دایره‌ای در صفحهٔ عمودی، (ج) مدول پینیون در صفحهٔ دوران خود، (د) مدول چرخ‌دنده در صفحهٔ دوران خود، و (ه) فاصلهٔ مراکز را.

(د) با نصف مقیاس واقعی، تصویری مشابه شکل ۳۱.۱۲ بکشید، و V_{P_0} را برحسب متر برثانیه برای سرعت پینیون ۴۰۰ r/min محاسبه کنید. اندازهٔ سرعت لغزش را به‌طور ترسیمی با استفاده از مقیاس $1\ mm = 0.0405\ m/s$ پیدا کنید.

۱۶.۱۲ یک حلزون و چرخ‌حلزون دارای محورهایی بازاویهٔ ۹۰° نسبت به‌یکدیگرند و نسبت کاهش سرعت آنها ۱۵ به ۱ است. حلزون سه‌راهه دارای زاویهٔ جلو ۲۰° و گام محوری 0.4 in است. برای چرخ حلزون تعیین کنید: (الف) تعداد دندانه‌ها، (ب) قطر گام، و (ج) زاویهٔ مارپیچ.

(د) تعیین کنید قطر گام حلزون را.

(ه) فاصلهٔ مراکز را حساب کنید.

۱۷.۱۲ یک جفت چرخ‌دندهٔ مخروطی دندانه مستقیم، دو محور انتقال قدرت با زاویه ۹۰° را به‌یکدیگر مربوط می‌کند و دارای ۱۸ و ۳۶ دندانه و گام قطری ۶ است. چرخ‌دنده‌ها دارای دندانه‌های ایتولوت ۲۰° با ادندوم‌های نابرابرند. تعیین کنید: (الف) نسبت سرعت زاویه‌ای و (ب) قطر گام پینیون و چرخ‌دنده را. برای چرخ‌دنده تعیین کنید: (ج) زاویهٔ گام، (د) فاصلهٔ مخروطها، (ه) شعاع مخروط پشتی، (و) تعداد دندانه‌های قابل تشکیل را.

۱۳

زنجیر چرخ‌دنده‌ها، پیچهای انتقال، مزیت مکانیکی

۱.۱۳ زنجیر چرخ‌دنده‌های معمولی

یک زنجیر چرخ‌دنده تشکیل می‌شود از دو یا چند چرخ‌دنده که به‌منظور انتقال حرکت از یک‌محور به‌محوری دیگر باهم درگیر شوند. زنجیرچرخ‌دنده‌های معمولی آنهایی‌هستند که هیچیک از محورهای چرخ‌دنده‌هایشان نسبت به‌زمین حرکت نکند، واساساً به‌دوگونه‌اند: زنجیر چرخ‌دنده‌های ساده و زنجیر چرخ‌دنده‌های مرکب.

یک زنجیر چرخ‌دندهٔ ساده آن است که تنها یک‌چرخ‌دنده روی هرمحور داشته‌باشد، نظیر شکل ۱.۱۳. در این نوع زنجیر، چرخ‌دنده‌ها به‌وسیلهٔ دایره‌های گامشان مشخص می‌شوند. چرخ‌دندهٔ A، B را می‌گرداند. C،B را، D، C را وبالاخره E،D رابه‌گردش درمی‌آورد. فرض کنید تعداد دندانه‌های روی چرخ‌دنده‌ها N_A، N_B، وغیره باشد. نسبت سرعتهای‌زاویه‌ای هرجفت چرخ‌دندهٔ درگیرباهم برابر معکوس تعداد دندانه‌های‌آنهاست. بدین‌ترتیب

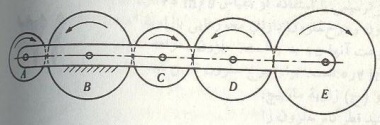
$$\frac{\omega_A}{\omega_B}=\frac{N_B}{N_A},\quad \frac{\omega_B}{\omega_C}=\frac{N_C}{N_B},\quad \frac{\omega_C}{\omega_D}=\frac{N_D}{N_C},\quad \frac{\omega_D}{\omega_E}=\frac{N_E}{N_D} \qquad (۱.۱۳)$$

نسبت سرعت (VR) یک زنجیر چرخ‌دنده، نسبت سرعت زاویه‌ای نخستین‌چرخ‌دندهٔ زنجیر به‌سرعت زاویه‌ای چرخ‌دندهٔ آخر است. برای زنجیر شکل ۱.۱۳، نسبت سرعت چنین است:

$$VR=\frac{\omega_A}{\omega_E}=\frac{\omega_A}{\omega_B}\times\frac{\omega_B}{\omega_C}\times\frac{\omega_C}{\omega_D}\times\frac{\omega_D}{\omega_E}$$

و با جایگزینی معادله‌های (۱.۱۳)

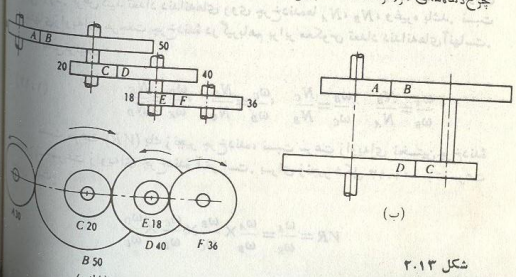
$$VR=\frac{N_B}{N_A}\times\frac{N_C}{N_B}\times\frac{N_D}{N_C}\times\frac{N_E}{N_D} \qquad (۲.۱۳)$$



شکل ۱.۱۳

اگر نخستین وآخرین چرخ‌دنده در یك جهت بگردند علامت نسبت سرعت مثبت است و درصورتی‌که درخلاف جهت یکدیگر گردش کنند علامت نسبت سرعت‌منفی است.ساده‌ترین راه برای حفظ جهت دوران، قرار دادن پیکان روی چرخ‌دنده‌هاست. ما بعداً برای نشان دادن جهت دوران از این علائم بهره خواهیم جست. علامت به‌علاوه نشان‌دهندهٔدوران در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت و علامت منفی بیانگر دوران در جهت گردش عقربه‌های ساعت است.

از معادلهٔ (۲.۱۳) مشاهده می‌شود که نسبت سرعت برای یك زنجیر چرخ‌دندهٔ ساده به‌تعداد دندانه‌های روی آخرین و نخستین چرخ‌دندهٔ زنجیر بستگی دارد زیرا تعداد دندانه‌های روی چرخ‌دنده‌های میانی با یکدیگر حذف می‌شوند. چرخ‌دنده‌های میانی را چرخ‌دنده‌های هرزگرد نامند. همچنین دیده‌می‌شود که نسبت سرعت تنها به‌تعداد دندانه‌های



(الف) (ب)

شکل ۲.۱۳

روی آخرین و نخستین چرخ‌دنده بستگی دارد زیرا دایره‌های گام روی یکدیگر می‌غلتند و سرعت خطی دایرهٔ گام تمام چرخ‌دنده‌ها یکسان‌است. چرخ‌دنده‌های هرزگرد به‌دومنظور به کار می‌روند: برای اتصال چرخ‌دنده‌هایی که فاصلهٔ مراکز آنها از یکدیگر خیلی زیاد است، و نیز به منظور کنترل ارتباط جهتدار بین چرخ‌دنده‌هایی نظیر A و E در شکل ۱.۱۳. توجه کنید که هر چرخ‌دندهٔ هرزگرد باعث تغییر جهت دوران آخرین چرخ‌دندهٔ درون زنجیر می‌شود.

یك جفت چرخ‌دنده را مرکب نامند که محور مشترك داشته و به‌یکدیگر قفل شده باشند، مثلاً چرخ‌دنده‌های B و C یا D و E در شکل ۲.۱۳ الف. یك زنجیر چرخ‌دندهٔ مرکب شامل چندین چرخ‌دندهٔ مرکب از این نوع است. در زنجیر چرخ‌دنده‌های مرکب نشان داده شده در شکل ۲.۱۳ الف، اعدادکنار هر چرخ‌دنده بیانگر تعداد دندانه‌های موجود روی هر چرخ‌دنده است. چنانچه سرعت A برابر ۱۶۰۰ r/min در خلاف‌جهت گردش عقربه‌های ساعت باشد، سرعت چرخ‌دنده‌های مختلف زنجیر عبارت خواهد بود از

$$\omega_A=+۱۶۰۰ \text{ r/min}$$

$$\omega_B=\omega_C=\frac{۳۰}{۵۰}\times ۱۶۰۰=-۹۶۰ \text{ r/min}$$

$$\omega_D=\omega_E=\frac{۲۰}{۴۰}\times ۹۶۰=۴۸۰ \text{ r/min}$$

$$\omega_F=\frac{۱۸}{۳۶}\times ۴۸۰=-۲۴۰ \text{ r/min}$$

نسبت سرعت عبارت است از:

$$VR=\frac{\omega_A}{\omega_F}=-\frac{۱۶۰۰}{۲۴۰}=-\frac{۲۰}{۳}$$

برای یك زنجیر چرخ‌دندهٔ مرکب، نسبت سرعت را می‌توان چنین نوشت:

$$VR=\frac{\text{حاصلضرب دندانه‌های چرخ‌دنده‌های متحرك}}{\text{حاصلضرب دندانه‌های چرخ‌دنده‌های محرك}} \qquad (۳.۱۳)$$

$$=\frac{۵۰}{۳۰}\times\frac{۴۰}{۲۰}\times\frac{۳۶}{۱۸}=-\frac{۲۰}{۳}$$

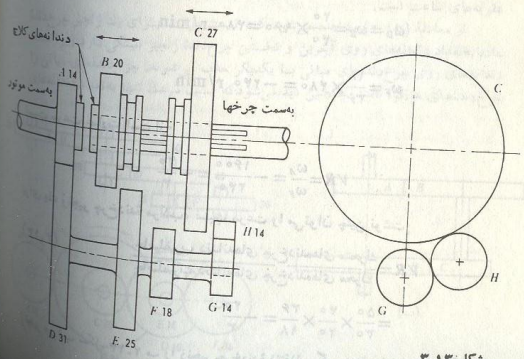
زنجیر مرکب شکل ۲.۱۳ ب را زنجیر چرخ‌دندهٔ انتقالی گویند زیرا نخستین و آخرین

چرخ‌دندهٔ آن هم‌محورند. از زنجیرچرخ‌دندهٔ انتقالی درجعبه‌دندهٔ اتومبیلها، ماشین‌تراشها، سرعت‌کاهنده‌های صنعتی، وساعتها (که درآنها عقربه‌های دقیقه وساعت‌شمار هم‌محورند) استفاده می‌شود.

مزیت یك زنجیر مرکب نسبت به‌یك زنجیر ساده آن است که می‌توان کاهش‌سرعت بسیار بیشتری را از نخستین محور به‌آخرین محور، با داشتن چرخ‌دنده‌های کوچکتر، به‌دست‌آورد. چنانچه ازیك‌زنجیر چرخ‌دندهٔ ساده برای ایجاد یك‌کاهش سرعت زیاداستفاده می‌شد، در این‌صورت چرخ‌دندهٔ آخر باید خیلی بزرگ می‌بود. معمولاً برای یك کاهش سرعت بیش‌از ۷ به ۱، زنجیر چرخ‌دندهٔ ساده به‌کارنمی‌رود، درعوض از یك زنجیرمرکب یا چرخ‌دندهٔ حلزونی استفاده می‌شود.

۲.۱۳ انتقال قدرت در اتومبیل

یك‌جعبه‌دندهٔ سه‌سرعتهٔ معمولی اتوموبیل به‌صورت شماتیك ۳.۱۳ درشکل ۳.۱۳ نشان داده شده است. چرخ‌دندهٔ A به‌وسیلهٔ موتور رانده می‌شود. چرخ‌دنده‌های D، E، F، و G به‌صورت‌یکپارچه دوران می‌کنند. چرخ‌دندهٔ H، هرزگردی است که با G درگیر است. مادامی‌که‌محور متصل شده به‌موتور درحال‌گردش است، این‌چرخ‌دنده‌ها نیز درحرکت‌اند.



شکل ۳.۱۳

چرخ‌دنده‌های B و C می‌توانند به‌صورت‌محوری روی‌محور متحرك‌خاردار بلغزند وبه‌چرخ‌دنده‌های محرك متصل شوند. جعبه‌دنده درحالت‌خلاص نشان داده‌شده‌است، وبدین‌ترتیب هیچ‌گونه رابطه‌ای میان محور موتور (محرك) و محور متحرك وجود ندارد.

برای حالت دنده یك یا در سرعتهای پایین، چرخ‌دندهٔ C به‌سمت‌چپ انتقال‌می‌یابد و با چرخ‌دندهٔ F درگیر می‌شود. نسبت سرعت $ADFC$ عبارت است از

$$VR=\frac{۳۱}{۱۴}\times\frac{۲۷}{۱۸}=۳٫۳۲$$

برای حالت دنده دو یا سرعت متوسط، چرخ‌دندهٔ B به‌سمت راست حرکت می‌کند و با چرخ‌دندهٔ E درگیر می‌شود. نسبت سرعت $ADEB$ چنین است:

$$VR=\frac{۳۱}{۱۴}\times\frac{۲۵}{۲۵}=۱٫۷۷$$

برای حالت دنده سه یا سرعت زیاد، چرخ‌دندهٔ B به‌سمت چپ انتقال می‌یابد تا دندانه‌های کلاچ‌آن با دندانه‌های چرخ‌دندهٔ A درگیر شوند. این‌کار سبب می‌شود تامحور محرك و محور متحرك مستقیماً با یکدیگر درگیر شوند و نسبت سرعت ۱ حاصل شود.

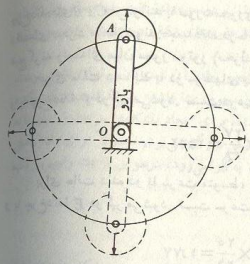
برای دنده عقب، C به‌سمت راست انتقال می‌یابد تا با هرزگرد H درگیر شود. نسبت سرعت چرخ‌دنده‌های $ADGHC$ عبارت خواهد شد از

$$VR=\frac{۳۱}{۱۴}\times\frac{۱۴}{۱۴}\times\frac{۲۷}{۱۴}=-۴٫۲۷$$

۳.۱۳ چرخ‌دنده‌های خورشیدی

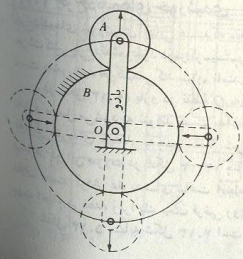
چرخ‌دنده‌های خورشیدی آنهایی هستندکه محورهای یك‌یاچند چرخ‌دندهٔ آنها نسبت‌به‌زمین حرکت کند. چرخ‌دندهٔ‌موجود درمرکزسیستم‌را خورشید، وچرخ‌دنده‌هایی راکه‌محورهایشان نسبت به‌خورشید حرکت می‌کند میاره نامند.

در شکل ۴.۱۳، بازو در نقطهٔ O به‌زمین لولا شده است، و چرخ‌دندهٔ A طوری به‌بازو متصل می‌شود که نتواند نسبت به‌آن حرکت‌کند. منظور از یك‌دوران‌کامل‌آن‌است که اگر عقربه‌ای جهتدار به‌جسم متصل شود، بتواند با یك دوران‌کامل زاویهٔ ۳۶۰° را بپیماید. در این صورت در شکل ۴.۱۳، چنانچه بازو حول لولای O یك دوران کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت انجام دهد، چرخ‌دندهٔ A نیز یك دوران در همان جهت انجام می‌دهد، زیرا یك پیکان فرضی روی A، زاویه‌ای به‌میزان ۳۶۰° پیموده‌است. شکل ۵.۱۳ مشابه شکل ۴.۱۳ است، با این تفاوت که چرخ‌دندهٔ B نیز به‌آن



شکل ۴۰۱۳

افزوده شده است. فرض کنید اندازهٔ چرخ‌دندهٔ ثابت B دو برابر چرخ‌دندهٔ A، که به‌بازو لولا شده باشد. در صورتی‌که به‌بازو یك دوران کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت حول لولای O داده شود، آن‌گاه چرخ‌دندهٔ A روی چرخ‌دندهٔ ثابت B می‌غلتد، و سه دوران کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت انجام خواهد داد. این واقعیت را می‌توان به‌صورت زیر توجیه کرد. چنانچه چرخ‌دندهٔ A نمی‌توانست نسبت به‌بازو دوران کند و اگر A و B هیچ‌گونه دندانه‌ای نداشتند و استوانه‌هایی صاف بودند به‌طوری‌که A می‌توانست بر روی B بلغزد، در این‌صورت A، مطابق شکل ۴۰۱۳، یك دوران کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت انجام می‌داد. البته، به‌علت غلتیدن چرخ‌دندهٔ A روی چرخ‌دندهٔ B در شکل ۵۰۱۳، محیط A دو دور روی محیط B می‌غلتد. در نتیجه A



شکل ۵۰۱۳

جدول ۱۰۱۳

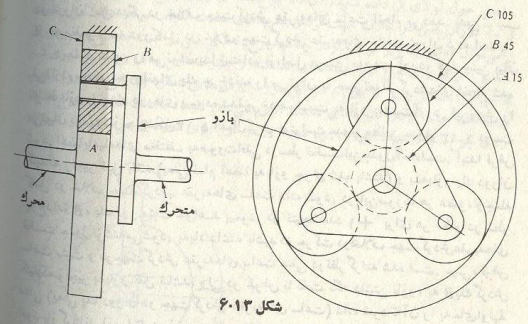
عضو	بازو	A	B
زنجیر قفل‌شده است، به بازو یك دوران کامل مثبت داده می‌شود	+۱	+۱	+۱
بازو قفل شده است، به B یك دوران کامل منفی داده می‌شود	۰	$+(N_B/N_A)=+۲$	−۱
نتیجه	+۱	+۳	۰

دو دوران کامل دیگر در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت انجام می‌دهد. بدین ترتیب A در مجموع سه دور کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت دوران کرده است.

همین نتیجه را می‌توان با استفاده از اصل برنهش به‌دست آورد، که چنین بیان می‌دارد، مجموع دورانهای یك چرخ‌دنده را می‌توان با جمع تعداد گردشهای انجام شده توسط بازو با تعداد دورهای پیموده شدهٔ چرخ‌دنده نسبت به‌بازو به‌دست‌آورد. این روش را می‌توان درمورد زنجیر شکل ۵.۱۳ اعمال کرد. بهتر است جدولی مطابق جدول ۱.۱۳ درست شود. اعضا یا میله‌های مختلف به‌صورت افقی درسطر نخست این جدول آمده‌است. ابتدا فرض کنید که زنجیر قفل باشد (یعنی تمام اعضا به‌بازو جوش شده باشند) و به‌بازو یك دوران کامل در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت داده شود. در این‌صورت هر عضو، از جمله چرخ‌دندهٔ B، یك دور مثبت خواهد پیمود. در نتیجه عدد +۱ برای هر عضو در سطر نخست جدول نوشته می‌شود. به‌یاد داشته باشید که حرکت درخلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت مثبت و درجهت گردش عقربه‌های ساعت منفی درنظر گرفته شده است. سپس، فرض کنید که زنجیر به‌بازو قفل نباشد، ولی در عوض با ثابت نگه داشتن بازو، به B یك گردش منفی (یعنی یك دوران در جهت گردش عقربه‌های ساعت) داده شود تا آن را به‌جای اولیهٔ خود بازگرداند (زیرا B در زنجیر واقعی ثابت و متصل به‌زمین است). بدین ترتیب یك سطر دوم زیر عنوان «بازو» و یك ۱ — زیر عنوان «B» منظور می‌شود. آن‌گاه با یافتن تعداد دورهای پیموده شدهٔ چرخ‌دندهٔ A، با ثابت درنظر گرفتن بازو و یك دور منفی دوران کامل B، سطر دوم جدول نیز تکمیل خواهد شد. چرخ‌دندهٔ A به‌اندازهٔ

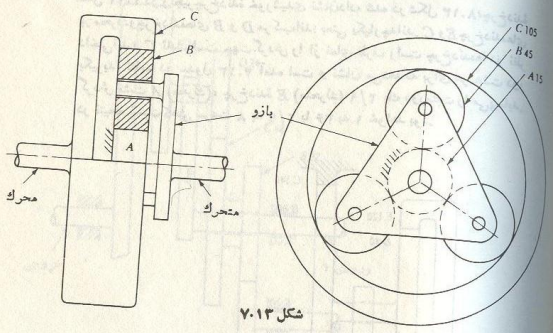
$N_B/N_A = 2$ CCW دوران کرده است، یعنی دو دور گردش مثبت. N_B و N_A به‌ترتیب تعداد دندانه‌های چرخ‌دنده‌های B و A هستند. نتایج نهایی در ستون سوم جدول آمده است. بدین ترتیب برای یك دور مثبت بازو، چرخ‌دندهٔ A سه دور مثبت خواهد زد.

مثال ۳۰۱۳ در زنجیرچرخ‌دنده‌خورشیدی نشان داده‌شده درشکل ۶.۱۳، چرخ‌دندهٔ A به‌محورمحرك قفل شده است؛ C یك‌چرخ‌دندهٔ داخلی ثابت بوده و بازو بامحور متحرك یکپارچه است. با دوران چرخ‌دندهٔ محرك A، B روی C می‌غلتد و سبب گردش بازو می‌شود. نتایج در جدول ۲.۱۳ آمده است. می‌توان مشاهده کرد که برای هر هشت گردش مثبت A (محرك)، بازو (عضو متحرك) یك‌دور مثبت‌می‌زند. از آنجا که گردشهای نهایی چرخ‌دندهٔ A و بازو هم علامت‌اند، در نتیجه‌محورهای محرك و متحرك در یك جهت دوران خواهندکرد. نسبت‌کاهش سرعت برابر ۸ به ۱ است. از نظرسینماتیکی، تنها وجود چرخ‌دندهٔ B لازم‌است، ولی سایر چرخ‌دنده‌ها نیز برای حفظ موازنه به‌سیستم افزوده شده‌اند تا بار روی چرخ‌دنده‌های بیشتری توزیع شود. در این‌صورت می‌توان چرخ‌دنده‌های کوچکتر را برای سیستم مزبور بکار برد.



شکل ۶.۱۳

مثال ۳.۱۳ زنجیر چرخ‌دنده‌های خورشیدی نشان داده شده در شکل ۷.۱۳ نظیر شکل ۶.۱۳ است، با این تفاوت‌که C به‌محور محرك قفل شده، و A به‌جای C به‌زمین ثابت شده است. نتایج در جدول ۳.۱۳ آمده، و حاکی ازآن است‌که



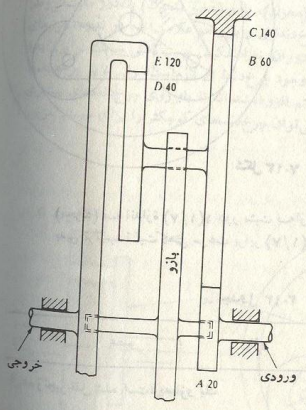
شکل ۷.۱۳

(محرك) به اندازهٔ (۱/۷)۱ دور مثبت به‌ازای هر یك دور مثبت بازو می‌زند. بدین ترتیب نسبت‌کاهش سرعت برابر (۱/۷)۱ به ۱ است.

جدول ۳.۱۳

عضو	بازو	A	B	C
زنجیر قفل شده است، به‌بازو یك دوران‌کامل مثبت داده می‌شود	+۱	+۱	+۱	+۱
بازو قفل شده است، به C یك دوران‌کامل منفی داده می‌شود	۰	$+\left(\frac{۱۰۵}{۴۵}\times\frac{۴۵}{۱۵}\right)$	$-\frac{۱۰۵}{۴۵}$	−۱
نتیجه	+۱	+۸	$-۱\frac{۱}{۳}$	۰

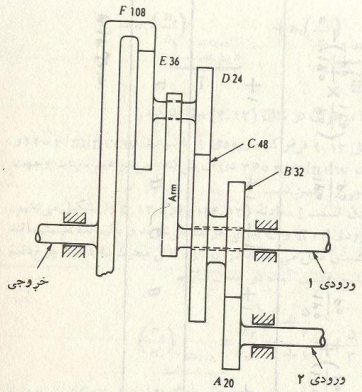
مثال ۳.۱۳ در زنجیرچرخ‌دندهٔ خورشیدی نشان‌داده شده در شکل ۸.۱۳، چرخ‌دندهٔ A محرك و چرخ‌دنده‌های B و D مرکب‌اند؛ یعنی یکپارچه‌اند. C و E چرخ‌دنده‌های داخلی‌اند و C ثابت است جهت گردش را از نمای طرف راست چرخ‌دنده‌ها در نظر بگیرید. نتایج در جدول ۴.۱۳ آمده است و نشان می‌دهدکه برای هر هشت دور گردش مثبت A (محرك)، چرخ‌دندهٔ E (متحرك) ۲/۹ یك دورمثبت را می‌پیماید. در نتیجه نسبت کاهش سرعت ۸ به ۲/۹ یا ۳۶ به ۱ خواهد بود.



شکل ۸.۱۳

۴.۱۳ چرخ‌دنده‌های خورشیدی با دو ورودی

یك زنجیر چرخ‌دنده از این نوع در شکل ۹.۱۳ نشان داده شده است. فرض کنید n_1، n_2 و n_o به‌ترتیب بیانگر تعداد دورهای گردش ورودی ۱، ورودی ۲، و خروجی باشد. با استفاده از اصل برنهش، تعداد دورهای خروجی برابر دورهای خروجی ناشی از ورودی ۱ به علاوهٔ دورهای خروجی ناشی از ورودی ۲ است. این اصل را می‌توان به شکل معادلهٔ زیر بیان‌کرد:



شکل ۹.۱۳

جدول ۳.۱۳

عضو	بازو	A	B	C
زنجیر قفل شده است، به‌بازو یك دوران کامل مثبت داده می‌شود	+۱	+۱	+۱	+۱
بازو قفل شده است، به A یك دوران کامل منفی داده می‌شود	۰	−۱	$+\frac{۱۵}{۴۵}$	$+\left(\frac{۱۵}{۴۵}\times\frac{۴۵}{۱۰۵}\right)$
نتیجه	+۱	۰	$+۱\frac{۱}{۳}$	$+۱\frac{۱}{۷}$

جدول ۴.۱۴

عضو	بازو	A	B	C	D	E
زنجیر بازو قفل شده است، به بازو یک دوران مثبت داده می‌شود	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$
بازو قفل شده است، به C یک دوران منفی داده می‌شود	0	$+\left(\frac{۶۰}{۴۰}\times\frac{۴۰}{۱۲۰}\right)$	$-\frac{۱۲۰}{۶۰}$	-1	$-\frac{۱۲۰}{۶۰}$	$-\left(\frac{۱۲۰}{۶۰}\times\frac{۴۰}{۱۲۰}\right)$
نتیجه	$+1$	$+8$	$-\frac{۴}{۳}$	0	$-\frac{۴}{۳}$	$+\frac{۲}{۹}$

$$n_o = \underbrace{n_1\left(\frac{n_o}{n_1}\right)_{\substack{\text{ورودی ۲}\\ \text{ثابت شده است}}}}_{\text{I}} + \underbrace{n_2\left(\frac{n_o}{n_2}\right)_{\substack{\text{ورودی ۱}\\ \text{ثابت شده است}}}}_{\text{II}} \qquad (۴.۱۳)$$

کاربرد معادلهٔ (۴.۱۳) را می‌توان در مثال (۴.۱۳) مشاهده کرد.

مثال ۴.۱۳ در شکل ۹.۱۳ فرض کنید ورودی ۱ با سرعت ۱۲۰ r/min ccw و ورودی ۲ با سرعت ۳۶۰ r/min cw دوران می‌کند، می‌خواهیم سرعت و جهت دوران محور خروجی را تعیین کنیم.

برای به‌دست آوردن قسمت I معادلهٔ (۴.۱۳)، جدول ۵.۱۳ را تشکیل می‌دهیم. با ثابت در نظر گرفتن ورودی ۲، B و C نیز بی‌حرکت می‌شوند و باقیماندهٔ سیستم مانند یک زنجیر چرخ‌دندهٔ خورشیدی عمل می‌کند که در آن بازو نقش محرک دارد و C چرخ‌دندهٔ ثابت است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول داریم

$$\left(\frac{n_o}{n_1}\right)_{\substack{\text{ورودی ۲}\\ \text{ثابت شده است}}} = \frac{n_F}{n_{\text{بازو}}} = \frac{+\frac{۵}{۳}}{+1} = +\frac{۵}{۳}$$

سپس، برای تعیین قسمت II معادلهٔ (۴.۱۳)، دیگر هیچ گونه جدولی تشکیل نمی‌دهیم، زیرا با ثابت در نظر گرفتن ورودی ۱، باقیماندهٔ سیستم مانند یک زنجیر چرخ‌دندهٔ معمولی عمل می‌کند. در نتیجه

$$\left(\frac{n_o}{n_2}\right)_{\substack{\text{ورودی ۱}\\ \text{ثابت شده است}}} = \frac{n_F}{n_A} = \frac{۲۰}{۳۲}\times\frac{۴۸}{۲۴}\times\frac{۳۶}{۱۰۸} = +\frac{۵}{۱۲}$$

توجه داشته باشید که پاسخ به‌دست آمده دارای علامت مثبت است زیرا چرخ‌دنده‌های F و A در یک جهت دوران می‌کنند. با جایگزینی مقادیر I و II در معادلهٔ (۴.۱۳)، خواهیم داشت

$$n_o = +\frac{۵}{۳}n_1 + \frac{۵}{۱۲}n_2$$

$$= +\frac{۵}{۳}(+۱۲۰) + \frac{۵}{۱۲}(-۳۶۰)$$

$$= +۲۰۰ - ۱۵۰ = +۵۰$$

بدین ترتیب سرعت محور خروجی برابر ۵۰ r/min ccw خواهد بود.

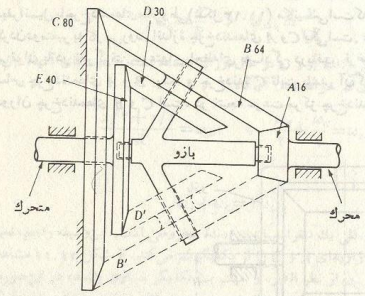
جدول ۵۰۱۳

عضو	بازو	D,E	C	F
زنجیر قفل شده است، به‌بازویک دوران مثبت داده می‌شود	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$
بازو قفل شده است، به C یك دوران منفی داده می‌شود	0	-1	$+\frac{48}{24}$	$+\left(\frac{48}{24}\times\frac{36}{108}\right)$
نتیجه	$+1$	0	$+3$	$+\frac{5}{3}$

۵۰۱۳ زنجیر چرخ‌دنده‌های مخروطی خورشیدی

از چرخ‌دنده‌های مخروطی می‌توان برای ساخت یك سیستم خورشیدی پیچیده‌تر استفاده کرد که اجازه می‌دهد تا با داشتن چند چرخ‌دندهٔ محدود، کاهش سرعت زیادی به‌وجودآید.

مثال ۵۰۱۳ در شکل ۱۵۰۱۳، A محرك و E متحرك است. C یك چرخ‌دندهٔ ثابت است و B و D چرخ‌دنده‌های مرکب هستندکه روی بازو به‌صورت آزاد گردش می‌کنند. چرخ‌دنده‌های B' و D' به‌صورت خط‌چین نشان داده شده‌اند زیرا از نظر سینماتیکی زائد هستند. می‌خواهیم رابطه‌ای میان تعداد گردشهای A و E بیابیم. به‌هنگام تشکیل جدولی برای یك سیستم خورشیدی شامل چرخ‌دنده‌های مخروطی، روش‌کار مشابه همان است که در مورد چرخ‌دنده‌های ساده گفته شد. تنها تفاوت در این است که ستونهای مربوط به‌چرخ‌دنده‌های مخروطی که محورهایشان با محورهای محرك و متحرك موازی نیست، در جدول خالی گذاشته می‌شود. این بدان‌خاطراست که جهت گردش عقربه‌های ساعت یاخلاف آن برای چنین چرخ‌دنده‌هایی بی‌معناست. نتایج حاصله در جدول ۶۰۱۳ آمده است و مشاهده می‌شود که برای هر شش دور گردش مثبت A (محرك)، E (متحرك) به‌اندازهٔ ۱/۱۶ دور مثبت می‌پیماید. بدین‌ترتیب نسبت کاهش سرعت برابر ۶ به ۱/۶ یا ۹۶ به۱ خواهدبود.



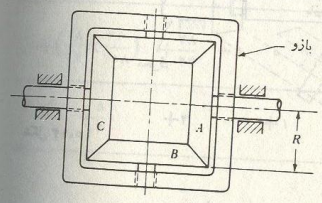
شکل ۱۵۰۱۳

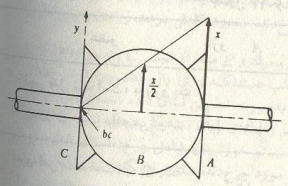
جدول ۶۰۱۳

عضو	بازو	A	B	C	D	E
زنجیر قفل شده است، به‌بازو یك دوران مثبت داده می‌شود	$+1$	$+1$	$+1$	...	$+1$	$+1$
بازو قفل شده است، به C یك دوران منفی داده می‌شود	0	$+\frac{80}{16}$	...	-1	...	$-\left(\frac{80}{64}\times\frac{35}{40}\right)$
نتیجه	$+1$	$+6$	...	0	...	$+\frac{1}{16}$

۶.۱۳ دیفرانسیل با چرخ‌دنده‌های مخروطی

دیفرانسیل باچرخ‌دنده‌های‌مخروطی(شکل۱۱.۱۳) مکانیسمی‌است که برای‌اضافه کردن‌وکم کردن‌دومتغیر به‌کار می‌رود. اندازهٔ چرخ‌دنده‌های A و C یکی‌است. عملکرد این‌مکانیسم را می‌توان با در نظرگرفتن سرعتهای لحظه‌ای به‌سادگی دریافت. فرض کنید x سرعت نقطهٔ تماس چرخ‌دنده‌های A و B بوده، و چرخ‌دندهٔ C ثابت باشد. آن‌گاه، چون bc مرکزآنی دوران چرخ‌دنده‌های B و C است، در نتیجه سرعت مرکز چرخ‌دندهٔ B، که می‌توان‌آن‌را





شکل ۱۱.۱۳

به‌صورت نقطه‌ای روی امتداد بازو نیز در نظرگرفت، $x/2$ خواهد بود. بنابراین

$$\omega_{\text{بازو}} = \frac{x}{2R} \quad \text{و} \quad \omega_A = \frac{x}{R}$$

به‌همین ترتیب، اگر چرخ‌دندهٔ A را ثابت و سرعت را y در نظر بگیریم، سرعت مرکز

چرخ‌دندهٔ B برابر $y/2$ است. پس

$$\omega_{\text{بازو}} = \frac{y}{2R} \quad \text{و} \quad \omega_C = \frac{y}{R}$$

حال، چنانچه هر دوچرخ‌دندهٔ A و C در حال‌دوران باشند، بسته به‌جهت‌های آنها، $y/2$ به $x/2$ اضافه یا ازآن‌کم خواهد شد. آن‌گاه

$$\omega_{\text{بازو}} = \frac{\omega_A}{2} + \frac{\omega_C}{2} \quad \text{یا} \quad \omega_{\text{بازو}} = \frac{x/2 + y/2}{R}$$

و

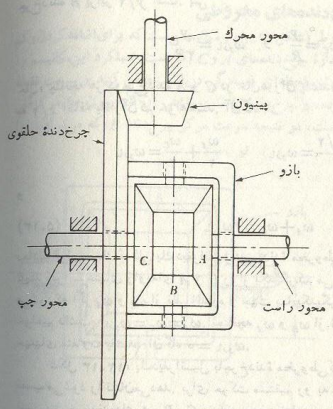
$$\omega_A + \omega_C = 2\omega_{\text{بازو}} \qquad (۵.۱۳)$$

معادلهٔ فوق، معادلهٔ کلی یك دیفرانسیل چرخ‌دندهٔ مخروطی است. این‌وسیله رادیفرانسیل نامند زیرا سرعتهای زاویه‌ای A و C را از یکدیگرکم می‌کند. از شکل ۱۱.۱۳ مشاهده می‌شودکه اگر ω_A و ω_C از نظر اندازه و جهت با یکدیگر مساوی باشند، در این‌صورت خواهیم داشت: $\omega_{\text{بازو}} = \omega_C = \omega_A$. چنانچه ω_A و ω_B از نظر اندازه مساوی ولی دارای جهتهای متفاوت باشند، آن‌گاه $\omega_{\text{بازو}} = 0$.

شکل ۱۲.۱۳، یك‌دیفرانسیل باچرخ‌دندهٔ مخروطی‌که درچرخهای عقب‌اتوموبیلها نصب می‌شود را نشان‌می‌دهد. برای حرکت مستقیم رو به‌جلوی ماشین، هیچ گونه‌حرکت نسبی بین چرخ‌دنده‌های A، B، C و بازو وجود ندارد. بدین ترتیب

$$\omega_A = \omega_C = \omega_{\text{بازو}}$$

زمانی‌که ماشین در حال دور زدن است، باید سرعت چرخ خارجی عقب افزایش یابد واز سرعت چرخ داخلی عقب نیزبه‌همان اندازه‌کاسته شود تا لاستیکهای اتوموبیل روی‌زمین نلغزند. از معادلهٔ (۵.۱۳) مشاهده می‌شودکه برای یك مقدار مفروض $\omega_{\text{بازو}}$، اگر ω_A افزایش یابد، ω_C به‌همان اندازه‌کاهش خواهد یافت. بدین‌ترتیب دیفرانسیل به‌طورخودکار به‌یکی از چرخهای عقب دستور کاهش سرعت و به‌دیگری فرمان افزایش سرعت می‌دهد. چنانچه چرخ متصل به‌چرخ‌دندهٔ C روی زمین خشك و چرخ متصل به‌چرخ‌دندهٔ A روی یخ قرارگیرد، چرخ اولی ثابت باقی می‌ماند درحالی‌که چرخ دیگر با دوبرابر سرعت بازو به‌گردش در خواهدآمد. گشتاورهای اعمال‌شده به‌محورهای A و C باید همواره مساوی یکدیگر باشند. چون عملاً هیچ گشتاوری روی محور A وجود ندارد، درنتیجه هیچ گونه گشتاوری روی محور C نیز ایجاد نمی‌شود. بدین ترتیب ماشین از جای خود حرکت نخواهدکرد.



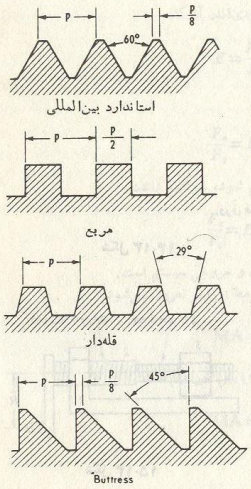
شکل ۱۳.۱۳

۷.۱۳ پیچ‌های انتقال

پیچها، پیچهای کلاهک‌دار و پیچهای قلمی، اجزایی هستند رزوه‌دار که برای گیرداندن دو عضو به‌یکدیگر ازآنها استفاده می‌شود. این پیچها برای ایجاد حرکت نیز به‌کارمی‌روند، که در این‌صورت به‌آنها پیچهای انتقال گویند. از رزوه SI (استاندارد بین‌المللی) که در شکل ۱۳.۱۳ نشان داده شده است در گیره‌های پیچی استفاده می‌شود سایر انواع رزوه برای پیچهای انتقال به‌کار می‌روند.

گام و جلوبر یك پیچ دارای همان تعاریف و مفاهیم پیشتر بیان شده برای یك حلزون است. فرض می‌شود که پیچ همواره راستگرد و تك‌راهه است. مگرآنکه‌به‌صراحت غیر از این‌گفته شود. برس شکل ۱۴.۱۳ دارای یك پیچ تك راهه با گام ۶mm است. برای یك دور دوران چرخ‌دستی در جهت گردش عقربه‌های ساعت، وقتی‌که از بالا به‌آن نگاه شود، ورق فشاردهنده به‌اندازهٔ ۶mm نسبت به‌قاب ساکن جابجا می‌شود.

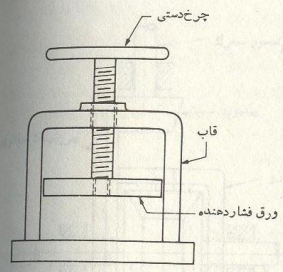
یك پیچ مرکب از دو پیچ تشکیل می‌شود، که به‌گونه‌ای قرار گرفته‌اند که حرکت



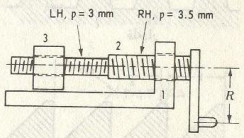
شکل ۱۳.۱۳

حاصله برابر مجموع حرکات هر پیچ باشد. درشکل ۱۵.۱۳، گام پیچ بزرگ ۳٫۵mm، وگام پیچ کوچك‌معادل ۳mm است. برای یك‌دور گردش لنگ درجهت حرکت‌عقربه‌های ساعت، وقتی که از طرف راست به‌آن نگاه شود، پیچ به‌میزان ۳٫۵mm نسبت به‌قاب ساکن به‌طرف چپ حرکت می‌کند، و مهرهٔ ۳ به‌اندازهٔ ۳mm نسبت به‌پیچ به‌سمت‌چپ خواهد لغزید. حرکت نهایی مهره نسبت به‌قاب برابر ۶٫۵mm = ۳ + ۳٫۵ رو به چپ است.

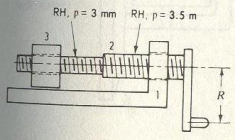
یك پیچ دیفرانسیل از دو پیچ تشکیل می‌شودکه به‌گونه‌ای قرارگرفته‌اندکه‌حرکت نهایی برابر اختلاف حرکت آنهاست. فرض‌کنید به‌لنگ شکل ۱۶.۱۳ یك دور گردش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت داده شود (وقتی‌که از طرف راست به‌آن نگاه شود). در این‌صورت پیچ به‌میزان ۳٫۵mm نسبت به‌قاب ساکن به‌سمت‌چپ جابجا می‌شود، ومهره



شکل ۱۴۰۱۳



شکل ۱۵۰۱۳



شکل ۱۶۰۱۳

۳mm نسبت به‌پیچ به‌طرف راست می‌لغزد. حرکت نهایی مهره نسبت به قاب برابر ۰٫۵mm = ۳ − ۳٫۵ به‌سمت چپ خواهد بود.

۸.۱۳ مزیت مکانیکی

فرض کنید شکل ۱۷.۱۳ به‌طور شماتیک یك مکانیسم دلخواه را نشان دهد، و s_i و s_o به‌ترتیب بیانگر میزان جابجایی نیروی ورودی F_i و نیروی خروجی F_o باشند. بازده E به‌صورت زیر تعریف می‌شود

$$E = \frac{W_o}{W_i}$$

که در آن W_o و W_i کار خروجی و کار ورودی‌اند. آن‌گاه

$$E = \frac{F_o s_o}{F_i s_i}$$

یا

$$\frac{F_o}{F_i} = E\frac{s_i}{s_o} \qquad (۶.۱۳)$$

چنانچه صورت و مخرج کسر بر زمان تقسیم شود، خواهیم داشت

$$\frac{F_o}{F_i} = E\frac{V_i}{V_o} \qquad (۷.۱۳)$$

که در آن V_i و V_o سرعت نیروهای ورودی و خروجی سیستم است.
مزیت مکانیکی (MA) یك مکانیسم مطابق زیر تعریف می‌شود:

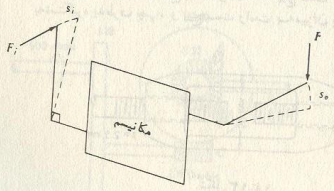
$$\mathrm{MA} = \frac{F_o}{F_i} \qquad (۸.۱۳)$$

در این‌صورت از معادله‌های (۶.۱۳) تا (۸.۱۳) خواهیم داشت

$$\mathrm{MA} = E\frac{s_i}{s_o} \qquad (۹.۱۳)$$

و

$$\mathrm{MA} = E\frac{V_i}{V_o} \qquad (۱۰.۱۳)$$



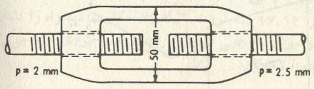
شکل ۱۷۰۱۳

چنانچه اصطکاك نباشد، بازده برابر ۱٫۰۰ خواهد بود. چون تأثیر اصطکاك را نمی‌توان از نظر کمی بدون داشتن ابعاد میله‌ها و اتصالها تعیین کرد، در نتیجه در مراحل اولیه طراحی یك مکانیسم معمولاً آن‌را در نظر نمی‌گیرند. در مسائل، بازده برابر ۱٫۰۰ در نظر گرفته می‌شود مگر اینکه خلاف آن عنوان شود. در مکانیسمهایی که نسبت s_i/s_o ثابت است، معادلهٔ (۹.۱۳) برای تعیین مزیت‌مکانیکی مناسب خواهد بود. برای‌بسیاری از مکانیسمها، نسبت s_i/s_o متغیر است. در این صورت مزیت مکانیکی برای هر فاز مورد نظر از مکانیسم را می‌توان با تحلیل سرعت برای آن فاز و جایگزینی مقادیر V_i و V_o در معادلهٔ (۱۰.۱۳) تعیین کرد.

مثال ۶.۱۳ می‌خواهیم مزیت مکانیکی پیچ قلابدار شکل ۱۸.۱۳ را در دو حالت زیر به‌دست آوریم: اول، پیچها در دو جهت مختلف‌اند و، دوم، در صورتی که هر دو در یك جهت گردش کنند. نیروی ورودی، عمود بر صفحهٔ کاغذ و مماس بر دستگیره، در یك شعاع ۲۵ میلی‌متری عمل می‌کند. اگر به‌دستگیره یك دور گردش کامل درخلاف‌جهت‌حرکت عقربه‌های‌ساعت‌داده‌شود (وقتی که ازطرف‌راست‌نگریسته شود)، این نیرو فاصلهٔ $s_i = 2\pi R = 2\pi(25) = 157\text{mm}$ را خواهد پیمود. چنانچه پیچ سمت چپ از نوع چپگرد باشد، به‌اندازهٔ ۲mm نسبت به‌دستگیره به‌طرف راست حرکت خواهد کرد. در صورتی که پیچ سمت راست از نوع راستگرد باشد، به‌میزان۲٫۵mm نسبت‌به‌دستگیره به‌طرف‌چپ خواهد رفت. نیروی‌خروجی در راستای محور پیچها عمل می‌کند و به‌اندازهٔ تغییر فاصلهٔ بین دو انتهای پیچها جابجا می‌شود. درنتیجه $s_o = 2 + 2.5 = 4.5\text{ mm}$. بنابراین از معادلهٔ (۹.۱۳) خواهیم داشت

$$\text{MA} = E\frac{s_i}{s_o} = (1)\frac{157}{4.5} = 34.9$$

در صورتی که هر دو پیچ راستگرد باشند، پیچ سمت چپ به‌اندازهٔ ۲mm نسبت به‌دستگیره به‌طرف چپ، و پیچ سمت راست به‌میزان ۲٫۵mm نسبت به‌دستگیره



شکل ۱۸.۱۳

به‌طرف چپ حرکت خواهدکرد. در نتیجه، تغییر فاصلهٔ بین دو انتهای پیچ عبارت است از

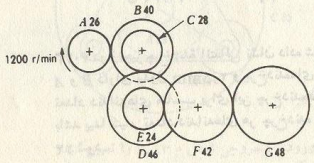
$$s_o = 2.5 - 2 = 0.5\text{mm}$$

بنابراین

$$\text{MA} = (1)\frac{157}{0.5} = 314$$

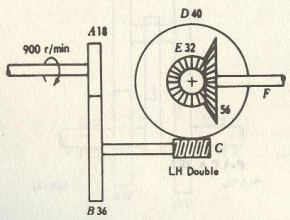
مسائل

۱۰۱۳ اندازه و جهت گردش چرخ‌دندهٔ G در زنجیر چرخ‌دندهٔ نشان داده شده در شکل م ۱.۱۳ را برحسب دور در دقیقه پیدا کنید.



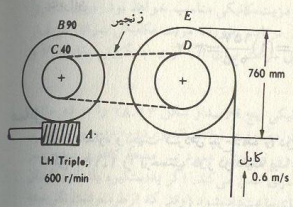
شکل م ۱.۱۳

۲.۱۳ اندازه گردش چرخ‌دندهٔ F شکل م۲.۱۳ را برحسب دور در دقیقه پیدا کنید. جهت دوران، وقتی که از طرف راست نگریسته شود، را بیابید.



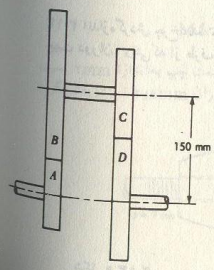
شکل م ۲.۱۳

۳۰۱۳ تعداد دندانه‌های موجود روی چرخ‌زنجیر D در شکل م ۳۰۱۳ را، اگر سرعت کابل تقریباً $2\ ft/s$ باشد، پیدا کنید. همچنین جهت گردش A، وقتی که از طرف راست نگریسته شود، را بیابید.



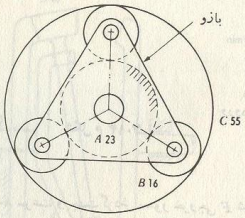
شکل م ۳۰۱۳

۴۰۱۳ در زنجیر چرخ‌دندهٔ انتقالی نشان داده شده درشکل م ۴۰۱۳، چرخ‌دنده‌های A و B دارای مدول $2.5\ mm$ وچرخ‌دنده‌های C و D دارای مدول ۲میلیمتراند. تعداد دندانه‌های مناسب برای این چرخ‌دنده‌ها را اگر نسبت‌سرعت تقریباً ۱۱٫۴ باشد پیدا کنید. تعداد دندانه‌های هر چرخ‌دنده باید حداقل باشد، ولی نبایدکمتراز ۲۴ شود.



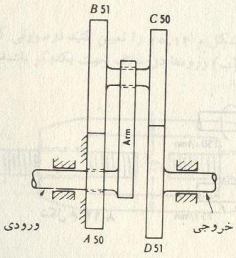
شکل م ۴۰۱۳

۵۰۱۳ مکانیسم بالابرندهٔ سرعت جعبه‌دندهٔ یك اتوموبیل در شکل م ۵۰۱۳ نشان داده شده است. زمانی که این مکانیسم در حالت «درگیر» باشد، بازو قدرت را از موتورمی گیرد و باسرعت موتور دوران می کند. چرخ‌دندهٔ A ثابت‌است. چرخ‌دندهٔ داخلی C مستقیماً بهمیل‌گاردان اتوموبیل متصل است و همراه با آن گردش‌می کند. نسبت تبدیل محور عقب برابر ۳٫۵، و قطر خارجی لاستیکها $27\ in$ است. اگر ماشین با سرعت $60\ m/h$ حرکت‌کند، سرعت موتور را تعیین کنید وقتی که(الف) بالابرندهٔ سرعت جعبه‌دنده در حالت «درگیر» (ارتباط مستقیم موتوربادیفرانسیل) نباشد، و (ب) بالابرندهٔ سرعت جعبه‌دنده در حالت «درگیر» باشد.



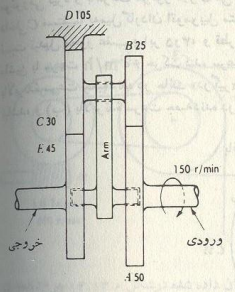
شکل م ۵۰۱۳

۶۰۱۳ کاهش سرعت بین محورهای ورودی وخروجی شکل م ۶۰۱۳ را تعیین کنید. درصورتی که محور ورودی در جهت گردش عقربه‌های ساعت حرکت کند، وقتی که از طرف راست به‌آن نگریسته شود، جهت دوران محور خروجی را پیدا کنید.



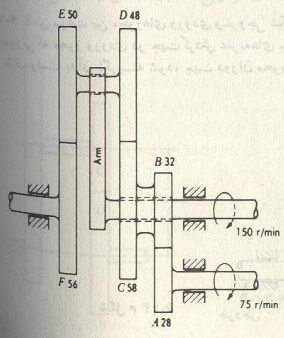
شکل م ۶۰۱۳

✓ **۷.۱۳** سرعت و جهت گردش محور خروجی شکل م ۷.۱۳ را وقتی که از طرف راست به‌آن نگریسته شود تعیین کنید.



شکل م ۷.۱۳

✓ **۸.۱۳** سرعت و جهت گردش محور خروجی F شکل م ۸.۱۳ را پیدا کنید.

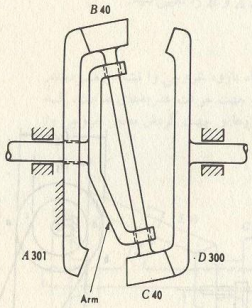


شکل م ۸.۱۳

۹.۱۳ در زنجیر چرخ‌دندهٔ شکل م ۹.۱۳، چرخ‌دندهٔ A ثابت، بازو محرك، و چرخ‌دندهٔ D عضو متحرك است.

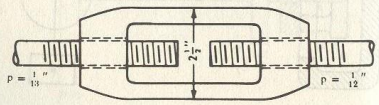
(الف) کاهش سرعت زنجیر چرخ‌دنده را تعیین کنید. اگر بازو در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت دوران کند، وقتی که از طرف راست به‌آن نگریسته شود، جهت گردش چرخ‌دندهٔ D را تعیین کنید.

(ب) مشابه مورد (الف)، با این تفاوت که شمارهٔ دندانه‌های چرخ‌دنده‌های A و D با یکدیگر جابجا شوند.



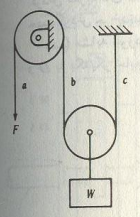
شکل م ۹.۱۳

۱۰.۱۳ مزیت مکانیکی پیچ قلابدار شکل م ۱۰.۱۳ را تعیین کنید درصورتی که (الف) رزوه‌ها دریك جهت باشند و (ب) رزوه‌ها در خلاف جهت یکدیگر باشند.

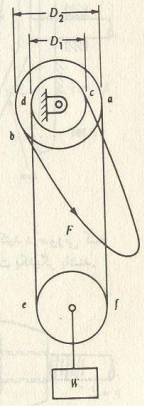


شکل م ۱۰.۱۳

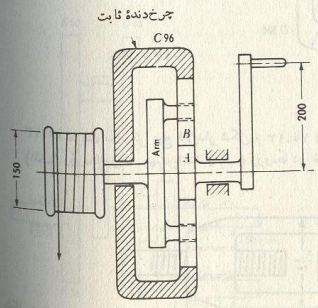
۱۱۰۱۳ مزیت مکانیکی سیستم قرقره نشان داده شده در شکل م ۱۱۰۱۳ را تعیین کنید. راهنمایی: اگربار W به‌اندازهٔ ۱ ft به‌سمت‌بالا حرکت کند، نیروی اعمال‌شده F چه‌اندازه جابجا خواهد شد؟



شکل م ۱۱۰۱۳



شکل م ۱۲۰۱۳

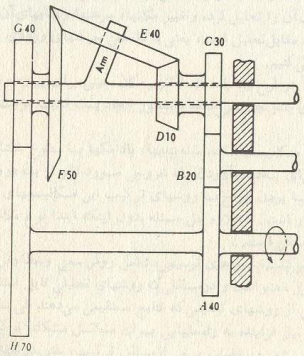


شکل م ۱۳۰۱۳

۱۲۰۱۳ مزیت مکانیکی بالابر نشان داده شده در شکل م ۱۲۰۱۳ را بیابید. دو قرقرهٔ D_1 و D_2 به‌صورت یك واحد عمل می‌کنند. یك حلقه بستهٔ سیمی با نخی در نقطهٔ a از روی قرقرهٔ بزرگتر عبور می‌کند، در نقطهٔ b از آن جدا می‌شود، در نقطهٔ c روی قرقرهٔ کوچکتر انتقال می‌یابد، و در نقطهٔ d از آن جدا می‌شود. راهنمایی: برای یك دور گردش قرقره‌های بالابی، مسافت حرکت نیروی اعمال‌شدهٔ F و میزان کوتاه‌شدگی حلقهٔ $defa$ را پیدا کنید؛ آن‌گاه مقدار حرکت رو به‌بالای W را حساب کنید.

۱۳۰۱۳ مزیت مکانیکی بالابر نشان داده شده در شکل م ۱۳۰۱۳ برابر ۲۴ است. تعداد دندانه‌های موجود روی چرخ‌دنده‌های A و B را تعیین کنید.

۱۴۰۱۳ در شکل م ۱۴۰۱۳، محور به‌همراه بازو، خروجی را تشکیل می‌دهند. برای یك دور گردش محور پایینی در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت، که شامل چرخ‌دنده‌های A و H است، تعداد دورها و جهت گردش محور خروجی را تعیین کنید.



شکل م ۱۴۰۱۳

۱۵.۱۳ در مسئلهٔ ۷.۶، مزیت مکانیکی مکانیسم را در فاز نشان داده شده بیابید. در تحلیل خود از سرعتها استفاده کنید، و توجه داشته باشید که سرعت ورودی در نقطهٔ P_2 عمل می‌کند درحالی که سرعت خروجی در نقطهٔ P_4 اعمال می‌شود.

۱۶.۱۳ در مسئلهٔ ۱۵.۶، مزیت مکانیکی مکانیسم را در فاز نشان داده شده تعیین کنید. در تحلیل خود ازسرعتها استفاده کنید، و توجه داشته باشید که سرعت‌ورودی در نقطهٔ B عمل می‌کند درحالی که سرعت خروجی در نقطهٔ E اعمال می‌شود.

۱۴

ترکیب مکانیسمها

۱.۱۴ مقدمه

ترکیب، طرح کردن یك مکانیسم است برای ایجاد حرکت خروجی موردنظر به‌ازای یك حرکت ورودی معین. تابه‌حال مکانیسمهارا تحلیل کرده‌ایم؛ یعنی بافرض کردن یك‌مکانیسم با نسبتهای معین، حرکت‌آن را تحلیل کرده وتغییر مکانها، سرعتها وشتابهای‌آن رابه‌دست آورده‌ایم. ترکیب نقطهٔ مقابل‌تحلیل است، یعنی با دانستن حرکتهای ورودی وخروجی، مکانیسم لازم را تعیین می‌کنیم.

این روش را قبلاً درطرح یك بادامك با تغییر مکان معینی برای پیرو، ونیزدرتعیین تعداد دندانه‌های اعضای یك‌زنجیر چرخ‌دنده به‌منظور ایجاد یك نسبت سرعت موردنظر به‌کار بردیم.

از انواع مختلف مکانیسمها مانند میله‌بندیها، بادامکها یا سطوح غلتشی، شامل چرخ‌دنده‌ها، می‌توان برای به‌دست‌آوردن یك خروجی مورد نظر از یك ورودی معین استفاده کرد. بنابراین آشنا بودن طراح با روشهای ترکیب این مکانیسمهای مختلف از اهمیت بسزایی برخوردار است. به‌علاوه حل مسئله بدون اینکه ابتدا نوع مکانیسم مورد استفاده را فرض کنیم ناممکن است.

درمراحل اولیهٔ ترکیب، شیوه‌های ترسیمی، شامل روش سعی وخطا وبررسی‌حاکم بود. چنین‌شیوه‌هایی هنوز معتبراست و درمسائلی که روشهای تحلیلی قابل استفاده‌نیست، به‌کار می‌روند. از برخی از روشهای ترسیمی که نتایج مستقیمی می‌دهند طی سالیان دراز استفاده شده است، اما نیاز فزاینده به راه‌حلهایی برای مسائل مشکلتر ترکیب، منجر به‌توسعهٔ روشهای تحلیلی شد. ریاضیات برخی ازمسائل ترکیب، حتی در چهار میله‌ایها