختراع نمود. این جعبه دنده دارای دو محور موازی با هم بود که شامل چندین چرخ دندانهٔ کشویی با اندازه‌های مختلف بود. ابعاد چرخ دندانه‌ها طوری طرح شده بود که تبدیل گشتاور مناسبی را در عمل رانندگی به‌وجود می‌آورد.

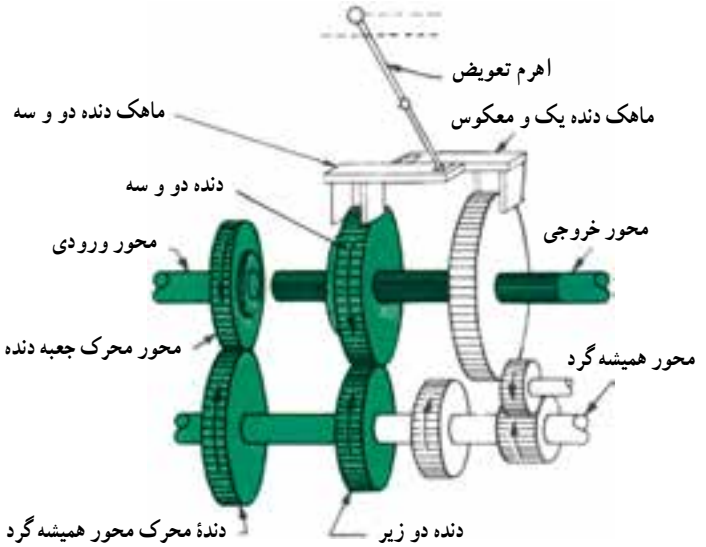
اساس این چرخ دندانهٔ ساده در اشکال زیر مشاهده می‌شود. جعبه دندهٔ سادهٔ لُواسور دارای چهار حالت بود : دور کم، دور متوسط، دور زیاد و دور معکوس. این جعبه دندهٔ ساده طرز کار دشواری داشت، اما از اصولی برخوردار بود که آن اصول امروزه هم در جعبه دنده‌های جدید به‌کار گرفته می‌شود.



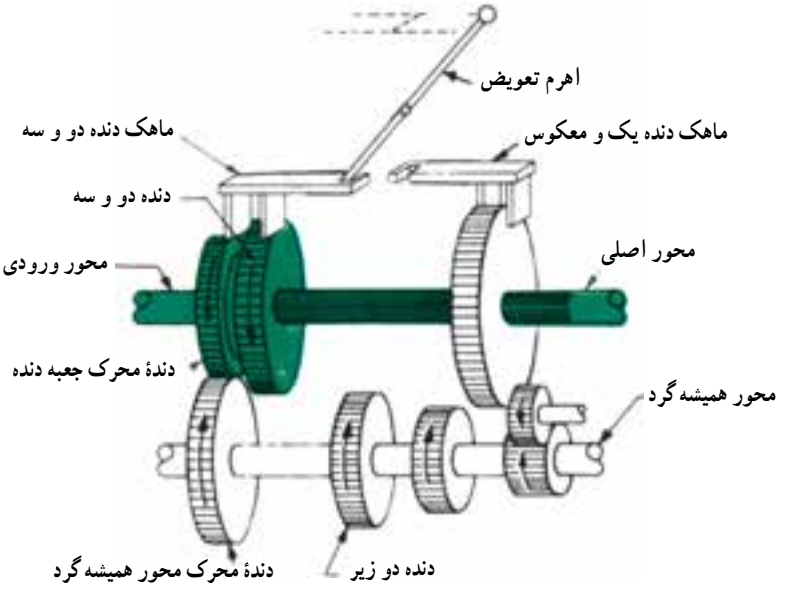
شکل ۱۰ــ۲ــ جعبهٔ دنده در دندهٔ یک



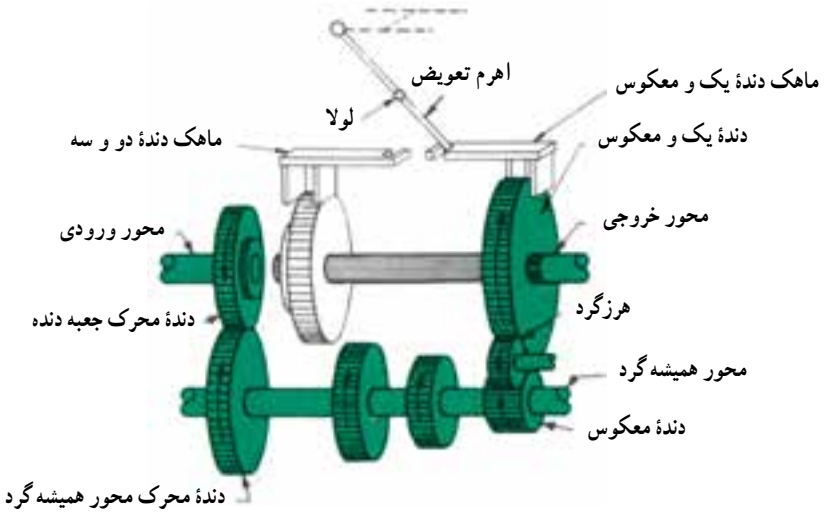
شکل ۱۱ــ۲ــ جعبه دنده در حالت خلاص



شکل ۱۲ــ۲ــ جعبهٔ دنده در دنده دو



شکل ۱۳ــ۲ــ جعبهٔ دنده در دنده سه



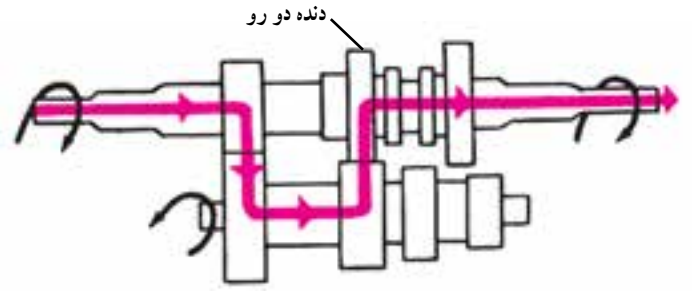
شکل ۱۴ــ۲ــ جعبه دنده در دنده معکوس

۴ـ۲ـ نسبت تبدیل در جعبه دنده‌ها

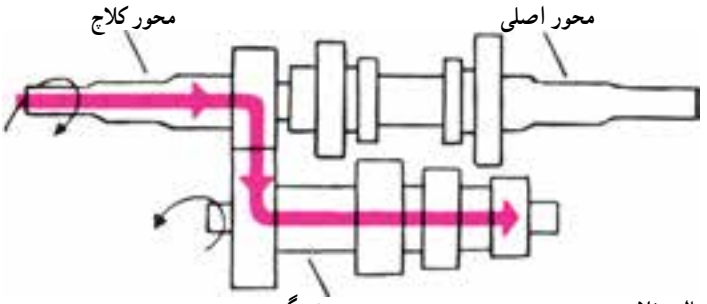
مقدار نسبت تبدیل گشتاور در انواع جعبه دنده‌ها یکسان و استاندارد نیست. طراحان سعی دارند میان گشتاور و دور موتور آن چنان تغییری به‌وجود آورند که با توجه به قدرت موتور، بیشترین بازدهی را از نیروی محرکهٔ خودرو به دست آورند.

معمولاً نسبت تبدیل در جعبه دنده‌های سواری‌ها به این ترتیب است :

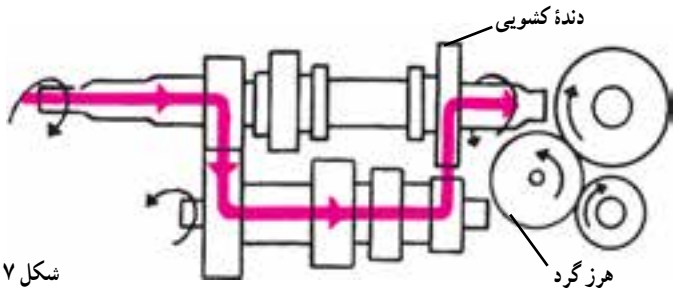
۱ــ دندهٔ معکوس	I_R ۳/۸ : ۱
۲ــ دندهٔ یک	I_{G1} ۲/۸ : ۱
۳ــ دندهٔ دو	I_{G2} ۱/۷ : ۱
۴ــ دندهٔ سه	I_{G3} ۱ : ۱
۵ــ با اوردرایور	I_{G3} ۰/۷ : ۱



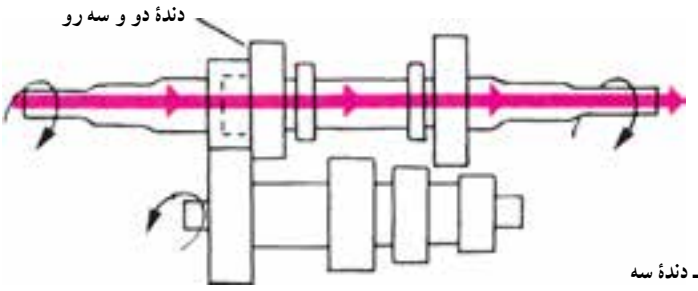
شکل ۱۵ــ۲ــ دندهٔ دو



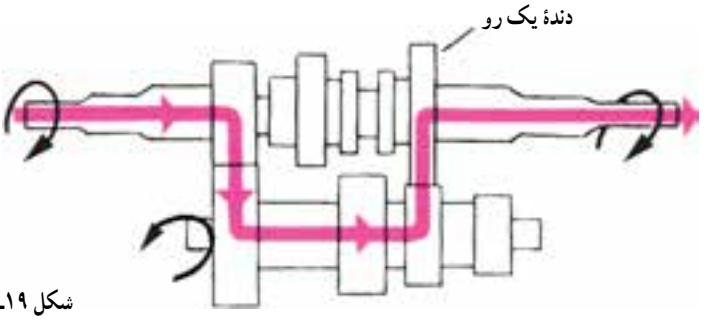
شکل ۱۶ــ۲ــ حالت خلاص



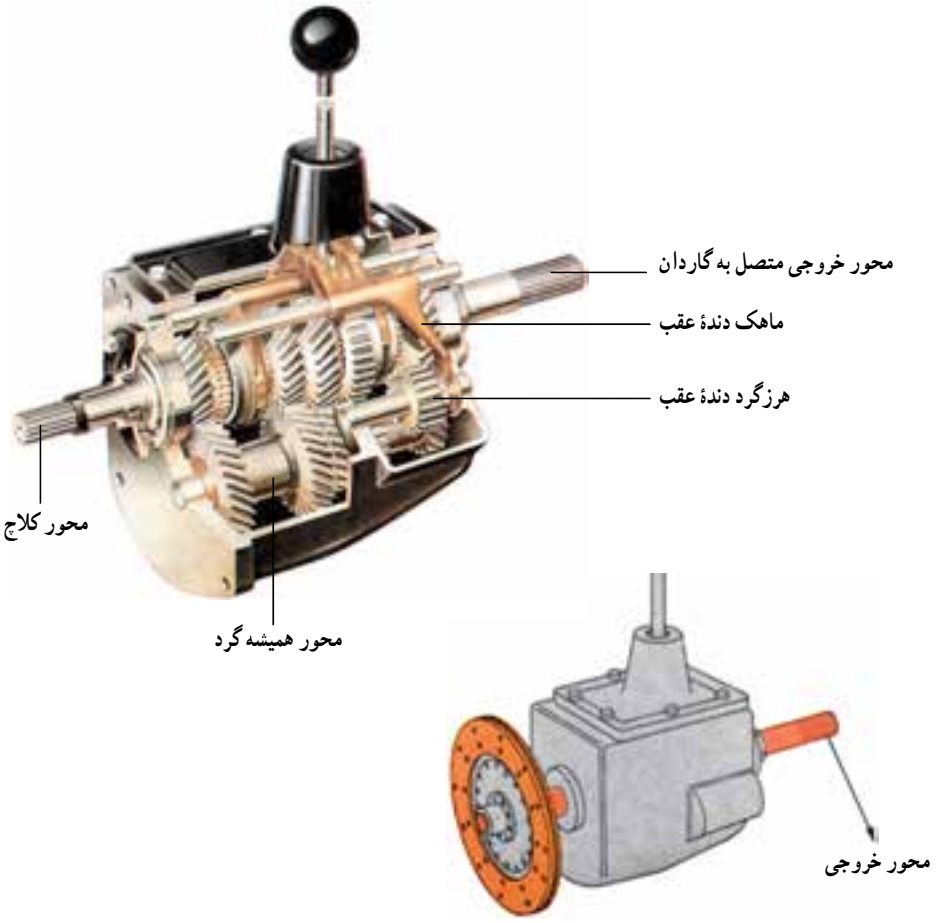
شکل ۱۷ــ۲ــ دندهٔ معکوس



شکل ۱۸ــ۲ ــ دندهٔ سه



شکل ۱۹ــ۲ــ دندهٔ یک



شکل ۲۰ــ۲ــ یک جعبه دنده با دندانه‌های مورّب

۲ــ جعبه دنده‌های نوع دنده مورّب : این نوع جعبه دنده‌ها دارای این خصوصیات هستند :

ــ در یک لحظه بیش از یک دندانه از هر چرخ دنده با چرخ‌دندهٔ دیگر درگیر است. در نتیجه، ظرفیت انتقال گشتاور جعبه دنده زیادتر است.

ــ به علت مورّب بودن دندانه‌ها، عمل درگیری دو دندانه تدریجی و آرام و در نتیجه، کار جعبه دنده بی‌سروصدا بوده عمر جعبه دنده نیز زیادتر است.

ــ چرخ دندهٔ مورّب در روی محور خود حرکت طولی نمی‌کند و چرخ دندانه نسبت به محور هرز است.

دو چرخ دندانهٔ مورّب که روی دو محور زیر و رو قرار دارند با یک‌دیگر درگیری همیشگی داشته

در موقع لزوم یکی از آنها به وسیله کشویی نسبت به محور، یک‌پارچه می‌شود. همین شکل درگیری و نحوهٔ ثابت کردن و هم دور نمودن دندهٔ مورّب، بیانگر نوع جعبه دنده است.

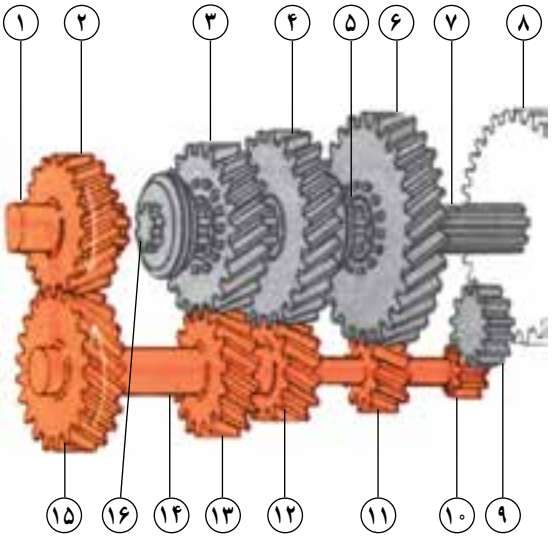
شرح ساختمان جعبه دندهٔ نوع دنده مورّب : در این جعبه دنده نیز چهار محور وجود دارد (شکل ۲۰ــ۲) که عبارت‌اند از :

۱ــ محور ورودی
۲ــ محور همیشه گرد
۳ــ محور اصلی
۴ــ محور دنده هرزگرد

ساختمان یک جعبه دندهٔ نوع دنده مورّب ساده مانند شکل ۲۱ــ۲ بوده از این قطعات تشکیل شده است :

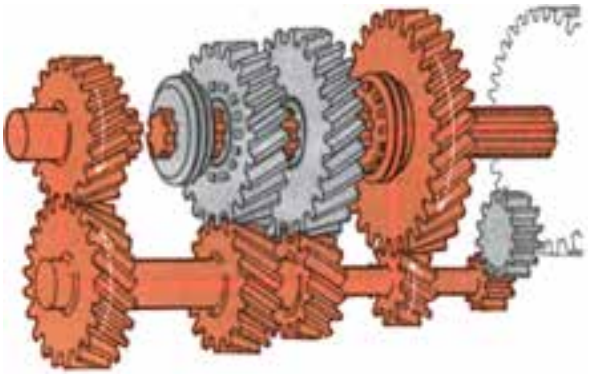
۱ــ محور ورودی	۲ــ دندهٔ محرک محور همیشه گرد	۳ــ دندهٔ سه‌رو
۴ــ دندهٔ دو رو	۵ــ کشویی دندهٔ یک و دو	۶ــ دندهٔ یک رو
۷ــ محور اصلی	۸ــ دندهٔ کشویی عقب	۹ــ دندهٔ هرزگرد دندهٔ عقب
۱۰ــ دندهٔ عقب زیر	۱۱ــ دندهٔ یک زیر	۱۲ــ دنده دو زیر
۱۳ــ دنده‌سه زیر	۱۴ــ محور همیشه گرد	۱۵ــ دنده محرک محورهمیشه‌گرد

۱۶ــ کشویی دندهٔ سه و چهار



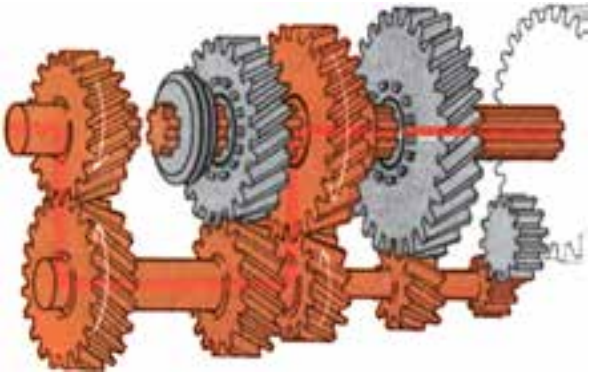
شکل ۲۱ــ۲ ــ حالت خلاص

ـــ ***حالت دندهٔ یک :*** در حالت دندهٔ یک، دسته دنده به سمت جلو حرکت کرده و ماهک بین دندهٔ یک و دو، کشویی را به طرف دندهٔ یک هدایت می‌کند. در اثر این عمل، دنده یک که روی محور اصلی به حالت هرز می‌گردد با محور اصلی یک‌پارچه شده نیروی محور زیر به دنده یک زیر، سپس به دنده یک رو و آن‌گاه به کشویی و محور خروجی منتقل می‌شود (شکل۲۲ـــ۲).



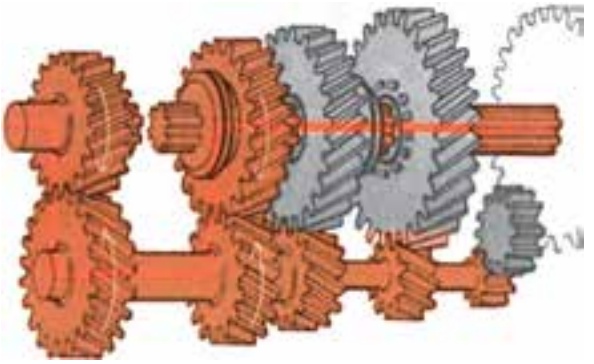
شکل ۲۲ـــ۲ـــ حالت دندهٔ یک

ـــ ***حالت دندهٔ دو :*** در حالت دندهٔ دو دسته تعویض دنده به سمت عقب هدایت شده ماهک بین دندهٔ یک و دو، کشویی را به‌طرف دنده دو می‌فشارد. دندهٔ دو که روی محور اصلی هرز می‌چرخد با کشویی که نسبت به محور اصلی هم دور بوده یک‌پارچه شده نیرو از محور زیر به دندهٔ دو زیر و سپس به دندهٔ دو رو و بالاخره به محور اصلی، از طریق کشویی انتقال می‌یابد.



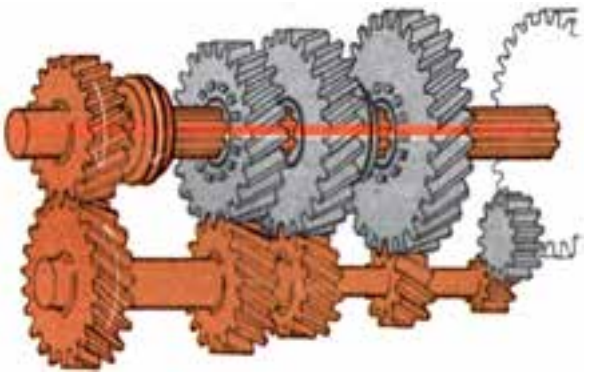
شکل ۲۳ـــ۲ـــ دندهٔ دو

ـــ ***حالت دندهٔ سه :*** در حالت دندهٔ سه دستهٔ تعویض دنده پس از حرکت عرضی کم (نسبت به‌حالت خلاص) به طرف راست، به سمت جلو هدایت می‌شود. با این عمل ماهک بین دنده سه و چهار، کشویی مربوط را به سمت دندهٔ سه حرکت داده دنده سه‌رو را که نسبت به محور اصلی هرز می‌گردد، با آن یک‌پارچه می‌کند. در این موقع نیرو از محور زیر به دندهٔ سهٔ زیر و سپس به دندهٔ سه‌رو و بالاخره از طریق کشویی به محور اصلی انتقال می‌یابد (شکل ۲۴ـ۲).



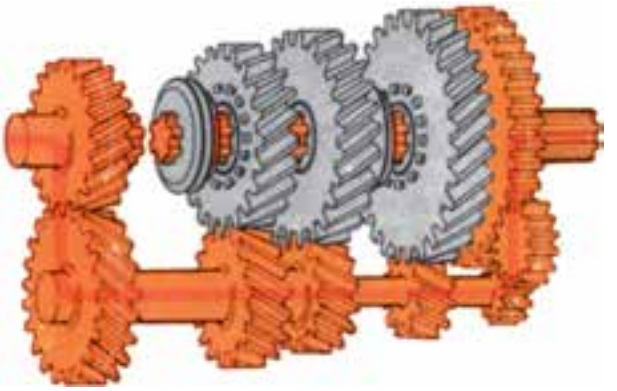
شکل ۲۴ـ۲ـ دندهٔ سه

ـــ ***حالت دندهٔ چهار :*** در حالت دندهٔ چهار، دستهٔ تعویض دنده در همان موقعیت دندهٔ سه، به‌سمت عقب کشیده می‌شود و در نتیجه کشویی بین دندهٔ سه و چهار به سمت محور ورودی هدایت می‌شود. با این عمل دو محور اصلی و ورودی با یک‌دیگر یک‌پارچه شده نیرو به محور اصلی منتقل می‌گردد (شکل ۲۵ـ۲).



شکل ۲۵ـ۲ـ دندهٔ چهار

ــ حالت دندهٔ معکوس (شکل ۲۶ــ۲) : در حالت دندهٔ عقب اهرم تعویض دنده (دسته دنده) نسبت به حالت خلاص یک حرکت عرضی بیشتری انجام داده سپس به عقب کشیده می‌شود. با این عمل دندهٔ هرزگرد دندهٔ عقب (۹) به سمت دنده عقب (۸) حرکت کرده بین دنده عقب‌رو (۸) و دندهٔ عقب زیر (۱۰) قرار می‌گیرد (شکل ۲۶ــ۲).



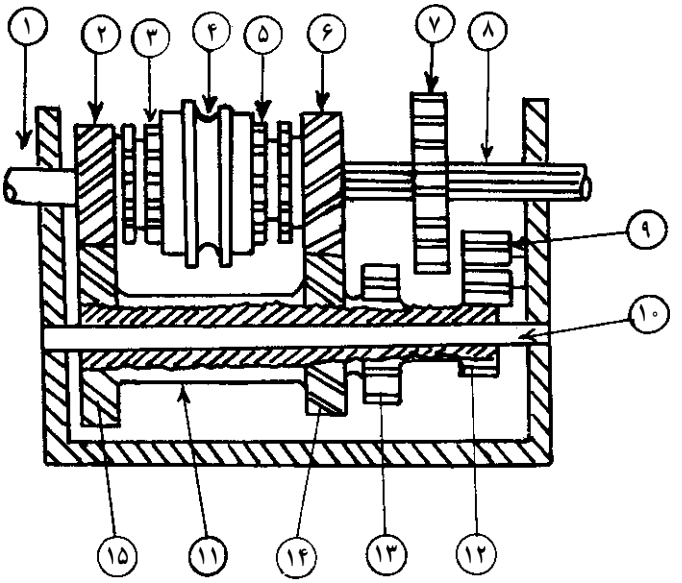
شکل ۲۶ــ۲ــ دندهٔ معکوس

در این موقع دندهٔ عقب زیر با جهت حرکت چپ ↖، هرز گرد را به طرف راست ↗ می‌چرخاند؛ سپس دندهٔ هرزگرد، دندهٔ عقب‌رو را به طرف چپ ↖ و در جهت خلاف دور محور ورودی (موتور) می‌چرخاند. به این ترتیب محور خروجی نیز در جهت معکوس دوران می‌نماید.

انواع جعبه دنده‌های مورّب : جعبه دنده‌های مورّب به دو حالت کلی نیمه سنکرونیزه و تمام سنکرونیزه ساخته می‌شوند. در حال نیمه سنکرونیزه دندهٔ یک و عقب به حالت کشویی یا لغزشی تعویض شده بقیهٔ دنده‌ها به حالت مورّب و سنکرونیزه هستند. در جعبه دندهٔ تمام سنکرونیزه، همه دنده‌های مستقیم سنکرونیزه بوده نوع دندانه‌ها مورّب هستند و فقط دندهٔ عقب از نوع کشویی و لغزشی است. مفهوم «سنکرونیزه» هماهنگ کنندگی بین دندهٔ محرک با دندهٔ متحرک است.

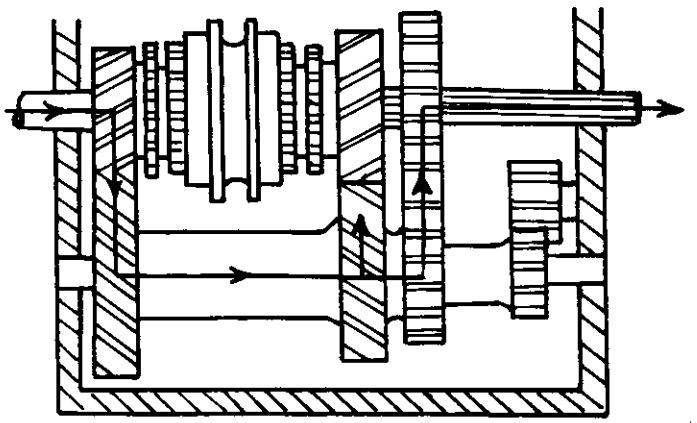
ــ جعبه دندهٔ نیمه سنکرونیزهٔ چهاردنده : این جعبه دنده که دارای چهار محور است اجزای آن عبارت‌اند از :

۱ــ محور ورودی ۲ــ دندهٔ محرک محور ورودی ۳ــ دنده برنجی دنده سه ۴ــ کشویی تعویض دندهٔ دو و سه ۵ــ مجموعه دنده برنجی دنده دو ۶ــ دندهٔ دو رو ۷ــ دندهٔ یک رو و دندهٔ عقب‌رو ۸ــ محور اصلی ۹ــ دندهٔ هرز گرد عقب ۱۰ــ محور همیشه گرد ۱۱ــ محور دنده‌های زیر ۱۲ــ دنده‌عقب زیر ۱۳ــ دنده یک زیر ۱۴ــ دنده دوی زیر ۱۵ــ دنده محرک محور زیر



شکل ۲۷ــ۲ــ حالت خلاص

ــ *حالت دنده یک گیربکس نیمه سنکرونیزه :* در این حالت، دندهٔ یک رو (۷) به طرف چپ حرکت نموده با دندهٔ یک زیر (۱۳) به‌طور کشویی درگیر می‌شود. دندانهٔ چرخ‌دنده‌های یک‌رو و یک زیر از نوع مستقیم بوده خصوصیات دندهٔ کشویی را دارند. در این حالت مسیر حرکت نیرو مانند شکل ۲۸ــ۲ است. مسیر قدرت عبارت است از : محور ورودی ← دنده محرک محور ورودی ← دنده متحرک محور زیر ← محور همیشه گرد ← دنده یک زیر ← دنده یک رو و محور اصلی



شکل ۲۸ــ۲ــ دندهٔ یک

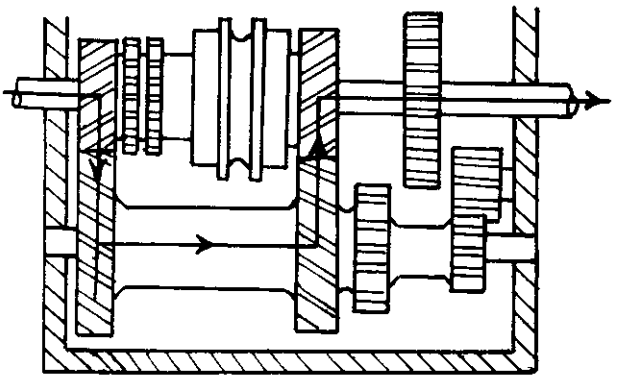
ـ **حالت دنده دو در جعبه دندهٔ نیمه سنکرونیزه :** به‌وسیله کشویی تعویض دنده، سنکرونیزور دنده دو، به طرف دنده‌دوی رو حرکت نموده دنده دو را که با محور اصلی هرز می‌چرخد، یک پارچه می‌کند.

در این وضعیت مسیر حرکت نیرو مطابق شکل ۲۹ـ۲ چنین است :

محور ورودی ← دندهٔ محرک محور ورودی ←

دندهٔ متحرک محور زیر ← محور همیشه گرد ←

دندهٔ دو زیر ← دنده دوی رو ← محور اصلی

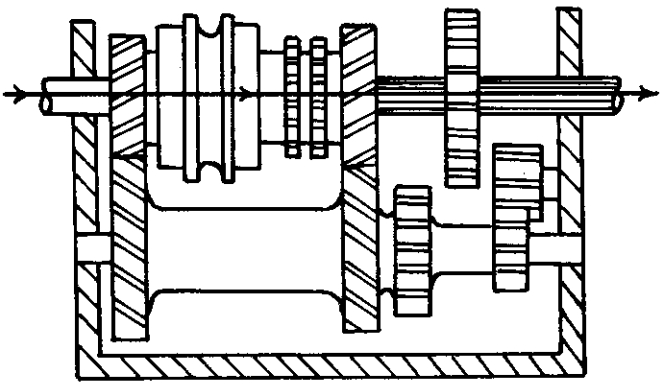


شکل ۲۹ـ۲ـ دندهٔ دو

ـ **حالت دنده سه جعبه دندهٔ نیمه سنکرونیزه :** به‌وسیله کشویی تعویض دنده، سنکرونیزور دنده سه به طرف محور ورودی حرکت لغزشی نموده دو محور اصلی و ورودی را با هم یک‌پارچه می‌کند.

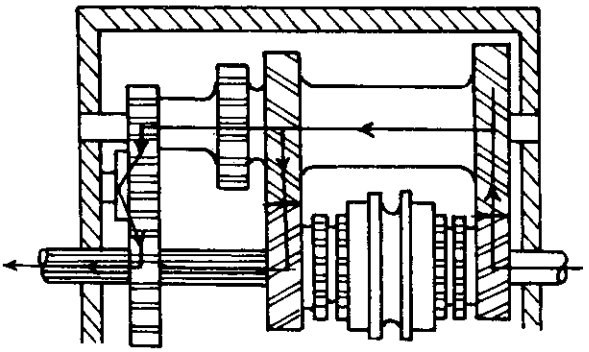
در این حالت مسیر حرکت نیرو مطابق شکل ۳۰ـ۲ عبارت است از :

محور ورودی ← پوستهٔ تعویض دنده ← محور خروجی



شکل ۳۰ـ۲ـ دندهٔ سه

ـ ***حالت دندهٔ عقب در جعبه دندهٔ نیمه سنکرونیزه :*** در این حالت دندهٔ یک به‌طرف راست حرکت نموده با دندهٔ هرز گرد عقب که با دندهٔ عقب زیرگیر است درگیر می‌شود و مسیر انتقال نیرو و جهت چرخش محور خروجی مطابق شکل ۳۱ـ۲ چنین است : محور ورودی ← دنده محرک محور ورودی ← دندهٔ متحرک محور زیر ← محور همیشه گرد ← دندهٔ عقب زیر ← هرز گرد ← دنده یک‌رو ← محور اصلی ←



شکل ۳۱ـ۲ـ دندهٔ معکوس

۵ـ۲ـ انواع سیستم‌های کشویی و نحوهٔ درگیری دنده‌ها

از آن‌جا که چرخ دنده‌های مورّب به‌وسیله کشویی‌ها با محور اصلی یک‌پارچه می‌شوند، ساختمان کشویی‌ها متفاوت بوده نحوهٔ عمل هر یک، نوع درگیری را معین می‌کند. اکنون چند نوع سیستم کشویی درگیر شونده را معرفی می‌کنیم :

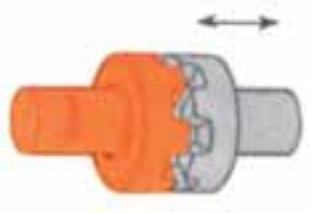
ـ **سیستم درگیر شوندهٔ چنگکی** : در کنار چرخ دنده‌های مورّب و در سمت کشویی‌ها چنگک‌هایی وجود دارد که دندانه‌هایشان به اندازهٔ دندانه‌های داخلی کشویی‌هاست. با این طرح مشکل عدم تساوی تعداد دندانه‌های درگیر شونده برطرف می‌شود، اما هنوز مشکل عدم تساوی تعداد دوربین چنگک‌های چرخ دنده و چنگک‌های داخلی کشویی وجود دارد بنابراین، شرط لازم برای درگیری کامل که تساوی سرعت خطی دو چرخ است محقق نشده است. مراحل درگیری سیستم درگیر شوندهٔ چنگکی در شکل ۳۲ـ۲ تا ۳۴ـ ۲ دیده می‌شود.

۱ـ فرض کنیم دو محور چنگک‌دار با تعداد دندانه‌های مساوی وجود داشته باشد. یکی از محورها ثابت (چپ) و دیگری متحرک (راست) است.

متحرک ثابت

شکل ۳۲ـ۲ـ یکی از دو محور حرکت می‌کند

۲ــ چنگک متحرک به‌طرف چنگک ثابت حرکت می‌کند و چون سرعت خطی دو چرخ چنگک‌دار مساوی نیست، دو چنگک پس از کمی ضربه‌زدن و قلاب نمودن با یک‌دیگر درگیر می‌شوند (شکل ۳۳ــ۲).

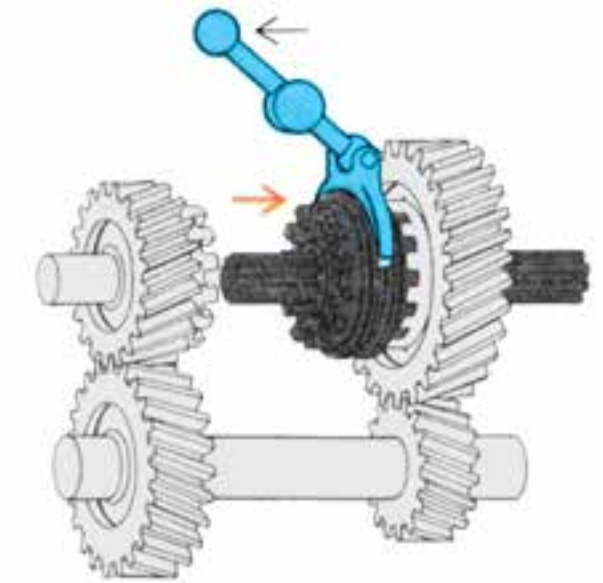


شکل ۳۳ــ۲ــ محور ثابت به طرف محور محرک حرکت می‌کند

۳ــ پس از درگیری کامل، دو محور یک‌پارچه شده با سرعت یکسانی دوران می‌کنند (شکل ۳۴ــ۲).

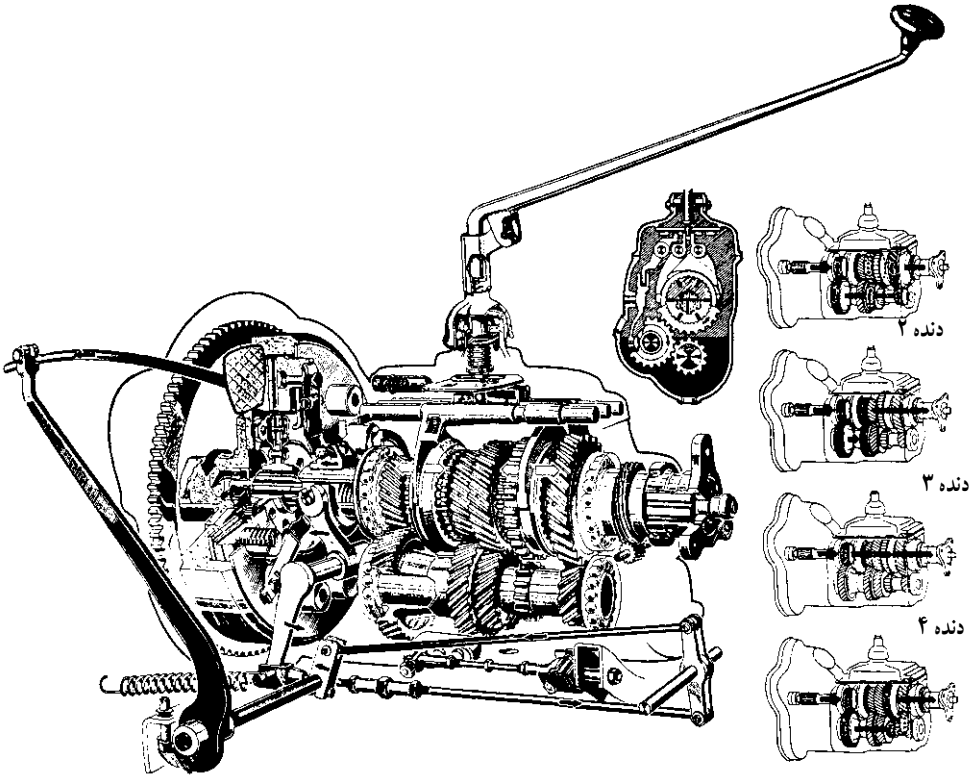
شکل ۳۴ــ۲ــ هر دو محور با یک‌دیگر گردش می‌کنند

در جعبه دنده‌های با سیستم کشویی چنگکی، برای افزایش گشتاور خروجی، کشویی به وسیله اهرم تعویض دنده و ماهک به طرف چرخ دنده بزرگ‌تر حرکت می‌کند و آن را با محور اصلی یک‌پارچه می‌نماید. در این وضعیت قدرت از چرخ دندهٔ کوچک زیر به چرخ دنده بزرگ رو منتقل شده با گشتاور زیادی به محور خروجی منتقل می‌شود.

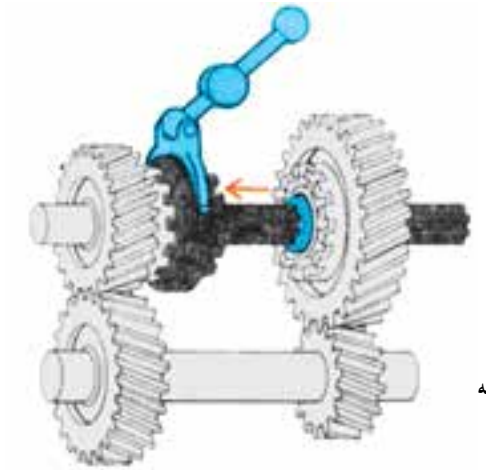


شکل ۳۵ــ۲ــ دندهٔ سه رو با محور اصلی یک‌پارچه می‌شود .

وقتی نیاز به دور بیشتر و گشتاور کمتری باشد، کشویی به طرف چرخ دندانه کوچک‌تر حرکت نموده آن را با محور اصلی یک‌پارچه می‌کند. در این وضعیت قدرت از چرخ بزرگ زیر به چرخ‌دندهٔ کوچک رو، انتقال یافته با دور زیاد و گشتاور کم از گیربکس خارج می‌شود.



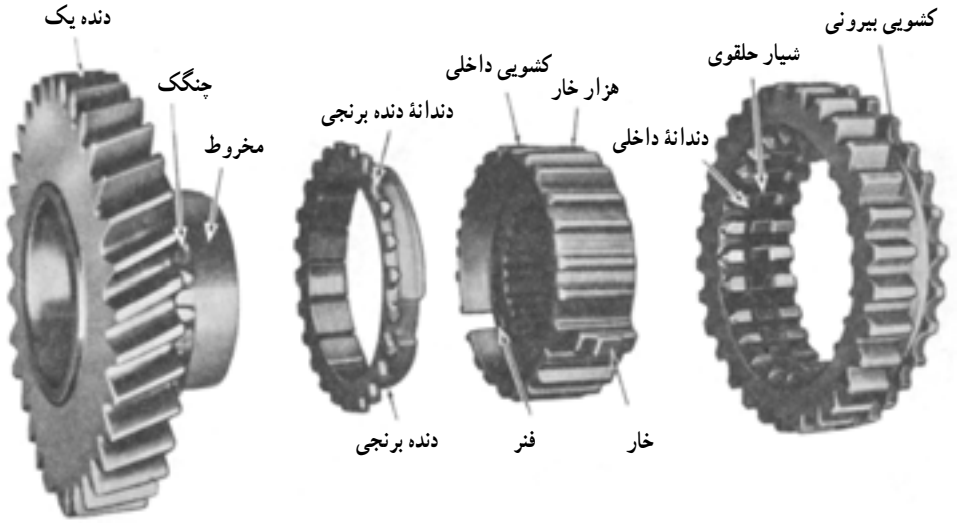
شکل ۳۶ــ۲ــ جعبه دندهٔ چهار سرعته تمام سنکرونیزه



شکل ۳۷ــ۲ــ کشویی محور اصلی با محور کلاچ را یک‌پارچه می‌کند (دنده مستقیم).

ــ جعبه دنده‌های با سیستم درگیر شونده سنکرونیزه : در جعبه دنده‌های سنکرونیزه تنها عیب عدم تساوی دور هم که در نوع چنگکی وجود داشت مرتفع گردیده شرایط ایده‌آل تساوی سرعت خطی دو چرخ دندهٔ V_2 V_1 محقق گردیده است.

برای آن‌که در هنگام درگیر شدن دو چرخ دنده، دور چرخ‌ها برابر شود، در یک طرف چرخ‌دنده، قسمت مرکزی آن را به شکل مخروطی درآورده‌اند. کشویی هم دارای همین سطح مخروطی اصطکاکی است. در موقع تعویض دنده، کشویی روی محور حرکت لغزشی نموده به‌طرف چرخ دنده نزدیک می‌شود. قسمت داخلی کشویی با دنبالهٔ مخروطی چرخ‌دنده درگیر شده دور آن را با دور خود برابر می‌کند. وقتی دور چرخ دندانه با دور کشویی یکسان شد، پوسته خارجی (کشویی) در روی قسمت داخلی توپی، حرکت لغزشی نموده با چنگک‌های چرخ دنده درگیر می‌شود. در شکل‌های **۳۹ــ۲** اساس کار سیستم سنکرونیزورها نشان داده شده است.

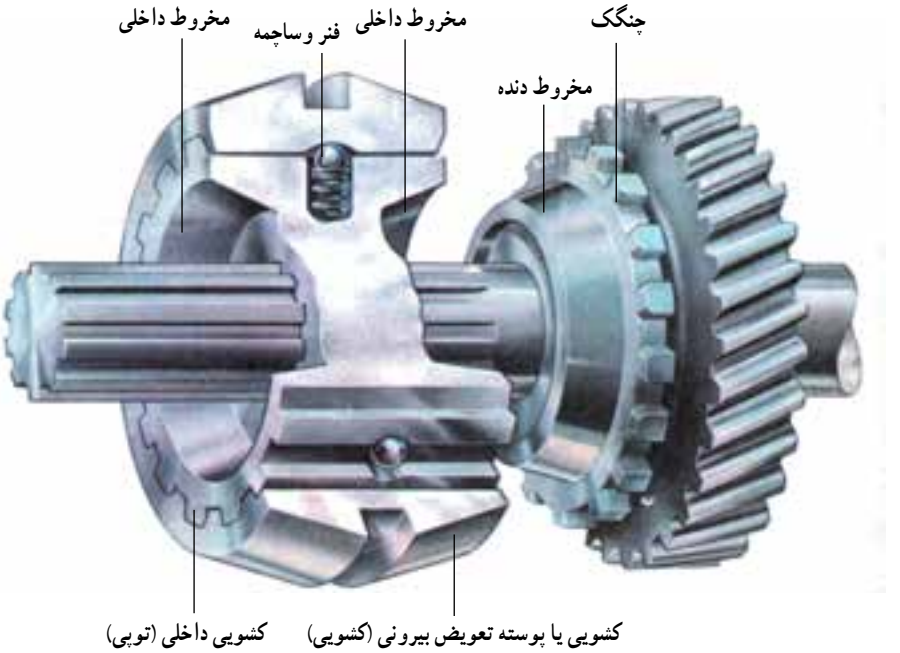


شکل ۳۸ــ۲ــ مجموعه سنکرونیزور و کشویی

۳ــ هنگام هم سرعت شدن و درگیری۲ــ سنکرونیزور مخروطی و کشویی ۱ــ سنکرونیزور سادهٔ مخروطی

شکل‌های ۳۹ــ۲ــ اساس کار سیستم سنکرونیزورها

ساختمان دستگاه سنکرونیزور : دستگاه هم سرعت کننده و درگیر شونده در یک مجموعه ساخته شده‌اند، قسمت هم‌سرعت کننده داخل کشویی قرار دارد و به وسیله اتصال هزار خار یا کشویی روی محور اصلی حرکت لغزشی می‌نماید. قسمت درگیر شونده در خارج دستگاه قرار داشته از داخل به‌وسیله اتصال هزار خار با هم سرعت کننده درگیر است و از خارج شیاری برای درگیری با ماهک دارد. بین هم سرعت کننده و درگیر شونده، ساچمه و فنر یا خارهای موشکی قرار دارد که در حالت عادی از حرکت بی‌مورد آن جلوگیری می‌کند.

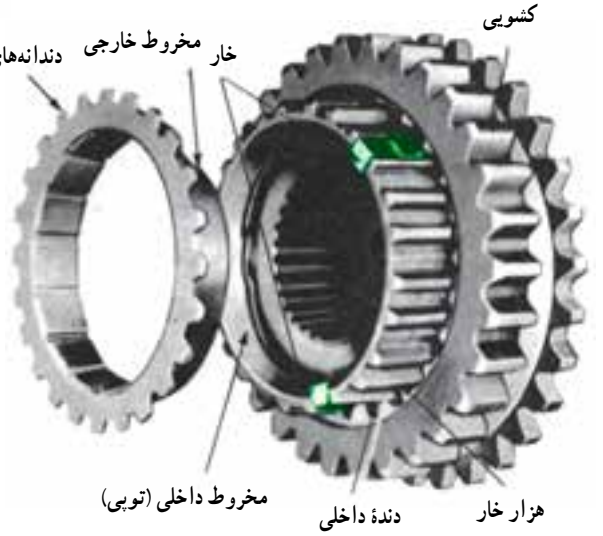


شکل ۴۰ــ۲ــ پوستهٔ تعویض با سنکرونیزور مخروطی

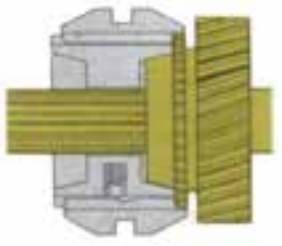
طرز کار هم سرعت کننده (سنکرونیزور) : در موقع تعویض دنده، پس از گرفتن کلاچ، نیروی موتور از خط انتقال قدرت جدا می‌شود؛ از این رو، دندانه‌های همیشه گرد جعبه دنده با سرعت اولیه‌ای که اینرسی قطعات گردنده بر آن تحمیل می‌کند در حال چرخش هستند. با این دوران دنده‌های مورب واقع در روی محور اصلی نیز در حال چرخش هستند. راننده پس از خلاص کردن دندهٔ قبلی اهرم تعویض دندانه را در جهت درگیری دندهٔ دیگر حرکت می‌دهد. با این عمل، نیرو از ماهک به کشویی وارد می‌شود و سپس، به وسیله ساچمه یا خار به توپی نیرو وارد شده آن را به‌طرف چرخ دنده هدایت می‌کند. با چنین حرکتی سطح مخروطی توپی با دنبالهٔ مخروطی چرخ دنده درگیر شده در اثر اصطکاک،

دور چرخ دنده‌ای که به طور هرز می‌گردد با توپی برابر می‌شود و در لحظه‌ای که سرعت خطی این دو عضو یکسان شد، کشویی با چنگک‌های دنده درگیر شده با آن یک‌پارچه می‌شود.

شکل ۴۱ــ۲ ــ نیروی فنر کشویی‌ها را نسبت به هم جفت می‌کند.



شکل ۴۲ــ۲ــ مجموعهٔ سنکرونیزور



شکل ۴۳ــ۲ــ نیروی ماهک کشویی بیرونی را به سمت دنده حرکت داده آن‌را با چنگک دنده درگیر می‌کند.

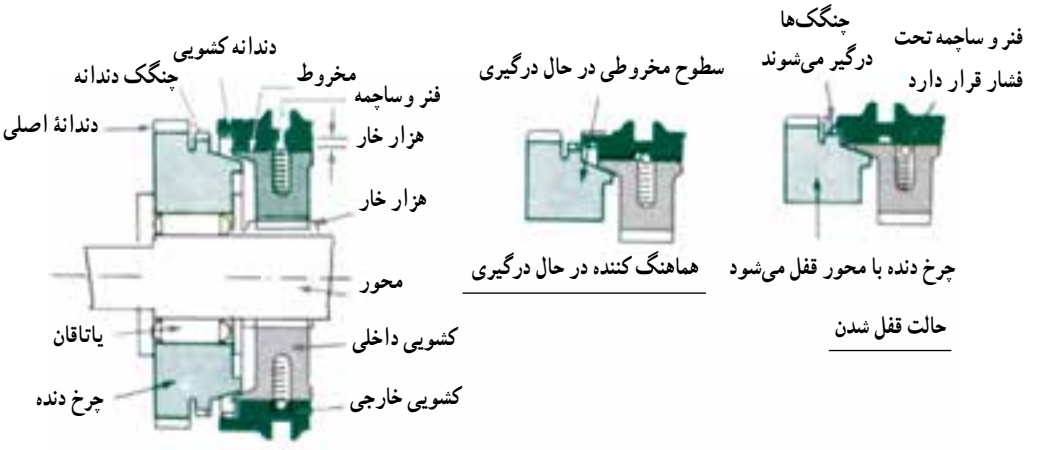
سنکرونیزور برنجی : برای ایجاد سطح اصطکاکی ملایم و جلوگیری از ساییدگی قطعات سخت و گران قیمت، سطح مخروطی مربوط به هم سرعت کننده را حذف کرده کار آن را به قطعهٔ جداگانه‌ای که از فلز برنج است، واگذار نموده‌اند. در روی حلقهٔ هم سرعت کنندهٔ برنجی یک شیار و در پوستهٔ درگیر شونده نیز خاری وجود دارد که موجب درگیری آن دو می‌شود. شیار بزرگ‌تر از خار

است تا حلقه هم‌سرعت کننده در حین پیش‌روی نیز چند درجه چرخش آزاد بنماید. همین چند درجه چرخش آزاد عمل هم‌سرعت نمودن را به تأخیر می‌اندازد و راننده مجبور است پس از کمی تأمل دنده را تعویض نماید.

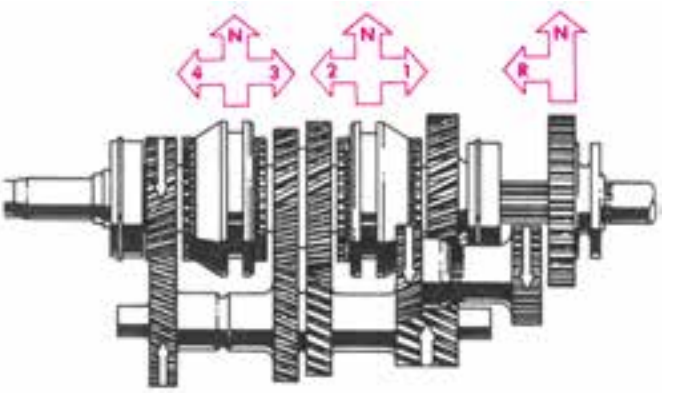
ساختمان سنکرونیزور دنده برنجی در شکل ۴۴ــ۲ دیده می‌شود. در این شکل آغاز درگیری و هم‌سرعت شدن ملاحظه می‌شود. با نیروی ماهک، تویی، هم‌سرعت کنندهٔ برنجی را به مخروط دنده می‌فشارد و سرعت دنده را می‌کاهد. وقتی سرعت دنده با کشویی برابر شد، کشویی به‌طرف چنگک دنده حرکت نموده با آن درگیر می‌شود. در مرحله آخر سرعت خطی کشویی و چنگک‌های دنده برابر شده درگیری کامل انجام می‌شود.

شکل ۴۴ــ۲ــ مجموعهٔ سیستم سنکرونیزور و طرز کار آن

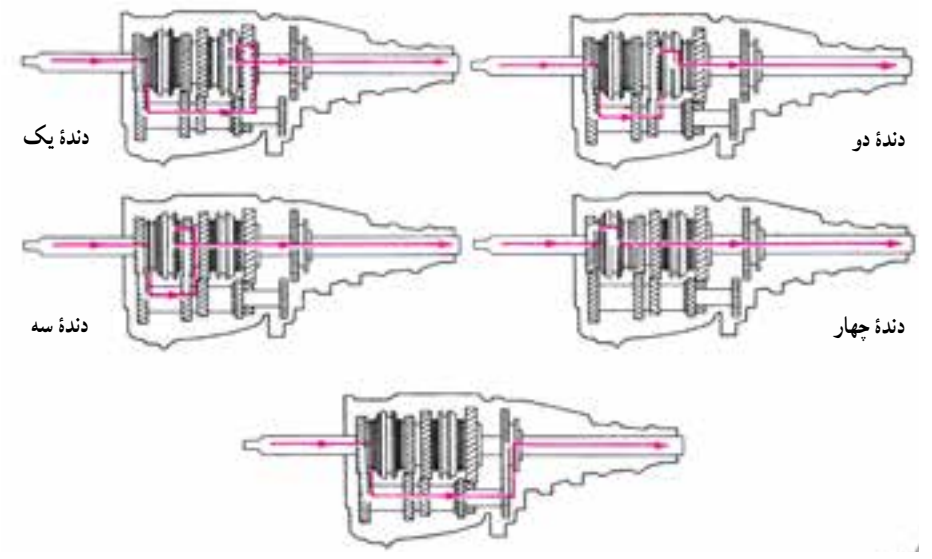
وقتی جعبه دنده‌ای تمام سنکرونیزه باشد، می‌توان در حال حرکت در هر حالتی اقدام به تعویض دنده نمود. در شکل‌های ۴۵ــ۲ نمونه‌هایی از انواع جعبه دنده تمام سنکرونیزه را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۵ــ۲ــ مراحل هماهنگ‌سازی در یک مجموعهٔ سنکرونیزه



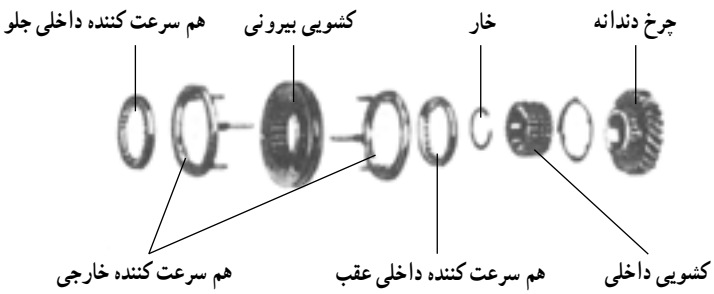
شکل ۴۶ــ۲ــ یک جعبه دندهٔ چهار سرعته و حرکت‌های سنکرونیزورها در سیستم تمام سنکرونیزه



شکل ۴۷ــ۲ــ حالت‌های مختلف تعویض دنده در یک جعبه دنده چهارسرعته

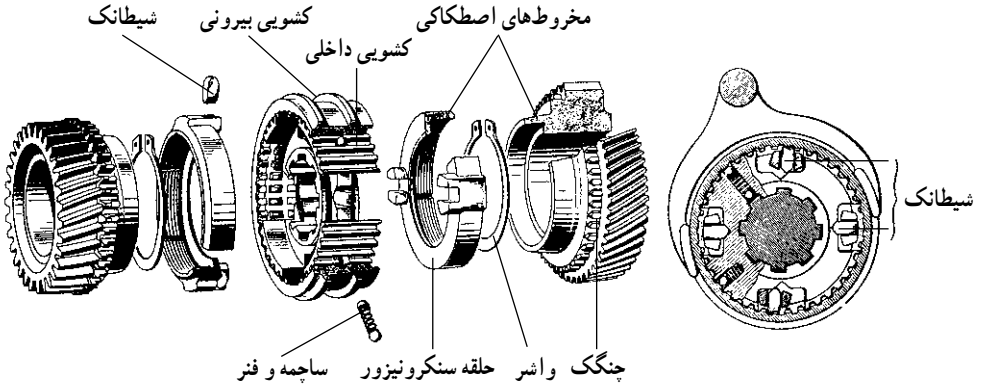
دستگاه سنکرونیزور پین‌دار : این سیستم دارای یک جفت حلقهٔ هم سرعت کننده است که روی هر یک سه پین وجود دارد. این پین‌ها در سوراخ‌های کشویی جای می‌گیرند. کشویی در قسمت خارجی خود شیار حلقوی داشته ماهک در آن قرار می‌گیرد. در قسمت داخلی هزار خاری دارد که روی دندانه‌های هزار خاری توپی حرکت می‌کند. توپی نیز در قسمت داخلی دارای هزار خاری است و روی محور اصلی حرکت کشویی می‌کند.

بنابراین توپی، کشویی و دو حلقه هم سرعت کنندهٔ پین‌دار همراه محور اصلی گردش می‌کنند. وقتی عمل تعویض دنده انجام شود، کشویی بیرونی به کمک ماهک به طرف دنده مورد نظر حرکت می‌کند. این حرکت به حلقه‌های هم‌سرعت کننده پین‌دار وارد می‌گردد و سپس به حلقه هم‌سرعت‌کننده داخلی اعمال می‌شود. این حلقه به سطح فشاری دنده مورد نظر فشار آورده دور دنده را با دور کشویی بیرونی هماهنگ می‌کند پس از هماهنگ‌سازی دور دنده با دور محور، کشویی به‌طرف چنگک دندانه‌دار حرکت کرده با آن درگیر می‌شود (شکل ۴۸ــ۲).

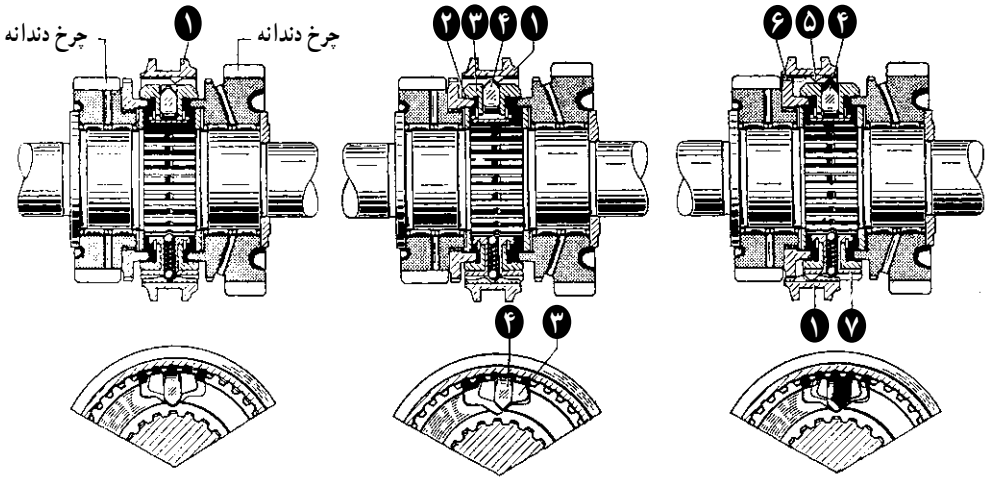


شکل ۴۸ــ۲ــ سیستم سنکرونیزور پین‌دار

دستگاه سنکرونیزور شیطانک‌دار : برای تسریع در عمل هم‌سرعت کردن، از هم‌سرعت‌کنندهٔ شیطانک‌دار استفاده می‌شود. در این سیستم پوسته هم‌سرعت کننده دارای شیطانک فنردار است که ضمن داشتن چند درجه آزادی چرخش، شیطانک با نیروی فنر بر شیار حلقهٔ داخلی تأثیر نموده در نتیجه دنده به‌سرعت با هم‌سرعت کننده هم دور می‌شود (شکل‌های ۴۹ــ۲ و ۵۰ــ۲).



شکل ۴۹ــ۲ــ ساختمان سنکرونیزور شیطانک‌دار



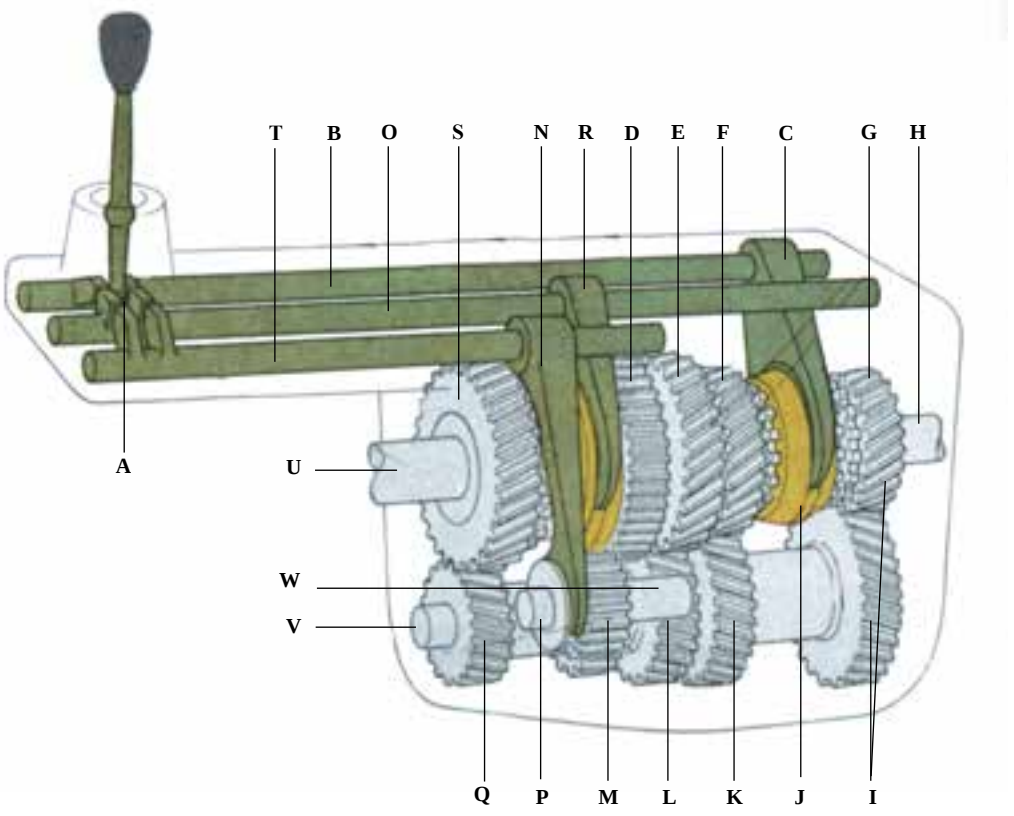
۱ــ کشویی بیرونی
۲ــ مخروط سنکرونیزور
۳ــ حلقهٔ سنکرونیزور
۴ــ شیطانک
۵ــ کشویی داخلی
۶ــ درگیری دو چنگک دندانه و کشویی
۷ــ هزار خار کشویی داخلی

شکل ۵۰ــ۲ــ مراحل درگیری سنکرونیزور شیطانک‌دار

۶ـ۲ـ انواع اهرم‌های تعویض دنده

برای تعویض دنده و ایجاد وضعیت دل‌خواه در مدار انتقال قدرت، لازم است کلاچ‌های مختلفی به کار افتاده دنده مورد نظر با محور اصلی یک‌پارچه گردد. به این منظور از اهرم‌های گوناگونی استفاده می‌شود.

در شکل ۵۱ــ۲ تعدادی از این اهرم‌بندی مشاهده می‌شود.



شکل ۵۱ــ۲ ــ گیربکس تمام سنکرونیزهٔ چهار دنده

A ــ انتهای اهرم تعویض دنده (بخش‌کن) B ــ میل ماهک دنده‌های سه و چهار C ــ ماهک دنده‌های سه و چهار D ــ دندهٔ عقب رو E ــ دندهٔ دوی رو F ــ دندهٔ سه رو G ــ دندهٔ محرک محور زیر H ــ محور ورودی جعبه‌دنده I ــ دنده‌های همیشه درگیر رو و زیر J ــ کشویی تعویض دندهٔ سه و چهار K ــ دنده سهٔ زیر L ــ دندهٔ دوی زیر M ــ دندهٔ عقب زیر دندهٔ عقب N ــ ماهک دندهٔ عقب O ــ میل ماهک دندهٔ یک و دو P ــ محور هرزگرد Q ــ دندهٔ یک زیر R ــ ماهک دندهٔ یک و دو S ــ دندهٔ یک رو T ــ میل ماهک دندهٔ عقب U ــ محور خروجی جعبه دنده V ــ محور همیشه گرد W ــ دنده هرز گرد

ماهک اهرم، هلالی شکل است که روی میل ماهک قرار داشته به وسیلهٔ آن حرکت خطی می‌کند. با حرکت ماهک، کشویی تعویض دنده هم حرکت نموده با دنده مورد نظر درگیر می‌شود.

نوع حرکت میل ماهک ممکن است، دستی، الکتریکی یا هیدرولیکی دستی باشد.

۷ـ۲ـ تعویض دنده به روش دستی

در این روش اهرم تعویض دنده به کمک دست حرکت کرده سه میل ماهک (جعبه دنده‌های چهار دنده) یا دو میل ماهک (جعبه دنده‌های سه دنده) را حرکت می‌دهد.

۱ــ دندهٔ یک و دو : در این حالت اهرم تعویض دنده، میل ماهک وسط را به سمت چپ حرکت می‌دهد و کشویی دندهٔ یک و دو به طرف دنده یک می‌رود و دندهٔ یک رو را با محور اصلی یک‌پارچه می‌کند.

در دندهٔ دو همین کشویی به‌طرف راست رفته دنده‌دوی رو را با محور اصلی یک‌پارچه می‌نماید.

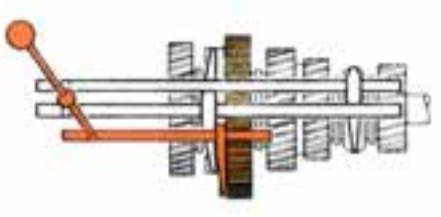
۲ــ دنده سه و چهار : در این حالت اهرم تعویض دنده، میل ماهک بالا را به طرف چپ حرکت داده کشویی دندهٔ سه و چهار را به طرف دندهٔ سه هدایت می‌کند وآن را با محور اصلی یک‌پارچه می‌کند.

در حالت دندهٔ چهار ماهک به‌طرف راست هدایت شده و دو محور اصلی و ورودی را یک‌پارچه می‌کند.

۳ــ دندهٔ عقب : در این حالت اهرم تعویض دنده میل ماهک پایین را حرکت داده دندهٔ هرزگرد را در بین دنده‌های عقب زیرورو قرار می‌دهد.

شکل ۵۲ــ۲ــ حرکت میل ماهک وسط و تعویض دندهٔ یک و دو

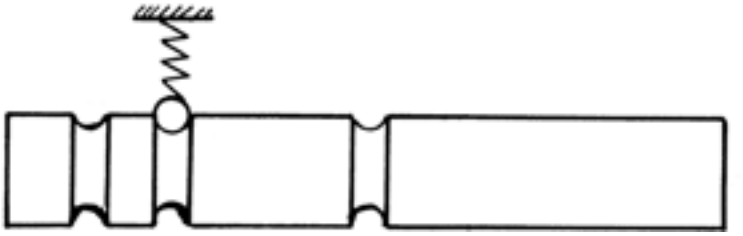
شکل ۵۳ــ۲ــ حرکت میل ماهک بالا و تعویض دندهٔ ۳ و ۴



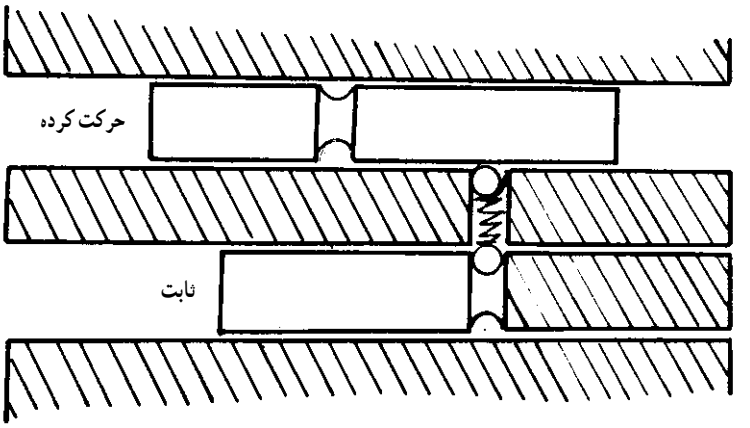
شکل ۵۴ــ۲ــ حرکت میل ماهک پایین و تعویض دندهٔ معکوس

۸ـ۲ـ ساختمان میل ماهک‌ها

اگر میل ماهک‌ها کنترل نشوند، در اثر حرکت نابه‌جای آنها دو دنده به طور هم‌زمان با محور اصلی یک‌پارچه شده محور خروجی تحت تأثیر دو گشتاور پیچشی متفاوت قرار گرفته مجموعهٔ جعبه دنده قفل می‌شود. به این حالت «قاطی کردن جعبه دنده» می‌گویند. برای جلوگیری از این عمل، حرکت میل ماهک‌ها را به وسیلهٔ ساچمه و فنر تحت کنترل در می‌آورند. در روی هر میل ماهک سه شیار حلقوی وجود دارد و در ریل مربوط به آن میل ماهک نیز یک ساچمه و فنر قرار گرفته است. بنابراین، هر میل ماهک در سه حالت تثبیت می‌شود : حالت خلاص، حالت دندهٔ سنگین و حالت دندهٔ سبک.

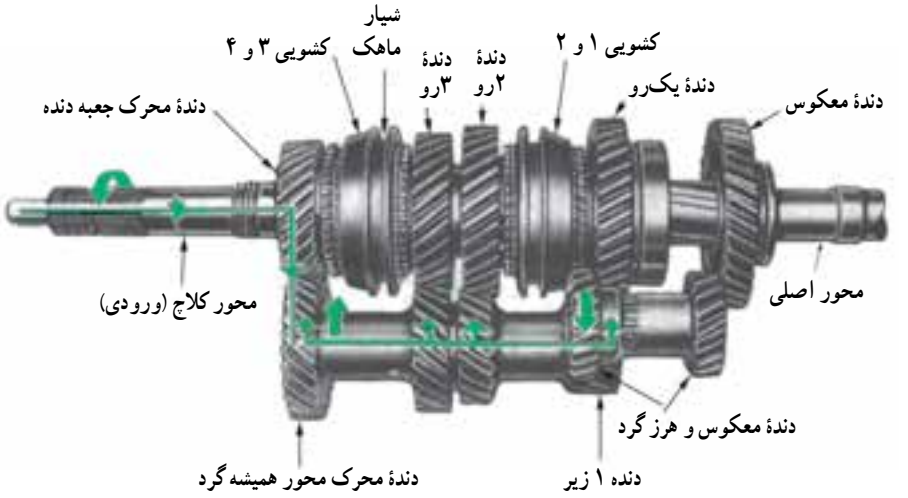


شکل ۵۵ــ۲ــ ساختمان میل ماهک همراه ساچمه و فنر

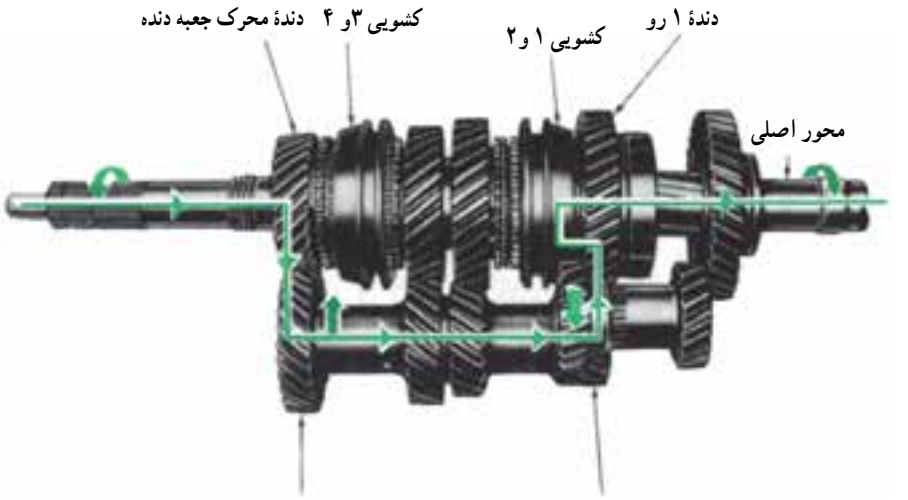


شکل ۵۶ــ۲ــ ساچمه و فنر ثابت کننده

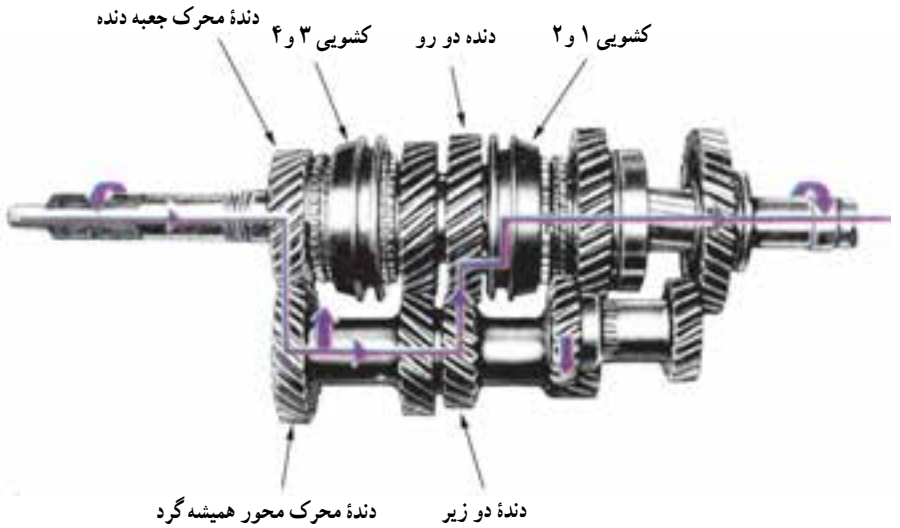
مراحل تعویض دندهٔ یک جعبهٔ تمام سنکرونیزهٔ چهار سرعته



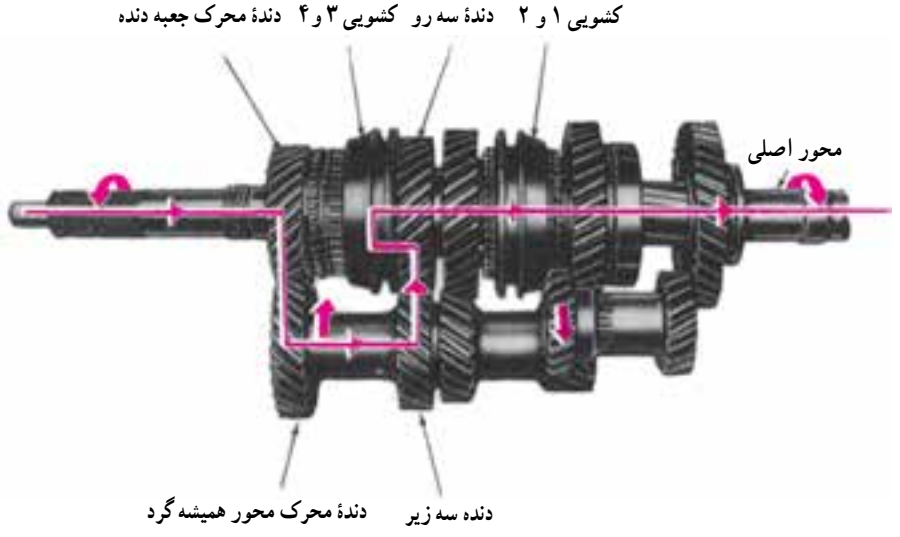
شکل ۵۷ــ۲ــ حالت خلاص



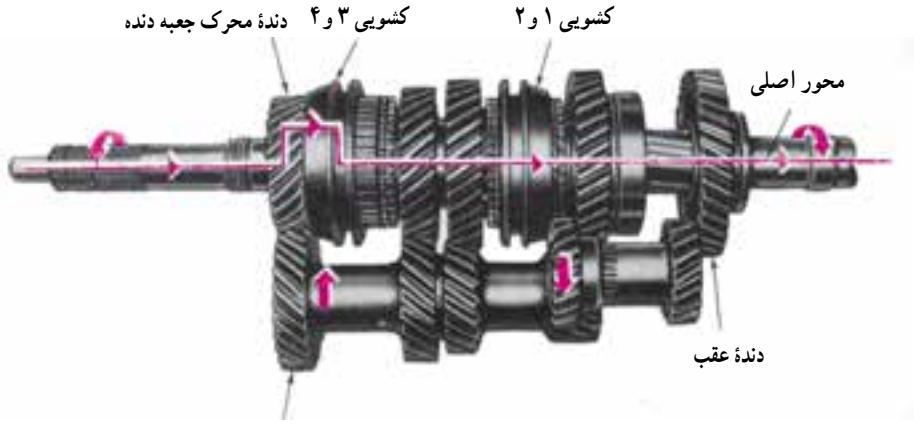
شکل ۵۸ــ۲ــ حالت دنده ۱ با حرکت کشویی به طرف دنده ۱



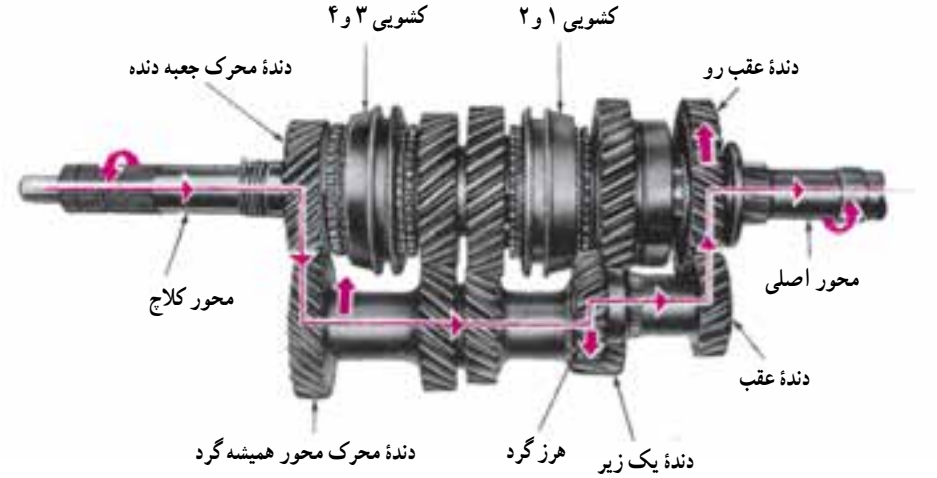
شکل ۵۹ــ۲ــ حالت دنده دو با حرکت کشویی به طرف دنده دو



شکل ۶۰ــ۲ــ حالت دندهٔ سه با حرکت کشویی به طرف دنده سه



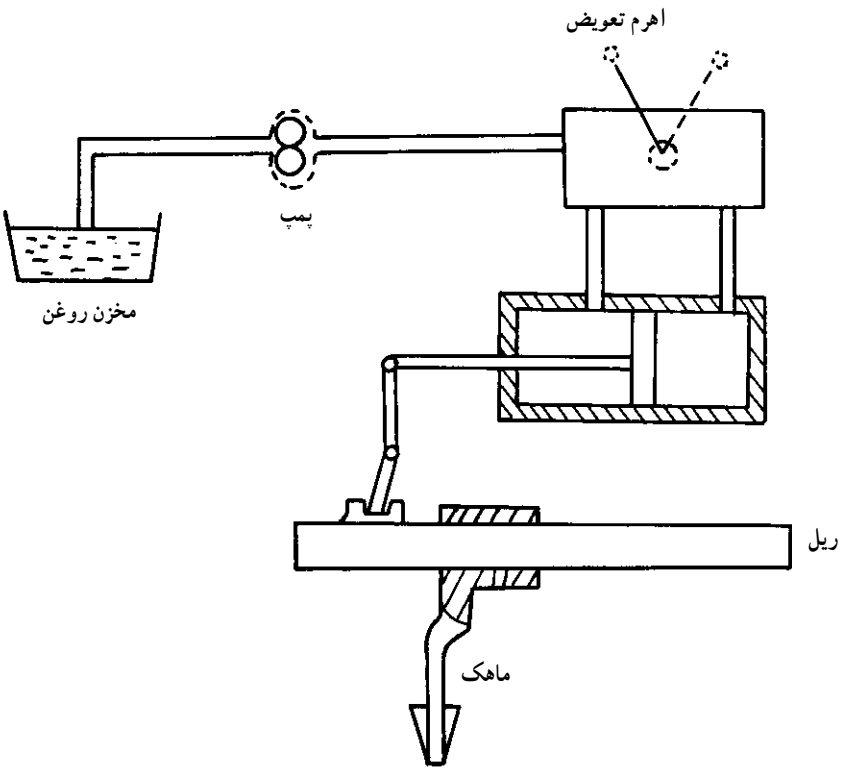
شکل ۶۱ــ۲ــ حالت دندهٔ چهار با حرکت کشویی به طرف دندهٔ محرک جعبه دنده



شکل ۶۲ــ۲ــ حالت دندهٔ معکوس با حرکت دندهٔ عقب رو، به طرف دندهٔ عقب زیر و دنده هرز گرد صورت می‌گیرد.

۹ـ۲ـ تعویض دنده به روش هیدرولیکی مکانیکی

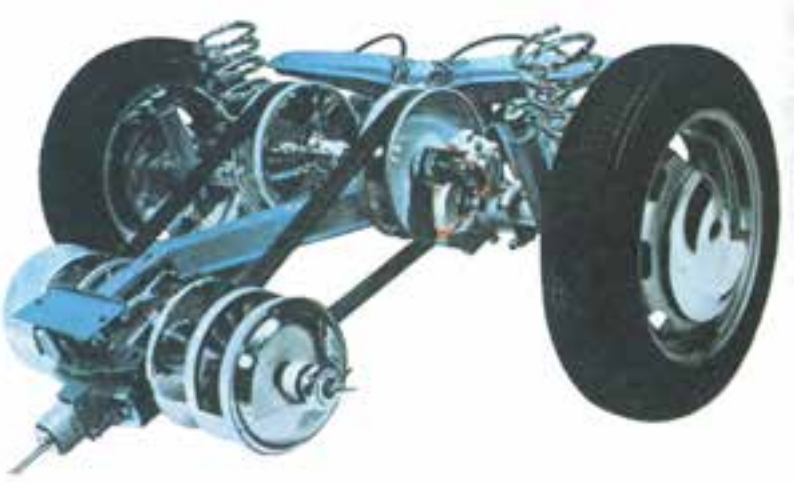
در این روش، میل ماهک به وسیلهٔ نیروی روغن حرکت می‌کند. برای اجرای آن شیر دوطرفه‌ای فشار روغن را به دو طرف پیستون تعویض دنده انتقال داده در هر دنده فقط به یک سمت پیستون فشار روغن تأثیر می‌نماید. برای تعیین نوع دنده اهرم تعویض به دو طرف حرکت داده می‌شود.



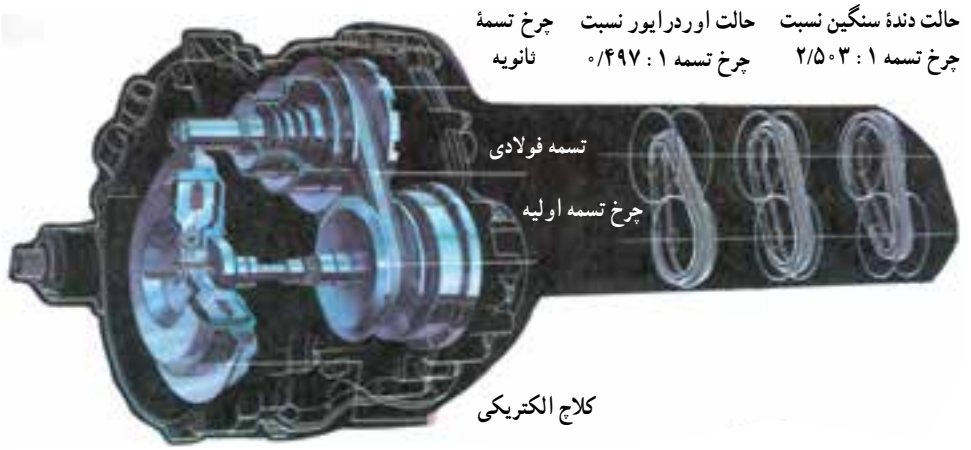
شکل ۶۳ــ۲ــ روش تعویض دندهٔ هیدرولیکی و دستی

۱۰ـ۲ـ جعبه دندهٔ واریوماتیک

ساختمان سیستم تعلیق محور محرک داف که مجهز به جعبه دندهٔ واریوماتیک است در شکل ۶۴ــ۲ دیده می‌شود. واریوماتیک ساده‌ترین دستگاه انتقال قدرت اتوماتیک بوده که اساس آن بر گریز از مرکز استوار است. در این دستگاه دو چرخ تسمهٔ دو پارچه وجود دارد که به‌وسیلهٔ فنر دو قسمت چرخ متحرک به‌هم نزدیک می‌شود و به وسیلهٔ وزنهٔ دو قسمت چرخ محرک تغییر می‌کند. چرخ تسمه‌ها به وسیلهٔ تسمهٔ ذوزنقه‌ای به یک‌دیگر مربوط می‌شوند (شکل ۶۶ــ۲).



شکل ۶۴ــ۲ــ جعبه دندهٔ اتوماتیک واریوماتیک (داف)



شکل ۶۵ــ۲ــ سیستم جدید واریوماتیک با کلاچ الکتریکی به کار رفته در خودروهای سوبارو مدل J۱۰

پودر فلزی کلاچ مغناطیس نبوده در نتیجه، قدرت را کلاچ انتقال نمی‌دهد.

حالت روشن در این حالت پودر فلزی کلاچ مغناطیس شده کلاچ عمل می‌کند.

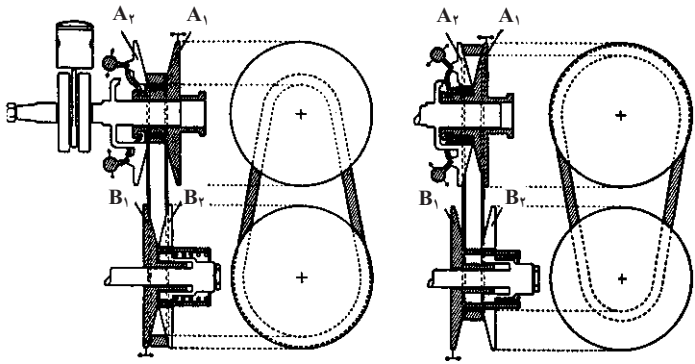
حالت خاموش

کلاچ الکتریکی: این کلاچ نیرو را به وسیله حوزه مغناطیسی اعمال شده به پودر فلزاتی که مغناطیس می‌شوند انتقال داده ذرات مغناطیس شده و قدرت را از عضو محرک کلاچ به عضو محرک انتقال می‌دهند.

در ابتدای کار دو قسمت چرخ تسمه متحرک، به‌وسیلهٔ نیروی فنر کاملاً به هم نزدیک شده قطر مؤثر آن افزایش می‌یابد. چون طول تسمه ثابت است، وقتی قطر چرخ تسمهٔ متحرک افزایش یابد، قطر چرخ تسمه محرک کمتر می‌شود. بنابراین در ابتدای کار، موتور با دور زیاد و گشتاور نسبتاً زیاد، محور متحرک را با دور کم و گشتاور نسبی زیاد به حرکت در می‌آورد. وقتی دور چرخ‌ها که متصل به چرخ تسمه متحرک است افزایش یابد، این افزایش دور عیناً به چرخ تسمهٔ محرک و موتور تأثیر گذارده در نتیجه وزنه‌ها به خارج از مرکز پرتاب می‌شوند. در اثر پرتاب وزنه‌ها دو قسمت چرخ‌تسمهٔ محرک به یک‌دیگر نزدیک شده قطر مؤثر آن افزایش می‌یابد. با ثابت بودن طول تسمه، قطر چرخ متحرک کاهش یافته دور محور خروجی متناسب با افزایش دور موتور اضافه می‌شود.

این دستگاه در خودروهای کوچک (داف) به صورت جعبه دندهٔ اتوماتیک، به کار رفته است. در این خودروها فقط پدال گاز است که وضعیت تبدیل گشتاور را تعیین می‌کند؛ البته کلاچی هم برای شروع حرکت و درگیری نرم در خودروها وجود دارد که کار راه‌اندازی خودرو را به آسانی امکان‌پذیر می‌سازد. کلاچ در عین حال در موقع توقف خودرو، مدار انتقال قدرت را از موتور جدا می‌کند تا امکان روشن ماندن موتور فراهم شود.

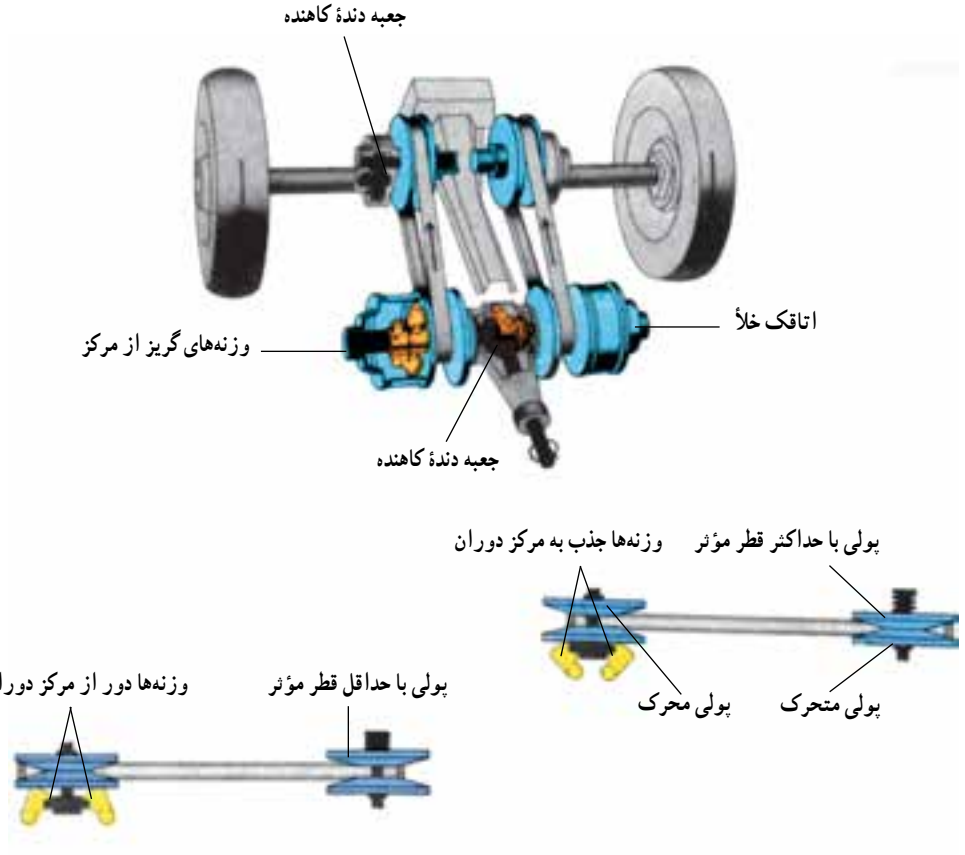
واریوماتیک اخیراً برای سیستم انتقال قدرت موتورسیکلت‌ها نیز به کار رفته است. در شکل‌های ۲ــ۶۵ تا ۲ــ۶۷ دو نوع از جعبه‌دنده واریوماتیک ملاحظه می‌شود. در شکل ۲ــ۶۷ نوع وزنه‌ای خلأی دیده می‌شود که در اتاقک خلأی آن متناسب با بازشدن دریچهٔ گاز خلأ افت کرده در نتیجه قطر پولی محرک سریع‌تر افزایش می‌یابد.



A۱ ــ نیمه چرخ تسمهٔ کشویی محرک
A۲ ــ نیمه چرخ تسمهٔ متصل به وزنهٔ گریز از مرکز
B۱ ــ نیمهٔ چرخ تسمه متحرک
B۲ ــ نیمهٔ چرخ تسمه متحرک کشویی

حالت دور کم چرخ‌ها　　حالت دور زیاد چرخ‌ها

شکل ۲ــ۶۶ــ سیستم واریوماتیک ساده



شکل ۶۷ــ۲ــ سیستم واریوماتیک وزنه‌ای خلأای