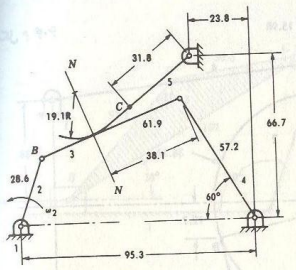
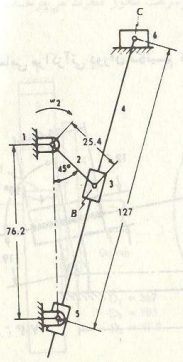
✓ ۸.۴ تمامی مراکزآنی دوران مکانیسم نشان داده شده درشکل م ۸.۴ را به‌دست‌آورید.



شکل م ۸.۴

۹.۴ تمامی مراکزآنی دوران مکانیسم نشان داده شده درشکل م ۹.۴ را به‌دست‌آورید.



شکل م ۹.۴

۵

تعیین سرعتها توسط مرکزآنی دوران ومؤلفه‌ها

۱.۵ مقدمه

دراین فصل دو روش برای تعیین سرعت خطی نقاط روی یک مکانیسم ارائه خواهد شد. در روش اول از مراکز آنی دوران استفاده می‌کنیم و روش دوم شامل تجزیهٔ بردارهای سرعت به‌مؤلفه‌هایشان است.

۲.۵ تعیین سرعت خطی توسط مراکز آنی دوران

هنگام یافتن سرعت خطی به‌روش مراکزآنی دوران باید اصول زیر را به‌خاطر سپرد:

۱. اندازهٔ سرعت خطی نقاط جسم درحال دوران نسبت مستقیم با شعاع دوران‌آن نقاط دارد. شعاع دوران یک‌نقطه، فاصلهٔ‌آن نقطه‌ازمرکزآنی دوران متصل به‌زمین است که میلهٔ شامل نقطهٔ فوق حول‌آن می‌چرخد.

۲. سرعت خطی یک‌نقطه عمود برشعاع دوران آن‌نقطه است.

۳. مرکزآنی دوران، نقطه‌مشترکی از دوجسم است که راستا و اندازهٔ سرعت‌خطی آن در هر دو جسم یکسان است.

۳.۵ سرعتها دریک چهارمیله‌ای

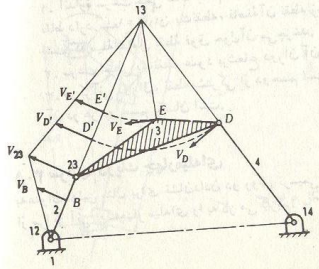
به‌عنوان اولین مثال برای نشان‌دادن دو روش ترسیمی تعیین سرعتهای خطی با استفاده از مراکز آنی، یک‌چهار میله‌ای را به‌کار می‌گیریم.

روش دوران شعاع

در مکانیسم شکل ۱.۵، فرض کنید سرعت نقطهٔ B معلوم باشد و بخواهیم سرعتهای خطی نقاط ۲۳، D و E را بیابیم. نقاط B و ۲۳ نقاطی از میلهٔ ۲ هستندکه حول مرکز آنی ۱۲ متصل به‌زمین درحال دوران است. سرعت V_{23} باید امتدادی عمود بر شعاع دوران خود یعنی ۲۳-۱۲ داشته باشد. بنابراین امتداد آن مشخص است. اگر خطی ازنقطهٔ ۱۲ به‌نوک‌بردار V_B رسم کنیم، محل تلاقی این‌خط با خط عمودگذرا ازنقطهٔ ۲۳، اندازهٔ‌بردار V_{23} را تعیین می‌کند. از مثلثهای متشابه داریم

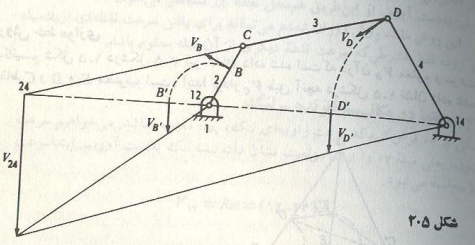
$$\frac{V_{23}}{12\text{-}23} = \frac{V_B}{12\text{-}B}$$

این رابطه بیان می‌کندکه سرعتهای خطی نقاط جسم در حال دوران نسبت مستقیم با شعاع دوران‌آن نقاط دارد. برای یافتن V_{23}، نقطهٔ ۲۳ را روی میلهٔ ۲ درنظر می‌گیریم. اگر این نقطه را روی میلهٔ ۳ فرض‌کنیم، سرعت نقطهٔ D را می‌توان به‌دست آورد. از آنجا که میلهٔ ۳ حول مرکزآنی دوران ۱۳ متصل به زمین می‌چرخد، بنابراین شعاع آنی دوران نقاط ۲۳ و D به‌ترتیب طولهای ۲۳-۱۳ و D-۱۳ است. مثلثهای متشابه شامل این شعاعها را می‌توان به‌وجود آورد. این‌کار با دوران شعاع D-۱۳ حول نقطهٔ ۱۳ تا رسیدن به‌شعاع ۲۳-۱۳ صورت می‌گیرد. بنابراین D'-۱۳ شعاع آنی نقطهٔ D بعداز دوران آن است وخط عمود بر D'-۱۳ درنقطهٔ D'، راستای سرعت نقطهٔ D' را تعیین می‌کند. خط رسم شده از ۱۳ به‌نوک V_{23}، اندازهٔ $V_{D'}$ را مشخص می‌کند. V_D دارای همان اندازهٔ $V_{D'}$ است اما راستای آن باید به‌صورت عمود بر شعاع آنی D-۱۳ درآید. به‌همین‌ترتیب سرعت نقطهٔ E با دوران شعاع آنی E-۱۳ و تعیین نقطهٔ E' روی شعاع آنی ۲۳-۱۳ به‌دست‌می‌آید. بردار $V_{E'}$ بیانگر سرعت نقطهٔ E است زمانی که درموقعیت



شکل ۱.۵

چرخانده شدهٔ E' قرارگیرد. پس اندازهٔ V_E برابر $V_{E'}$ و راستای آن عمود بر شعاع آنی E-۱۳ است.



شکل ۲.۵

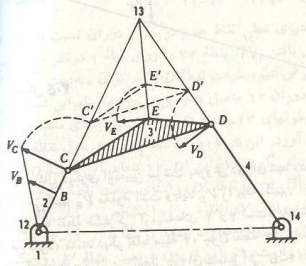
مثال دیگری ازتعیین سرعت به‌روش دوران شعاع‌درشکل ۲.۵ نشان‌داده شده است. فرض می‌کنیم V_B معلوم است وباید V_D را پیدا کنیم. ابتدا باید سرعت مرکز آنی‌دوران ۲۴ را که نقطهٔ مشترکی ازمیله‌های ۲ و۴ است، به‌دست آوریم. اگر ۲۴ روی میلهٔ ۲ فرض شود، مانند دیگر نقاط میلهٔ ۲، چون نقطهٔ ۱۲ متصل به‌زمین دوران می‌کند وشعاع آنی آن ۲۴-۱۲ است. بعداز دوران شعاع آنی B-۱۲ تا امتداد شعاع آنی ۲۴-۱۲، خط‌سنجه‌ای‌که از ۱۲ به‌نوک بردار V_B رسم شود، اندازهٔ V_{24} را تعیین می‌کند. حال مرکز آنی دوران ۲۴ را نقطه‌ای ازمیلهٔ ۴ فرض می‌کنیم، نقاط ۲۴ و D از میلهٔ ۴ در حال دوران حول مرکز آنی دوران ۱۴ متصل به‌زمین هستند. بنابراین سرعت آنهانسبت مستقیم باشعاع دوران ۲۴-۱۴ وD-۱۴ دارد. خط سنجهٔ رسم شده از ۱۴ به‌نوک V_{24}، اندازهٔ $V_{D'}$ را به‌گونه‌ای‌که درشکل نشان داده شده است، تعیین می‌کند. V_D نیز دارای همان اندازهٔ $V_{D'}$ است اما راستایی عمود برشعاع آنی D-۱۴ دارد.

باید توجه شودکه روش تعیین سرعت به‌وسیلهٔ دوران شعاع آنی یك‌نقطه ورسیدن به‌خط شعاع آنی نقطهٔ دیگر، فقط وقتی‌که دونقطه متعلق به یك میله باشند، قابل‌کاربرد است. مثلاً درشکل ۱.۵، سرعت V_B معلوم است و می‌خواهیم سرعت نقطهٔ D را که می‌تواند روی میلهٔ ۳ فرض شود، به‌دست آوریم. ابتدا لازم است‌که سرعت نقطهٔ‌مشترك روی میله‌های ۲ و ۳ (نقطهٔ ۲۳) را بیابیم. چنین نقطه‌ای نقطهٔ انتقال نامیده می‌شود. بطور مشابه، درشکل ۲.۵، هنگام یافتن V_D، چون نقاط B و D روی یك‌میله نیستند

بلکه روی میله‌های ۲ و ۴ قرار دارند (نقطهٔ D روی میلهٔ ۳ یا میلهٔ ۴ است)، پس باید سرعت نقطهٔ مشترک میله‌های۲ و ۴ که به‌آن مرکزآنی دوران ۲۴ می گوییم، را به‌دست آوریم. بنابراین ازنقطهٔ ۲۴ به‌عنوان یك‌نقطهٔ انتقال استفاده شده است.

روش خط موازی

مکانیسم شکل ۱.۵ درشکل ۳.۵ نیز نشان داده شده است که درآن V_B معلوم و سرعت نقاط C و D و E مطلوب است. ابتدا بردار V_C طبق آنچه درشکل ۱.۵ نشان داده شده



شکل ۳.۵

است، تعیین می‌شود. سپس V_C تا خط C-۱۳، یعنی شعاع آنی نقطهٔ C، دوران داده می‌شود. ازنقطهٔ C' خطی به‌موازات خط CE رسم می‌شود. محل تلاقی این خط باخط E-۱۳، نقطهٔ E' است. بدین‌ترتیب خط $C'E'$ موازی با قاعدهٔ مثلث $13CE$ است. از قضیهٔ هندسی‌که بیان می کند خط موازی با قاعدهٔ یك مثلث اضلاع جانبی آن مثلث را به‌نسبت تقسیم می کند استفاده می کنیم وخواهیم داشت:

$$\frac{CC'}{C\text{-}13}=\frac{EE'}{E\text{-}13} \qquad \text{یا} \qquad \frac{V_C}{C\text{-}13}=\frac{V_E}{E\text{-}13}$$

که ارضاءکننده این‌قانون است که سرعتهای خطی نقاط جسم درحال دوران نسبت مستقیم باشعاع دوران آنها دارد. درشکل، بردار V_E با چرخاندن EE' تا موقعیت عمود بر شعاع E-۱۳ به‌دست می‌آید.

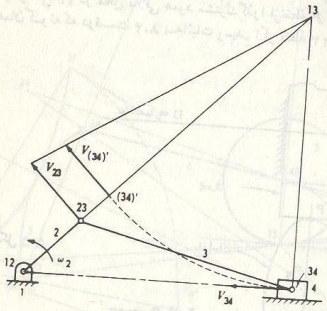
برای‌یافتن V_D درشکل ۳.۵، روش فوق تکرار می‌شود. V_E تا شعاع آنی E-۱۳ دوران داده می‌شود. سپس از E' خط $E'D'$ به‌موازات ED رسم می‌شود. طول DD' بیانگر اندازهٔ V_D است. توجه داریم‌که V_D را می‌توان با رسم‌خطی از C' به‌موازات CD نیز به‌دست آورد. از این‌طریق هم‌محل نقطهٔ D' مشخص می‌شود.

این روش مانند روش دوران شعاع می‌تواند برای یافتن سرعت نقطه‌ای ازیك‌میله به‌کار رود، فقط به‌شرطی‌که سرعت نقطهٔ دیگری از آن میله معلوم باشد.

۴.۵ سرعتها در مکانیسم لغزنده ـ لنگ

درشکل ۴.۵، فرض کنید‌که سرعت زاویه‌ای لنگ، ω_2، معلوم باشد. می‌خواهیم سرعت پیستون، یعنی میلهٔ ۴، را برای موقعیت نشان داده شدهٔ لنگ به‌دست آوریم. ابتدا سرعت V_{23} محاسبه می‌شود.

$$V_{23}=R\omega=(12\text{-}23)\omega_2$$



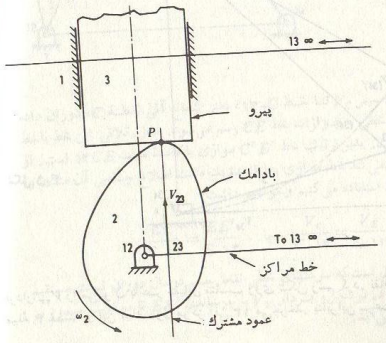
شکل ۴.۵

بردار V_{23} را می‌توان با هر مقیاس مناسب روی شکل رسم کرد. نقاط ۲۳ و ۳۴ روی میلهٔ ۳ هستند و این میله حول مرکز آنی ۱۳ می‌چرخد. بنابراین سرعت آنها متناسب با

شعاع آنی آنها یعنی ۲۳–۱۳ و ۳۴–۱۳ است. با دوران شعاع ۳۴–۱۳ تا خط شعاع ۲۳–۱۳، می‌توان $V_{(34)'}$ را به‌گونه‌ای که درشکل آمده است، به‌دست آورد. اینك باید V_{34} را عمود بر شعاع آنی دوران ۳۴–۱۳ رسم کرد. مقدار V_{34} برابر مقدار $V_{(34)'}$ است. چون ۳۴ نقطه‌ای روی میله‌های ۳ و ۴ است، بنابراین سرعت پیستون و سرعت نقطه‌ای روی‌میلهٔ ۳ همانند و برابر V_{34} خواهد بود.

۵.۵ سرعتها در مکانیسم بادامك

درشکل ۵.۵، سرعت زاویه‌ای بادامك یعنی ω_2 معلوم است ومی‌خواهیم سرعت پیرو را درموقعیت نشان داده‌شده درشکل به‌دست‌آوریم. ابتدا مراکز آنی دوران تعیین می‌شوند. میله‌های ۱، ۲ و ۳ یك مکانیسم تماس مستقیم را تشکیل می‌دهند. مراکز دوران میله‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب مراکزآنی دوران ۱۲ و ۱۳ هستندکه‌مرکز ۱۳ در بینهایت و روی‌خطی عمود بر راستای حرکت پیرو قرار دارد. خطی که این مراکز دوران را به‌هم وصل‌می کند درشکل، خط مراکز نامگذاری شده است. چون نقطهٔ تماس P روی خط مراکز نیست، پس اجسام ۲ و ۳ تماس لغزشی دارند، که درقسمت ۱۵.۲ توضیح داده شده است. بنابراین مرکز آنی ۲۳ در محل تلاقی عمود مشترك گذرا ازنقطهٔ P و خط مراکز قرار می گیرد، همان‌گونه که درقسمت ۸.۴ به‌اثبات رسید. اگر نقطهٔ ۲۳ روی جسم ۲ فرض شود،



شکل ۵.۵

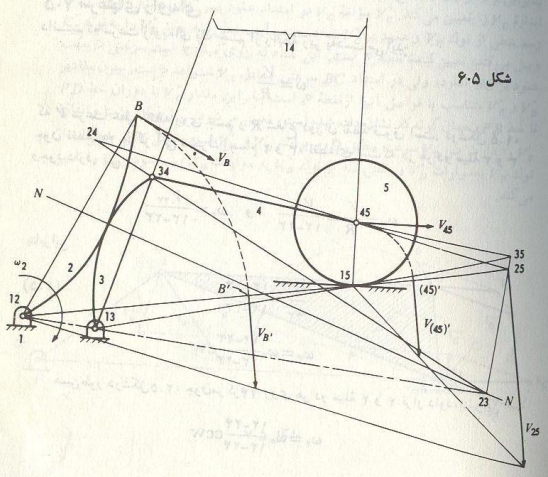
سرعت‌آن، V_{23}، عمود بر ۲۳–۱۲، که شعاع آنی نقطهٔ ۲۳ است، خواهد بود. اندازهٔ آن نیز برابر است با

$$V_{23} = R\omega = (12\text{–}23)\omega_2$$

طبق تعریف مرکز آنی دوران، ۲۳ به‌میلهٔ ۳ نیز متعلق است. از آنجا که پیرو حرکت انتقالی مستقیم‌الخط دارد، تمامی نقاط روی پیرو همان سرعت V_{23} را خواهند داشت.

۶.۵ سرعتها دریك میله‌بندی مرکب

مکانیسمها را می‌توان به‌صورت مکانیسمهای ساده ومکانیسمهای مرکب تقسیم‌بندی کرد. مکانیسم ساده شامل سه یا چهار میله است. بقیه مکانیسمها یا آنها که شامل بیش‌از چهار میله هستند، مکانیسمهای مرکب‌اند. مکانیسمهای مرکب معمولاً از ترکیب مکانیسمهای



شکل ۶.۵

ساده به‌وجود می‌آیند. مکانیسم شکل ۱۶.۴ که دوباره درشکل ۶.۵ رسم شده مثالی از یك مکانیسم مرکب است که از ترکیب مکانیسمی ساده شامل میله‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ به‌وجود می‌آید.

درشکل ۶.۵ فرض کنید سرعت نقطهٔ B روی میلهٔ ۲ معلوم و سرعت نقطهٔ ۴۵ در میلهٔ ۵ مجهول است. تحلیل به‌کار رفته دراین‌قسمت مشابه است با آنچه که درشکل۲.۵ و درقسمت ۳.۵ بیان شد. ابتدا باید سرعت نقطهٔ انتقال (مرکز آنی دوران ۲۵) که نقطهٔ مشترك میله‌های۲ و ۵ است، را به‌دست آوریم. اگرنقطهٔ فوق روی میلهٔ ۲ باشد،شعاع آنی دوران آن۲۵-۱۲ است. بنابراین خط‌سنجهٔ رسم‌شده ازمرکز ۱۲ تا نوك V_B، اندازهٔ سرعت V_{25} را تعیین می‌کند. اگر مرکز ۲۵ روی میلهٔ ۵ باشد، شعاع آنی آن۲۵-۱۵ خواهد بود و خط‌سنجهٔ رسم‌شده از ۱۵ به‌نوك V_{25}، اندازهٔ $V_{(45)'}$ را تعیین می‌کند. V_{45} همان اندازهٔ $V_{(45)'}$ را دارد ولی راستای آن عمود برخط ۴۵-۱۵ است که شعاع آنی نقطهٔ ۴۵ محسوب می‌شود.

۷.۵ سرعتهای زاویه‌ای

دانستیم که سرعت زاویه‌ای یك جسم از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\omega = \frac{V}{R}$$

که V سرعت خطی نقطه روی جسم و R شعاع دوران نقطهٔ فوق است. درشکل ۱.۵، چون نقطهٔ ۲۳ مرکز آنی مشترك اجسام ۲ و ۳، نقطه‌ای است که در هر دو میلهٔ ۲ و ۳ وجود دارد. پس

$$\omega_2 = \frac{V_{23}}{13-23} \quad \text{و} \quad \omega_3 = \frac{V}{R} = \frac{V_{23}}{12-23}$$

بنابراین

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{13-23}{12-23} \qquad (1.5)$$

و

$$\omega_2 = \omega_3 \frac{12-23}{13-23} \text{CW}$$

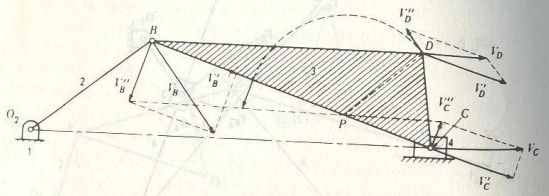
همین‌طور درشکل۲.۵، چون‌مرکز۲۴ روی هر دو میلهٔ ۲ و ۴ قرار دارد،بنابراین

$$\omega_4 = \omega_2 \frac{12-24}{14-24} \text{CCW}$$

از معادلهٔ (۱.۵) می‌توان نتیجه گرفت که نسبت سرعت زاویه‌ای هر دو میله از یك مکانیسم برابر است با عکس فواصل مراکز آنی دوران متصل به‌زمین، که میله‌ها حول آنها می‌چرخند، از مرکز آنی دوران مشترك بین آن دو میله.

۸.۵ تعیین سرعت توسط مؤلفه‌ها

تحلیل سرعت میله‌بندیها توسط مؤلفه‌ها شامل تجزیهٔ بردارهای سرعت به‌مؤلفه‌های مناسب است به‌طوری که انتقال و دوران میله‌های مختلف را بتوان ارزیابی کرد. درشکل ۷.۵، فرض کنید سرعت V_B، یعنی سرعت مفصل لنگ، معلوم و سرعتهای لغزنده و نقطهٔ D مطلوب باشد. V'_B مؤلفهٔ V_B در امتداد BC و V''_B مؤلفهٔ آن درامتداد عمود بر BC است. چون میلهٔ ۳ صلب است V'_C، یعنی سرعت C درجهت BC، مساوی V'_B خواهد بود. لغزنده باید به‌موازات سطح راهنمای خودکه به زمین متصل است، حرکت کند. بنابراین V_C موازی با سطح لغزش است. خطی که از نوك V'_C و عمود برآن رسم شود، اندازهٔ V_C را تعیین می‌کند. V''_C مؤلفهٔ V_C در امتداد عمود بر BC است و اندازهٔ آن با رسم خطی از نوك V_C و عمود بر V''_C به‌دست می‌آید. خطی‌که نوك V''_B را به‌نوك V'_C وصل می‌کند، تعیین کنندهٔ نقطهٔ P است. این نقطه‌که روی میلهٔ ۳ است سرعتی درجهت عمود بر BC ندارد، ولی در امتداد BC سرعتی معادل V'_B خواهد داشت. چون مقادیر V''_D و V''_B متناسب با فواصل آنها ازنقطهٔ P است بنابراین مقدار V''_D با دوران خط PD تا خط PB، همان‌گونه که نشان داده شده است، تعیین می‌شود. V'_D همان راستا واندازهٔ V'_B را دارد. پس V_D سرعت مطلق D و برایند V'_D و V''_D است. محل تلاقی خطی که از نوك V'_D به‌موازات V''_D و خطی‌که از نوك V''_D به موازات V'_D رسم شود، V_D را تعیین می‌کند.

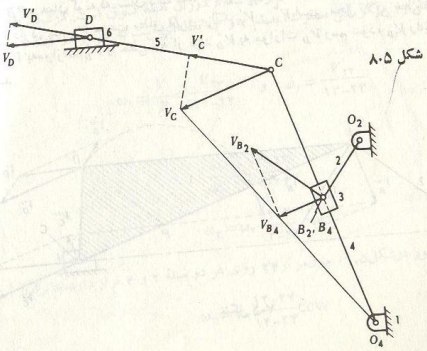


شکل ۷.۵

سرعت زاویه‌ای لحظه‌ای میلهٔ ۳ در شکل ۵ ۷ را می‌توان به‌طریق زیر محاسبه کرد:

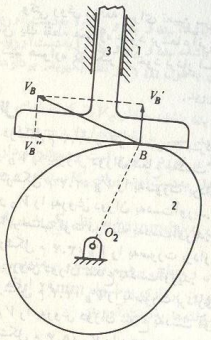
$$\omega_4 = \frac{V''_B}{PB} = \frac{V''_C}{PC} = \frac{V''_D}{PD} \text{ CCW}$$

درشکل ۸.۵، لغزندهٔ ۳ به‌انتهای میلهٔ ۲ مفصل شده است و هنگامی که میلهٔ ۲ می‌چرخد، لغزندهٔ ۳ روی میلهٔ ۴ می‌لغزد. V_{B_2} سرعت معلوم نقطه‌ای روی میلهٔ ۲ است. می‌خواهیم سرعت نقطهٔ D را تعیین کنیم. V_{B_4} سرعت نقطه‌ای روی میلهٔ ۴ و همچنین مؤلفهٔ V_{B_4} است که بر O_4B_4، یعنی شعاع آنی B_4 عمود است. خطی که از O_4 و نوک بردار V_{B_4} رسم شود، اندازهٔ V_C را تعیین می‌کند. V_D از V'_D که مساوی V'_C است به‌دست می‌آید. چون V'_D مؤلفهٔ V_D است خط گذرا از نوک V'_D وعمود برآن، اندازهٔ V_D را تعیین می‌کند.



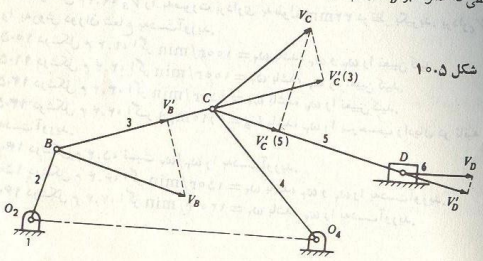
شکل ۸.۵

در مکانیسم شکل ۹.۵، میلهٔ ۲ یک بادامک ومیلهٔ ۳ پیرو است. V_B سرعت نقطه‌ای روی بادامک است. می‌خواهیم سرعت پیرو را به‌دست آوریم. V'_B سرعت نقطه‌ای روی پیرو وهمچنین معلوم مؤلفهٔ V_B درجهت حرکت میلهٔ ۳ است. از آنجا که پیرو دارای حرکت انتقالی مستقیم‌الخط است بنابراین تمام نقاط روی میلهٔ ۳ همین سرعت را دارند. مؤلفهٔ V_B در امتداد سطح پیرو، V''_B، برابر باسرعت لغزش است.



شکل ۹.۵

درمیله‌بندی شکل ۱۰.۵، V_B معلوم و سرعتهای نقاط C و D مجهول است. V'_B مؤلفهٔ V_B درامتداد خط BC است. V'_C (۳) مساوی V'_B و مؤلفهٔ V_C درامتداد میلهٔ ۳ است. اگر خطی عمود بر V'_C(۳) و از نوک آن رسم کنیم، اندازهٔ V_C که باید عمودبر O_4C باشد، به‌دست می‌آید. حال از V_C عمودی بر میلهٔ ۵ رسم می کنیم تا V'_C(۵)، مؤلفهٔ V_C در راستای میلهٔ ۵ تعیین‌شود. V'_D را مساوی V'_C (۵) و درهمان‌امتداد درنقطهٔ D می‌کشیم وخطی که عمود بر V'_D رسم شود، اندازهٔ V_D را تعیین می کند.



شکل ۱۰.۵

وقتی روش مؤلفه برای تعیین سرعت به‌کار می‌رود، باید به‌خاطر سپرد که سرعت مطلق یك نقطه همواره عمود برشعاع‌آنی دوران است و هر مؤلفهٔ برداری را که تجزیه می‌کنیم همواره کوچکتر از خود بردار است.

مسائل

۱۰۵ درشکل م ۱.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۱ in درنظر بگیرید. بردارهای V_C و V_D را به‌روش دوران شعاع به‌دست آورید.

۲۰۵ درشکل م ۲.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۲ in درنظر بگیرید. بردارهای V_C و V_D را به‌روش دوران به‌دست‌آورید. اگر $\omega_2 = 100\,r/min$، اندازه‌های V_B و V_C را برحسب فوت درثانیه به‌دست‌آورید.

۳۰۵ درشکل م ۳.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۲۵ mm در نظر بگیرید. بردار V_C را به‌روش دوران شعاع به‌دست‌آورید.

۴۰۵ درشکل م ۴.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۲۵mm درنظر بگیرید. بردارهای V_C و V_D را به‌روش دوران شعاع به‌دست آورید.

۵۰۵ درشکل م ۵.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۳۸mm درنظر بگیرید. بردار V_C را با استفاده از روش مراکزآنی دوران به‌دست آورید.

۶۰۵ درشکل م ۶.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۲۵mm درنظر بگیرید. بردار V_C را به‌روش دوران شعاع به‌دست‌آورید.

۷۰۵ درشکل م ۷.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۳۸mm درنظر بگیرید. بردار V_C را به‌روش دوران شعاع به‌دست‌آورید.

۸۰۵ درشکل م ۸.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۶۴mm درنظر بگیرید. بردار V_C را به‌روش دوران شعاع به‌دست‌آورید.

۹۰۵ درشکل م ۹.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۳۲mm درنظر بگیرید. بردار V_C را به‌روش دوران شعاع به‌دست‌آورید.

۱۰۵ درشکل م ۱.۴، اگر $\omega_2 = 100\,r/min$ باشد، ω_3 و ω_4 را تعیین کنید.

۱۱۰۵ درشکل م ۲.۴، اگر $\omega_2 = 100\,r/min$ باشد، ω_3 را تعیین کنید.

۱۲۰۵ درشکل م ۳.۴، اگر $\omega_2 = 150\,r/min$ باشد، ω_4 را تعیین کنید.

۱۳۰۵ درشکل م ۴.۴، اگر $V_B = 6.10\,m/s$ باشد، ω_3 را برحسب رادیان در ثانیه به‌دست آورید.

۱۴۰۵ درشکل م ۵.۴، نسبت ω_3/ω_4 را به‌دست‌آورید.

۱۵۰۵ درشکل م ۶.۴، اگر $\omega_2 = 150\,r/min$ باشد، ω_3 و ω_4 را به‌دست‌آورید.

۱۶۰۵ درشکل م ۷.۴، اگر $\omega_2 = 120\,r/min$ باشد، ω_4 را به‌دست‌آورید.

۱۷۰۵ درشکل م ۸.۴، اگر $\omega_2 = 75\,r/min$ باشد، ω_3 و ω_4 و ω_5 را به‌دست آورید.

۱۸۰۵ درشکل م ۹.۴، اگر $\omega_2 = 75\,r/min$ باشد، ω_3 و ω_5 و ω_6 را به‌دست‌آورید.

۱۹۰۵ درشکل م ۱.۴، V_B را به‌صورت برداری به‌طول ۱ in در نظر بگیرید. بردارهای V_C و V_D را به‌وسیلهٔ روش مؤلفه‌ها به‌دست آورید.

۲۰۰۵ درشکل م ۲.۴، اگر $\omega_2 = 100\,r/min$ باشد، مقدار V_C را که نقطه‌ای روی بادامك است برحسب فوت درثانیه به‌دست‌آورید. سپس با مقیاس $1\,in = 1\,ft/s$، بردار V_C را رسم کنید. بردار V'_C را که سرعت نقطهٔ برخورد با پیرو است وهمچنین بردار V''_C را که سرعت لغزش است به‌دست‌آورید. با مقدار به‌دست‌آمده برای V'_C، ω_3 را برحسب دور در دقیقه پیدا کنید.

۲۱۰۵ درشکل م ۴.۴، V_B را به‌صورت‌برداری به‌طول۲۵mm در نظر بگیرید. بردارهای V_C و V_D را به‌روش مؤلفه‌ها به‌دست‌آورید.

۲۲۰۵ درشکل م ۶.۴، P_2 و P_3 نقاط تماس و منطبق برهم بوده و به‌ترتیب روی میله‌های ۲ و ۳ قرار دارند. اگر V_{P_2} به‌صورت برداری به‌طول ۲۹mm ارائه شود، مرکزآنی دوران ۱۳ وبردار V_C را به‌روش مؤلفه‌ها به‌دست آورید.