

2. A bolygóműves sebességváltók elemei

A bolygóműves sebességváltók egy vagy több bolygóművet tartalmaznak.

A bolygómű vagy epiciklus hajtómű alapvető jellemzője, hogy legalább egy olyan fogas-, dörzs- stb. kereket tartalmaz, amely nemcsak saját tengelye körül forog, vagy foroghat, hanem egyidejűleg egy másik tengely körül kering vagy keringhet, azaz olyan ún. bolygókereke van, amelynek pontjai cikloist írnak le. A bolygókereket egy másik kerék kerületén való legördítéssel kényszerítjük a ciklois mozgás végzésére. Ez a kerék lehet külső (122. ábra) vagy belső fogazású (123. ábra).

Ezek szerint tehát az ún. *elemi bolygómű* két kerékből áll: egy ún. *központi kerékből* (k) és egy *bolygókerékből* (b). Külön szerkezet, az ún. *forgattyúkar* (f) szolgál a bolygókerék csapágyazására, ill. vezetésére. A bolygómű alkatrészei tehát a központi kerék, a bolygókerék és forgattyúkar.

Az elemi bolygóművet a gyakorlatban nemigen használják, mert a bolygókerék forgásának kivezetése nehézségekbe ütközik: tengelye nem esik egybe a központi kerék, ill. a forgattyúkar forgástengelyével. A bolygókerék forgásának levételére azonban van egy egyszerű mód: egy második központi kereket építünk be, amelyik kapcsolódik a bolygókerékkel. Azt a bolygóművet, amelyiknek két központi kereke van, *egyszerű bolygóműnek* hívjuk (124. ábra). A sematikus ábrázolásban legtöbbször csak a felét szoktuk felrajzolni (jobb oldali vázlat).

A valóságban a bolygókerékből sem csak egyet szoktak alkalmazni, ezek szaporítása azonban vagy egyáltalán nem jelent elvi változást az egyszerű bolygómű jellegében, vagy csak az egyszerű bolygómű alfajait hozza létre. A bolygókerekek számának szaporítása akkor nem jelent elvi változást, ha a második, harmadik stb. bolygókereket párhuzamosan építjük be az elsővel, ezen azt kell érteni, hogy mindegyik bolygókerék ugyanazokkal a központi kerekkel kapcsolódik (125. ábra). Ebben az esetben tulajdonképpen azt érjük el, hogy ugyanakkora fogszélességgel kétszer, háromszor stb. akkora nyomaték átvitelére lesz alkalmas a bolygómű. Más a helyzet akkor, ha a második bolygókeréket az első bolygókerék és a két központi kerék valamelyike közé ékeljük be (126. ábra). A soros kapcsolás már megváltoztatja a bolygómű kinematikáját.

Természetesen akárhány és akármilyen bolygókeréket alkalmazunk, mindegyiket egy és ugyanazon forgattyúkarra kell fölszerelni!

Az egyszerű bolygómű további fajtáit kapjuk attól függően, hogy a központi kerekhez kívülről vagy

belülről kapcsolódnak a bolygókerék (külső vagy belső fogazást alkalmazunk-e), továbbá hogy a bolygókerék mindkét kapcsolódása azonos vagy eltérő átmérővel történik-e.

A 125. ábrán pl. a k_1 központi kerékhez külső kapcsolódással csatlakozik a bolygókerék, a k_2 központi kerékhez belső kapcsolódással. Külső kapcsolódás esetén *napkeréknek*, belső kapcsolódás esetén *gyűrűkeréknek* nevezzük a központi kereket.

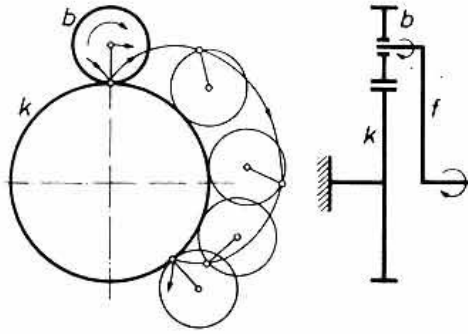
A 125. ábrán a bolygókerék azonos átmérővel csatlakozik mind a k_1 , mind a k_2 központi kerékhez, a 127. ábrán azonban az átmérők különböznek. A kétféle átmérőjű bolygókeréket *kettős bolygókeréknek* nevezzük.

A külső-belső kapcsolódást, az egyszerű és kettős bolygókeréket különbözőképpen lehet variálni, figyelembe véve a soros bolygókerék alkalmazási lehetőségét is. A 128. ábrán az összes lehetséges variációt megtalálhatjuk. Az ábra bal felén található az egyszerű bolygóműtípusok, amelyekben a bolygókerék (egyszerűek vagy kettősök) mindkét központi kerékkel kapcsolódnak. A jobb oldali bolygóművekben párosával található a bolygókerék, s azok egyrészt egymással, másrészt a központi kerekkel egyikével kapcsolódnak.

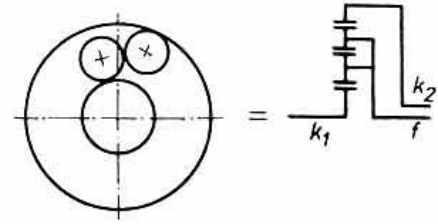
Megjegyezzük, hogy gyakran találkozhatunk kúpkerékes bolygóművekkel, ezek azonban nem képviselnek újabb típust, mivel minden kúpkerékes bolygómű valamilyen homlokkerekes bolygóműnek felel meg (129. ábra), csak a megvalósítható karakterisztikai jellemzők értékében van különbség. A továbbiakban kúpkerékes bolygóművekről egyelőre külön nem beszélünk.

A 122. és 123. ábrán még úgy rajzoltuk a központi kereket, mint amelyek nem tud forogni. Ezt azonban csak speciális esetnek fogadhatjuk el, általában minden kerék (és a forgattyúkar tengelye is) foroghat. Ez azt jelenti, hogy a kinematikai jellemzés szempontjából három alkatrész tengelyének a forgásával kell számolni: a két központi kerék és a forgattyúkar forgásával (k_1 , k_2 és az f). Az áttételt tehát nem határozzák meg egyértelműen a geometriai méretek, mint a hagyományos fogaskerekes hajtóművekben. Ott ugyanis egyszerű a helyzet, két fordulatszám van, a kimenő és a bemenő tengelyé, azokat kell arányba állítani ($i = n_{ki}/n_{be}$).

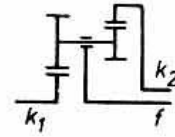
Itt viszont három fordulatszám van, és azt sem lehet előre tudni, hogy a beépítés után melyik lesz a be-, ill. a kimenő fordulatszám, s mit fog csinálni a harmadik tengely. Ezért a bolygóműveknél mindig két áttételről beszélünk, az egyik az ún. alapáttétel, amelyik állandó, s a geometriai méretek egyértelműen meghatá-



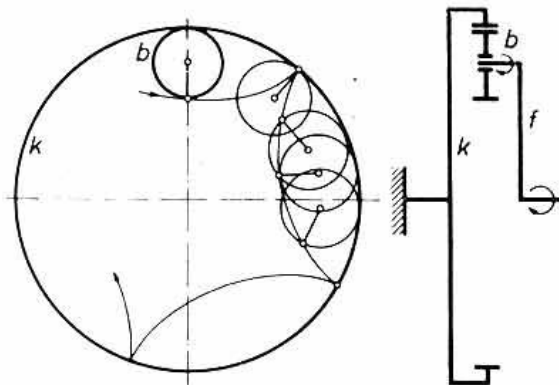
122. ábra



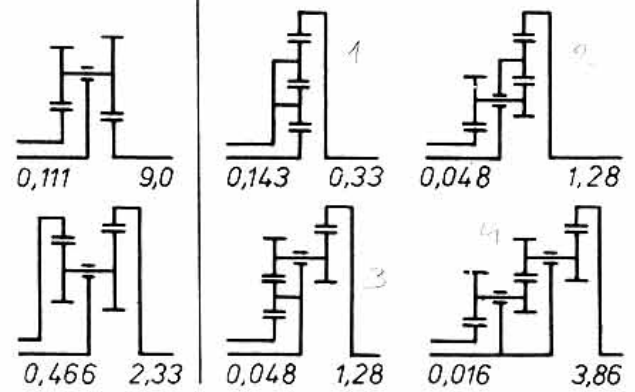
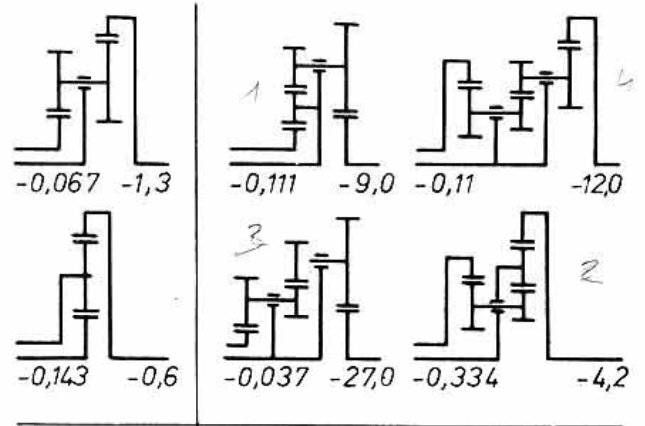
126. ábra



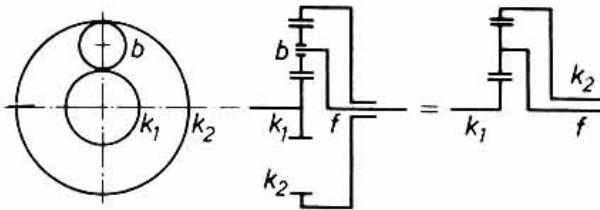
127. ábra



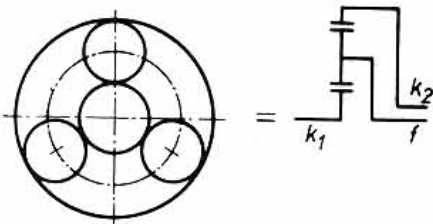
123. ábra



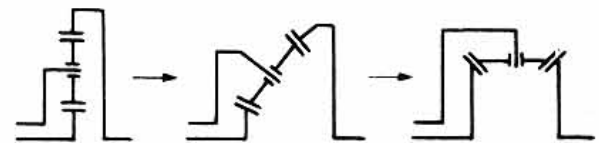
128. ábra



124. ábra



125. ábra



129. ábra

rozzák, a másik a valóságos áttétel, ami általában (nem mindig!) különbözik az alapáttételtől, s a beépítés és a felhasználás módjától függ. Az alapáttételt úgy képezzük, hogy a két központi kerék fordulatszámát (szögsebességét) állítjuk arányba egymással, de nem az abszolút fordulatszámukat, hanem a forgattyúkarhoz viszonyított relatív fordulatszámukat:

$$i_0 = \frac{n_2'}{n_1'} = \frac{n_2 - n_f}{n_1 - n_f}.$$

Természetesen, az alapáttétel a valóságos áttétellel lesz egyenlő abban a speciális esetben, amikor $n_f = 0$, azaz a forgattyúkar áll. Ennek tudatában nagyon egyszerűen meg lehet határozni egy bolygómű alapáttételét a geometriai adatok (pl. átmérők) alapján: amíg a forgattyúkar áll, a bolygómű egyszerű előtéttengelyes fogaskerekes hajtóműnek tekinthető. Az alapáttétel képlete tehát a 128. ábra bal felén levő bolygóművek esetére:

$$i_0 = \frac{D_1 \cdot D_{b2}}{D_2 \cdot D_{b1}},$$

ill. a jobb oldali (soros bolygókerékkel rendelkező) bolygóművekre:

$$i_0 = -\frac{D_1 \cdot D_{b2} \cdot D_{b12}}{D_2 \cdot D_{b1} \cdot D_{b21}}.$$

Az indexek értelmezése a 130–131. ábrákról leolvasható. A vázlatok mindkét kategóriából a legösszetettebb típusra vonatkoznak. Ha ennél egyszerűbb típus alapáttételét kell kiszámítani, akkor a képletből egy vagy két átmérőpár kiesik. Az egyszerűbb típusokat ugyanis a bonyolultabbak speciális eseteinek is tekinthetjük. Ha egy kettős bolygókerék mindkét átmérője ugyanakkora, nyilván egyszerű bolygókerékként lehet kezelni. A 132. ábra például a 131. ábra olyan speciális esete, amikor $D_{b1} = D_{b12}$, az alapáttétele tehát:

$$i_0 = \frac{D_1 \cdot D_{b2}}{D_2 \cdot D_{b21}}.$$

Arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy az alapáttételre akkor kapunk helyes előjelet, ha az átmérőket is előjellel helyettesítjük be. A külső fogazású kerekeket pozitív keréknek, a belső fogazásúakat negatív keréknek tekintjük.

A pozitív kerekeket P-vel, a negatív kerekeket N-nel jelölve, a bolygóműtípusok egyszerűen kódolhatók. A bolygókerékeket jelző betűt (betűket) zárójelbe téve például a 129. ábra bal oldalán látható típus jelzése: P(P)N, a 130. ábráé P(PP)N, a 131. ábráé P(PP)(PP)N.

Könnyű belátni, hogy a megvalósítható alapáttétel nem lehet tetszőleges, a kapcsolódási viszonyok, a fo-

gaskerekek elrendezhetősége stb. korlátokat szabnak. A 128. ábrán feltüntettük a megvalósítható szélső értékeket is.

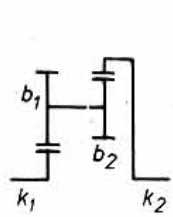
A bolygómű működését nagyon jól szemlélteti a sebességábra. A Kutzbach-féle grafikus módszer a kinetikának azon a tételén alapszik, amely szerint ha egy síkban ismeretlen középpont körül forgó merev test két pontjának pillanatnyi sebességét ismerjük, akkor bármely pontjának pillanatnyi sebességét meghatározhatjuk. A bolygóműben a bolygókerék fogható fel ilyen merev testnek, mivel ennek a bolygómű mindhárom tagjával van közös pontja: középpontja a forgattyúkarhoz kötött, kerületén pedig a két központi kerékkel egy-egy pontban csúszásmentesen kapcsolódik. A bolygókerék pillanatnyi sebessége a három pontban éppen a három tagnak azon a helyen vett kerületi sebességével egyenlő.

A meghatározást grafikusan végezzük (133. ábra). A sebességet vektorokkal ábrázoljuk. Minden kerületi sebességvektor természetesen merőleges a bolygómű és a bolygókerék középpontját összekötő egyenesre. Bármelyik két sebességvektor végpontját összekötő egyenes mértani helye a harmadik sebességvektor végpontjának is. Az összekötő egyenes tehát kimetszi egyrészt az ismeretlen harmadik sebességvektort, másrészt a bolygókerék pillanatnyi forgásközéppontját.

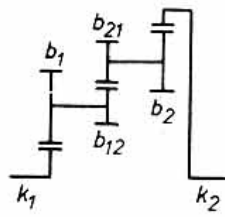
A bolygómű egyes tagjainak szögsebességét, illetve az azzal arányos egyenes darabokat a bolygómű középpontjából a vektorok végpontján keresztül fektetett sugarak metszik ki egy, a vektorokkal párhuzamos tetszőleges helyen húzott egyenesen.

Soros bolygókerékpár esetén a szerkesztést másképpen kezdjük. Itt ugyanis nincs olyan bolygókerék, amelyik *mindkét* központi kerékhez közvetlenül csatlakozik. Ez azt jelenti, hogy akármelyik bolygókeréket választjuk, az egyik központi kerékkel nincs valóságos érintkezési pontja, ahol a pillanatnyi sebességek megegyeznének. Ha azonban mindkét kereket végtelen nagy forgó síknak tekintjük, akkor kell lennie egy-egy külső vagy belső pontjuknak, amelyek fedik egymást, s azonos pillanatnyi sebességgel haladnak. Ennek a pontnak a megszerkesztéséhez tudni kell azt a kinematikai tételt, hogy három párhuzamos sík külön-külön bármilyen mozgást végezhet saját síkjában, két-két síknak mindig van egy-egy olyan, egymást fedő pontja, amelynek megegyezik a pillanatnyi sebessége. Mivel a három síkot háromféleképpen lehet párosítani, három ilyen pontot kapunk, és mind a három pont egy egyenesen fekszik.

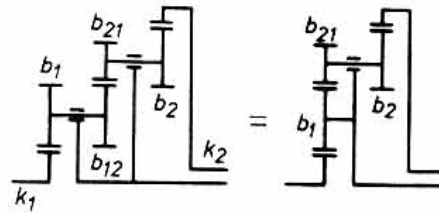
Bolygóműre vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy a soros bolygókerékek esetén négy forgó síkunk van, a két központi kerék és a két bolygókerék (134. ábra).



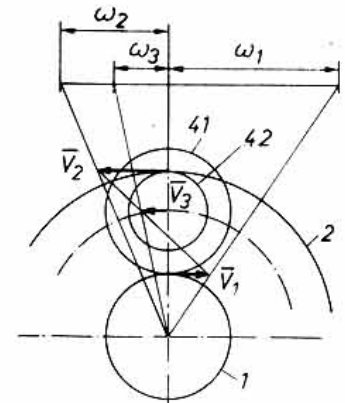
130. ábra



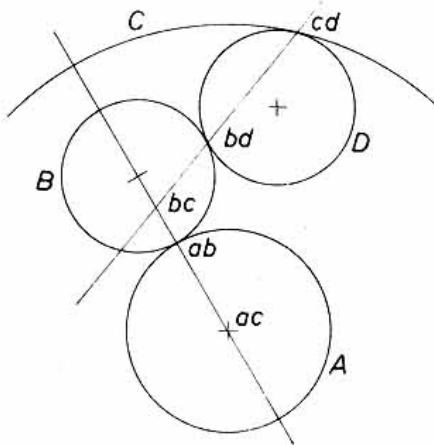
131. ábra



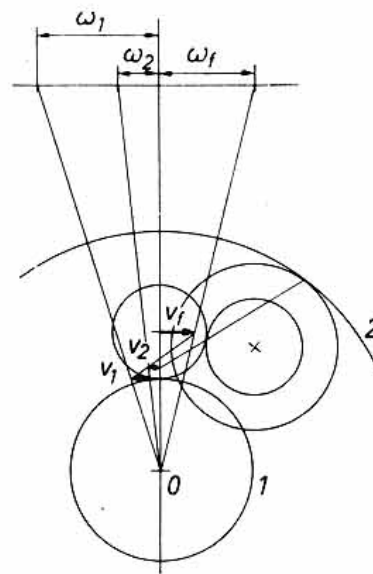
132. ábra



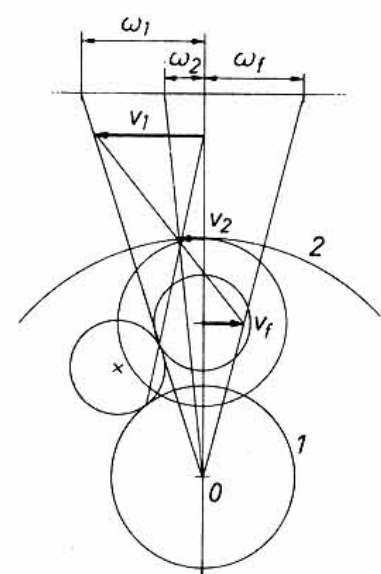
133. ábra



134. ábra



135. ábra



136. ábra

Ha vesszük az $A-B-C$ síkokat, akkor a pillanatnyi közös sebességű pontokból kettőt azonnal megtalálhatunk (ab és ac). A bc pontról csak annyit tudunk, hogy rajta kell lennie az $ab-ac$ egyenesen. Ha a $B-D-C$ síkokat vesszük, akkor a két azonnal adódó közös sebességű pont a bd és a cd lesz, a bc pontnak pedig rajta kell lennie a $bd-cd$ egyenesen. A bc pont pedig csak akkor tudja mindkét feltételt teljesíteni, ha az $ab-ac$ és a $bd-cd$ egyenesek metszéspontjában van.

A szerkesztés menete tehát a következő (135. és 136. ábra). A soros bolygókerék közül az egyiket kiválasztjuk. Középpontján és az O ponton keresztül húzunk egy egyenest. Ezen az egyenesen két sebességvektor helye könnyen megtalálható. Ezután a másik bolygókerék kapcsolódási pontjain keresztül húzunk

egy újabb egyenest, amely az előző egyenesen kimetszi a harmadik sebességvektor helyét.

A bolygómű működéséhez a nyomatékviszonyokat is ismerni kell. A bolygómű három (k_1 , k_2 és f) tengelyén levő nyomaték érdekel minket. A három közül egynek az ismerete elegendő, a másik kettő már meghatározható. Ha a nyomatékokat számítással akarjuk meghatározni, akkor a kinematikai alapattétel ad felvilágosítást. A három nyomatéknak — egyenletes forgást feltételezve — egyensúlyban kell lennie:

$$M_{k_1} + M_{k_2} + M_f = 0.$$

Mivel a nyomatékok nem függenek attól, hogy a bolygómű melyik tagja hogyan forog, vegyük azt az esetet, amikor a forgattyúkar éppen áll. Ilyenkor a nyomaték-

módosítás, mint minden fogaskerékes áttételnél, a kinematikai áttétel negatív reciprokával egyenlő, azaz

$$\frac{M_{k_2}}{M_{k_1}} = -\frac{n_{k_1}}{n_{k_2}} = -\frac{1}{i_0}$$

Innen

$$M_{k_2} = -\frac{1}{i_0} M_{k_1}$$

A nyomatékok egyensúlyából következik, hogy

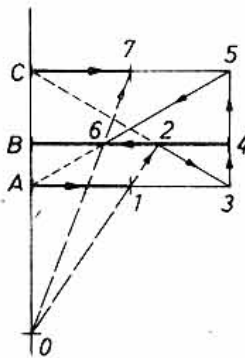
$$M_f = -M_{k_1} - M_{k_2} = \left(\frac{1}{i_0} - 1\right) M_{k_1}$$

A három nyomatékot aránypárokban is felírhatjuk:

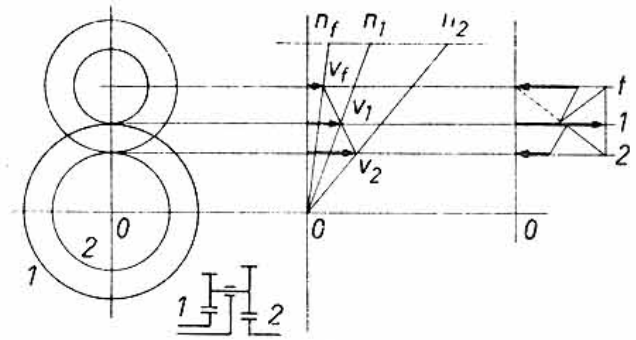
$$M_{k_1} : M_{k_2} : M_f = 1 : \left(-\frac{1}{i_0}\right) : \left(\frac{1}{i_0} - 1\right)$$

Ha a nyomatékokat szerkesztéssel akarjuk meghatározni, akkor a sebességvektorok szerkesztéséhez hasonlóan, előbb a nyomatékot jelző vektorok helyét kell megállapítani. Ez újabb szerkesztést nem igényel, mert a nyomatéki vektorokat is ugyanarra a rádiuszra kell megrajzolni, ahová a sebességvektorokat visszük fel, függetlenül attól, hogy soros bolygókerékek vannak-e a bolygóműben, vagy sem. A nyomatékszerkesztés lényegében nem más, mint grafikus osztás és sugarak arányában való vetítés együttes alkalmazása.

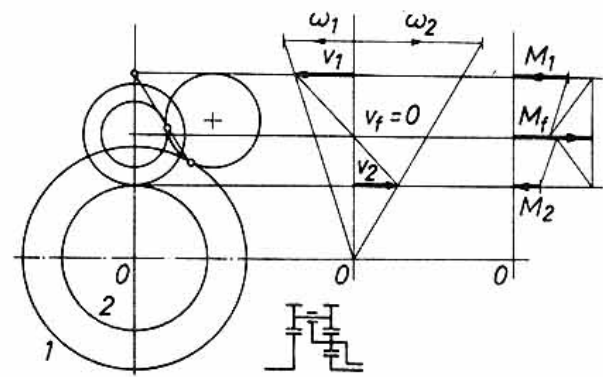
A 137. ábrán látható a szerkesztés menete. Ismerjük a három vektor helyét (A , B és C magasság). A három vektor közül bármelyiket adottnak vesszük, példánkban az A vektort. Végpontján (1) keresztül sugarat fektetünk az O pontból. Ez kimetszi a 2 pontot, amit a C pontból visszavetítünk az A egyenesre. Ezzel megkaptuk a B nyomatékvektor nagyságát, de azt fel kell vinni a saját helyére. A következő szerkesztés az előbbinek a fordítottja: először a B vektor hosszát átvisszük a C egyenesre, onnan az A pontba tartó egyenes kimetszi a



137. ábra



138. ábra



139. ábra

6 pontot, s azt az O középpontból visszavetítjük a C egyenesre. Bármelyik szerkesztést visszafelé is végezhetjük, tehát a három vektor közül bármelyiknél kezdhetjük. Meg kell jegyezni, hogy a három nyomatékvektor közül a két szélsőnek az iránya mindig ellentétes a középsővel.

A 138. és 139. ábra egy-egy példát mutat a sebesség- és a nyomatékábrákra.

3. Bolygóműves sebességváltók

Ezek után nézzük meg, hogyan használják fel a bolygóműveket a sebességváltókban. Mint az alapáttétel képletéből is látszik, csak akkor kapunk egyértelmű, valóságos áttételt, ha a három fordulatszám közül egyet valamilyen módon határozottá teszünk. Erre két mód van: a kiválasztott fordulatszámnak vagy nulla értéket adunk, vagy a másik két fordulatszám egyikének a függvényévé tesszük. A nulla érték adása nagyon egyszerű: azt a tengelyt, amelyiknek nem engedélyezünk forgást, befékezzük. Ily módon a másik két tengely forgása között határozott (és állandó) áttételt ka-

punk. A 140. ábrán öt példát láthatunk az ún. kikötött (befékezett) bolygóműre. Bár különböző típusú bolygóműveket rajzoltunk, de geometriai méreteik (alapáttétel!) és a kikötésre kerülő tengely megválasztásakor arra ügyeltünk, hogy egyforma áttételt kapjunk mind az ötnél. Az áttételt úgy számíthatjuk ki, hogy az alapáttétel képletét átrendezzük, a ki-, ill. bemenő tengelyként használt elem fordulatszámának hányadosát viszszük az egyik oldalra, a harmadik fordulatszám helyébe 0-t helyettesítünk. Az első példában $i = i_0$, de a másodikban már $i = \frac{n_1}{n_f} = \frac{i_0 - 1}{i_0}$ stb.

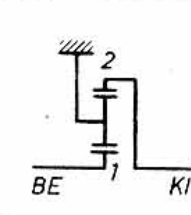
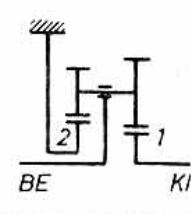
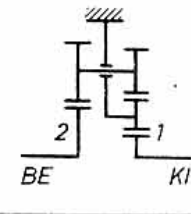
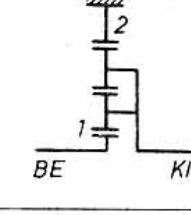
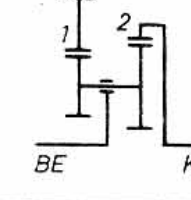
Mint hátható, a valódi áttétel attól is függ, melyik tengelyt használjuk ki-, ill. bemenő tengelyként. Ebből következik, hogy elvileg ugyanazzal a bolygómű-típussal és változatlan alapáttétellel is hat különböző áttételt tudunk megvalósítani, csupán a beépítés variálásával (141. ábra).

Amennyiben megelégszünk két fokozattal, amelyek közül az egyik a „direkt”, akkor például a hat variáció közül mondjuk a másodikot kiválasztva, a 142. ábrán látható „sebességváltót” kapjuk. A szerkezet egy bolygóműből, egy fékből (pl. szalagfékből) és egy tengelykapcsolóból áll. Ha sem a féket, sem a tengelykapcsolót nem zárjuk, hiába hajtjuk a bemenő tengelyt, a kimenő tengelyre nem tudunk nyomatékot kifejteni. A fék behúzása után viszont a bolygómű nyomatékot továbbít, a kinematikai áttétel $i = \frac{i_0 - 1}{i_0}$ lesz. A féket oldva s a tengelykapcsolót zárva kapjuk a „direkt” fokozatot. (Jegyezzük meg, hogy ha bármelyik bolygómű bármelyik két elemét — adott esetben a forgattyúkart és a k_2 központi kereket — rövidere zárjuk, a bolygómű átalakul merev testté.)

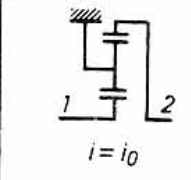
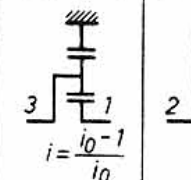
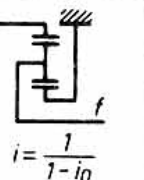
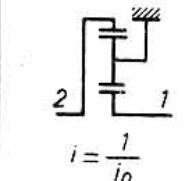
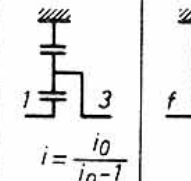
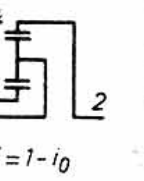
A példánkban választott bolygóműtípus helyett bármilyen típus beépíthető, ezért a továbbiakban az ilyen elvi vázlatokban a bolygóművet gyakran egy körrel helyettesítjük.

Mint már említettük, a harmadik fordulatszámot nemcsak zérusként tehetjük határozottá, hanem a másik két fordulatszám valamelyikének a függvényévé is tehetjük. Ez azt jelenti, hogy a kiválasztott (harmadik) elem vagy a bemenő vagy a kimenő tengellyel van valamilyen erőátvitelre alkalmas szerkezettel összekötve. Az előbbi példánkban a rövidere záró tengelykapcsoló tulajdonképpen szintén ezt a szerepet töltötte be: a k_2 központi kereket arra kényszerítette, hogy együtt forogjon a bemenő tengellyel.

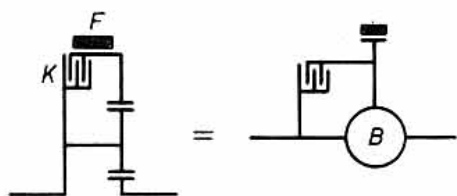
A mechanikus tengelykapcsolón kívül azonban sok másféle erőátviteli szerkezet is van: hidrodinamikus tengelykapcsoló, fogaskerékes áttételi mű (ami éppen-séggel lehet egy másik kikötött bolygómű is), hidrodin-

	$D_1 = 4$ $D_2 = -16$	$i_0 = -0,25$
	$D_1 = 6$ $D_2 = 6,57$ $D_{b1} = 3$ $D_{b2} = 2,43$	$i_0 = 0,8$
	$D_1 = 6$ $D_2 = 2$ $D_{b1} = 3$ $D_{b2} = 4$	$i_0 = -4$
	$D_1 = 4$ $D_2 = -20$	$i_0 = 0,2$
	$D_1 = -18$ $D_2 = -20,6$ $D_{b1} = 6$ $D_{b2} = 8,6$	$i_0 = 1,25$

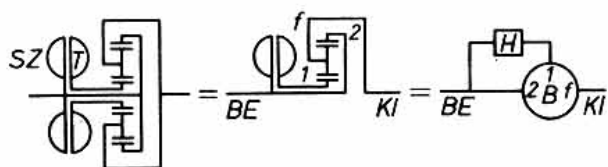
140. ábra

		
$i = i_0$	$i = \frac{i_0 - 1}{i_0}$	$i = \frac{1}{1 - i_0}$
		
$i = \frac{1}{i_0}$	$i = \frac{i_0}{i_0 - 1}$	$i = 1 - i_0$

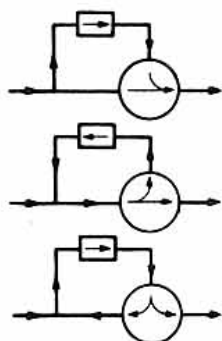
141. ábra



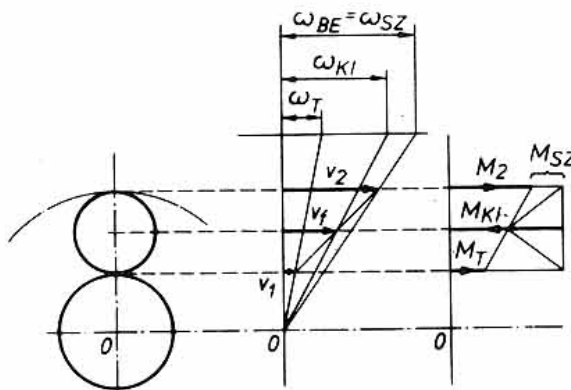
142. ábra



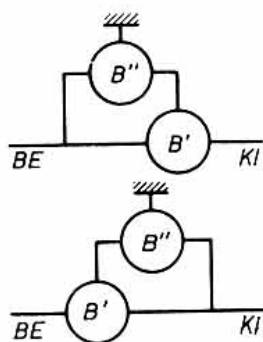
143. ábra



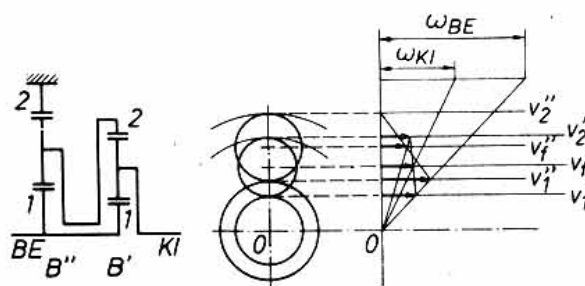
144. ábra



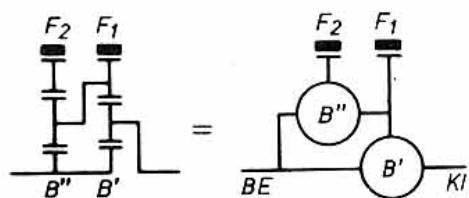
145. ábra



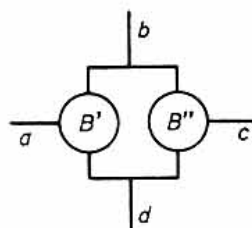
146. ábra



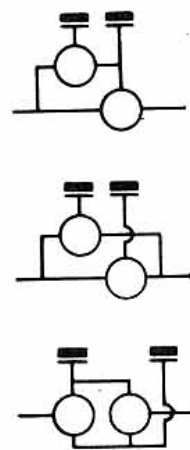
147. ábra



148. ábra



149. ábra



150. ábra

namikus nyomatókváltó, hidrosztatikus erőátvitel, fokozatmentes súrlódásos hajtómű stb. Ezek közül vizsgáljunk meg néhányat.

Ha az összekötő elem hidrodinamikusan tengelykapcsoló (pl. 143. ábra), akkor a bolygómű kinematikailag rugalmas ugyan (az i áttétel nem állandó, hanem a terheléstől függően változó), de nyomatókat természetesen nem tud módosítani. Ez azt jelenti, hogy a hidrodinamikusan tengelykapcsolóval átkötött bolygómű egy másik hidrodinamikusan tengelykapcsolónak felel meg, amelynek a karakterisztikája azonban különbözik az egyedülálló tengelykapcsolótól. Az eltérés a bolygómű adataitól függ: az átvitt teljesítmények minél nagyobb hányada kerül el a tengelykapcsolótól, annál mervebb karakterisztikát kapunk. Ugyanis minden átkötött bolygóműben teljesítményelágazás jön létre. A teljesítmény háromféleképpen áramolhat (144. ábra):

— a teljesítmény egy része egyenesen a bolygóműbe, a másik része az összekötő elemén keresztül megy a bolygóműbe, s ott egyesülve tovább halad;

— a teljes teljesítmény először bemegy a bolygóműbe, egy része visszafordul, s az összekötő elemén keresztül ismét belép a bolygóműbe, majd onnan — a kerülőutat nem tett teljesítménnyel együtt — kilép;

— a teljes teljesítmény először átmegy az összekötő elemén, majd egy részét a bolygómű visszaküldi, hogy ismét átmenjen az összekötő elemén, mielőtt kilép.

Természetesen a hajtás történhet a jobb oldalról is, akkor minden berajzolt nyilat meg kell fordítani.

Azt, hogy adott esetben hogyan áramlik a teljesítmény, a sebességi és a nyomatóki ábráról könnyen leolvashatjuk: ha egy tengelyen a kerületi sebességvektor és a nyomatóki vektor iránya megegyezik, akkor ott a teljesítmény *belép* a bolygóműbe, ha nem egyezik meg, akkor ott *kilép*.

Az előző példánk folytatásaként a 145. ábrán látható, hogy két helyen van pozitív teljesítmény, nevezetesen a két központi keréken, a forgattyúkaron pedig távozó teljesítmény van, tehát egyszerű (cirkuláció nélküli) teljesítményelágazásról van szó. Az ábráról lemérhető az ω_{KI} és a ω_{BE} sebességekkel arányos távolság, a kettő hányadosa megadja az i áttételt. Ha azt is tudni akarjuk, hogy ugyanekkor éppen mennyi a hidraulikus tengelykapcsoló i_H áttétele, akkor a ω_T és ω_{S_2} értékeit osztjuk el egymással. Nyomatókmódosítás valóban nem jön létre, mivel a bejövő M_{BE} nyomatók két részre szakad, M_2 -re és M_{S_2} -re, s mint látható, az M_{KI} éppen e kettő összegével egyenlő.

Ha üzem közben a terhelési viszonyok megváltoznak (pl. gázt adunk), akkor a nyomatók szintén változnak ugyan, arányuk azonban nem, így a nyomatóki ábra továbbra is érvényes (a léptéket eddig sem rögzítettük le). A nyomatók megváltozása azonban befolyásolja a tengelykapcsoló szlipjét, azaz i_H értéket. Az új i_H -hoz természetesen új i áttétel tartozik, ezt új sebességi ábra segítségével határozhatjuk meg.

Más a helyzet, ha összekötő elemként nem hidrodinamikusan tengelykapcsolót használunk, hanem fogaskerékes erőátvitelt, amelynek az áttétele állandó. Erre a célra legtöbbször egy másik bolygóművet alkalmazunk, amelynek egyik tengelyét befékezzük (kikötjük).

Az elvi felépítést a 146. ábra mutatja. Természetes, hogy a B' bolygóműnek most más az áttétele, mint ha a „harmadik” tengelyét — korábban tanultak szerint — kikötöttük volna. Az új áttétel attól függ, hogy milyen (állandó) áttételt kényszerítünk a B'' kikötött bolygóművel a harmadik tengely és a bemenő (vagy kimenő) tengely közé. A 147. ábrán egy példát mutatunk be. Az áttétel grafikus meghatározásához a két sebességábrát egymásra kell rajzolni úgy, hogy a különböző bolygóműhöz tartozó, de egymással összekötött, tehát azonos szögsebességgel forgó alkatrészek kerületi sebességvektorának végpontja ugyanarra a sugárirányú egyenesre essék. (Célszerű a szerkesztést mindig azzal a bolygóművel kezdeni, amelynek a harmadik tengelye ki van kötve!)

Az ilyen átkötött bolygóművet a sebességváltóba természetesen úgy építik be, hogy a B' bolygóművet tetszés szerint lehessen ki- vagy átkötni, ezért erre is szerelnek fékdobot (148. ábra), így kétfokozatú (plusz „direkt”!) váltóművet kapnak.

Az ilyen átkötött bolygóművet a sebességváltóba természetesen úgy építik be, hogy a B' bolygóművet tetszés szerint lehessen ki- vagy átkötni, ezért erre is szerelnek fékdobot (148. ábra), így kétfokozatú (plusz „direkt”!) váltóművet kapnak.

A kétfokozatú váltóműnek tehát négy kivezetése van; kettő tengely formájában (a be- és a kimenő tengelyek), kettő fékdob formájában (az I. és a II. sebességfokozat kapcsolásához). Belül két bolygómű található, mindkettőnek van csatlakozása a négy kivezetés közül hárommal, de egymással is két-két szállal. A 149. ábrán ezt a két bolygóművet úgy rajzoltuk fel, hogy nem neveztük meg a kivezetéseket, azaz nem tüntettük fel, melyik megy tengelyhez, melyik fékdobhoz (az előző ábrával összevetve egyébként nem nehéz megállapítani, hogy ott a következő volt a „bekötés”: $a \rightarrow KI$, $b \rightarrow BE$, $c \rightarrow F_2$, $d \rightarrow F_1$). Ennek azért van jelentősége, mert elvileg sokféleképpen lehet kiválasztani, hogy a négy tengely közül melyik legyen a bemenő, a kimenő stb. A variációkat három vázlatlaltal is jellemezni tudjuk (150. ábra), ha nem tüntetjük fel a hajtási irányt (a vizsgált példánk az első vázlatnak felel meg).

Az áttételt számítással is meg lehet határozni: mindkét bolygómuire felírjuk az alapáttétel képletét, az összekötött tagok fordulatszámát egyenlőnek vesszük, majd a ki- és a bemenő fordulatszámot kifejezzük.

A kétfokozatú váltóművet úgy fejleszthetjük háromfokozatúvá, hogy az átkötésre használt B'' bolygómuiret *kikötés helyett szintén átkötjük* egy immár *harmadik* bolygómuirevel, s ezt kötjük ki (151. ábra). (Az áttétel meghatározásának módja azonos a kétfokozatúéval, 152. ábra).

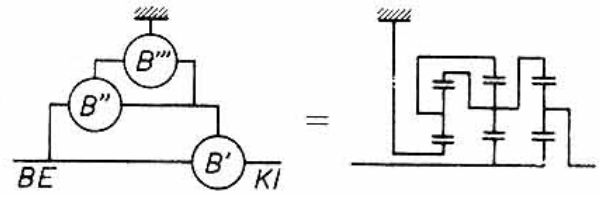
Mint korábban szó volt róla, a kétfokozatú váltómű elvi felépítésére akkor is három variáció van, ha eltekintünk attól, hogy melyik végéről történik a hajtás. Ha figyelembe vesszük, hogy a harmadik bolygómuirevel is több helyre lehet csatlakozni, a variációk száma még nagyobb, konkrétan tizennégy. A variációkat úgy is leszármaztathatjuk, hogy a sebességváltó öt kivezetéséhez (két tengely és három fékdob) különbözőképpen rendeljük hozzá a bolygómuirek elemeit (k_1 , k_2 és f). Minden olyan „kapcsolás” elfogadható, amelyikben az öt kivezetés mindegyike kapcsolódik a három bolygómuire közül legalább egyhez. A tizennégy variáció közül néhányat bemutattunk a 153. ábrán (*milyenek a hiányzók?*).

A két vagy több bolygómuireből álló szerkezet (összetett bolygómuire) kialakítása néha olyan, hogy első pillantásra nehéz elkülöníteni az egyes bolygómuireket. A 154. ábrán például egy kétfokozatú váltóművet láthatunk, de a bolygómuirenek három központi kereke van a szokásos kettő helyett. Valójában itt két egyszerű bolygómuire van egyesítve. Az egyesítésre az adott lehetőséget, hogy az összekötött (tehát azonos fordulatszámú) alkatrészek között voltak olyanok, amelyeknek a geometriai adatai is megegyeztek (példánkban a k_2' és a k_2'' központi kerék és a velük kapcsolódó b_2' és b_2'' bolygókerék). A 155. ábrán további példák láthatók az egyesített bolygómuirekre, mindegyiknél a felbontásra is van egy-egy példa (többféleképpen is fel lehet őket bontani!).

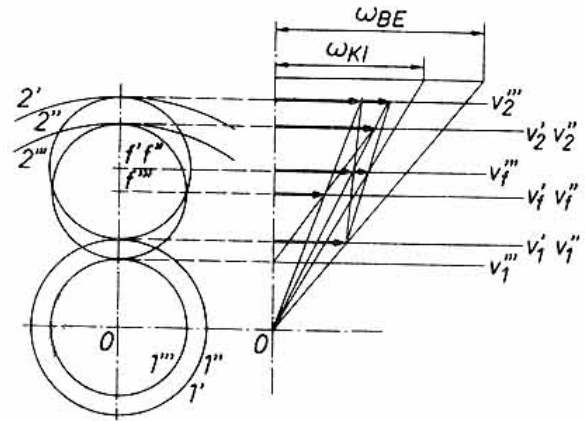
Ezek után nézzünk néhány példát konkrét sebességváltókra.

A 156. ábrán az egyik legrégebbi bolygómuireves sebességváltó látható. Ebben egyesített bolygómuirevet alkalmaztak.

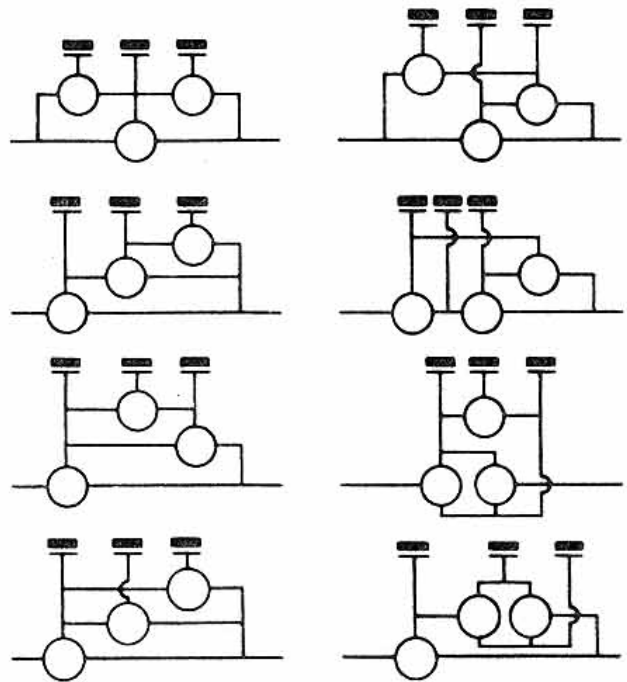
A 157. és a 158. ábrán bemutatott váltóművek egyes elemei már ismerősek. A 159. ábra érdekessége, hogy az összetett bolygómuire három egyszerű bolygómuirere bontható fel, s emiatt elvileg csak három 1:1-től eltérő áttételt lehetne vele megvalósítani. A több kapcsolóelem (fék és tengelykapcsoló) alkalmazása azonban lehetővé teszi, hogy ugyanaz a bolygómuire kétféle



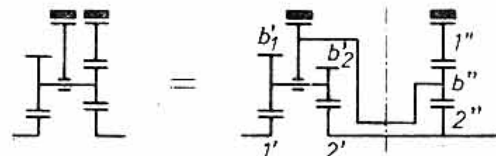
151. ábra



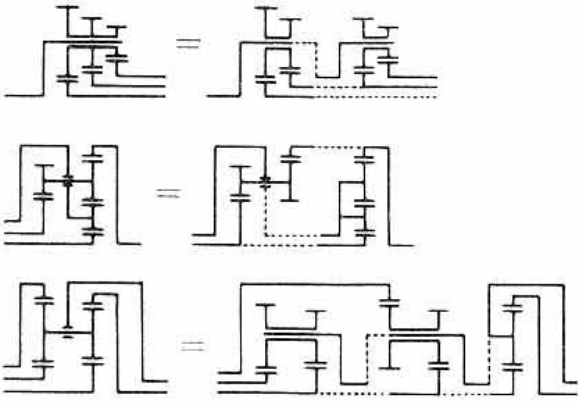
152. ábra



153. ábra

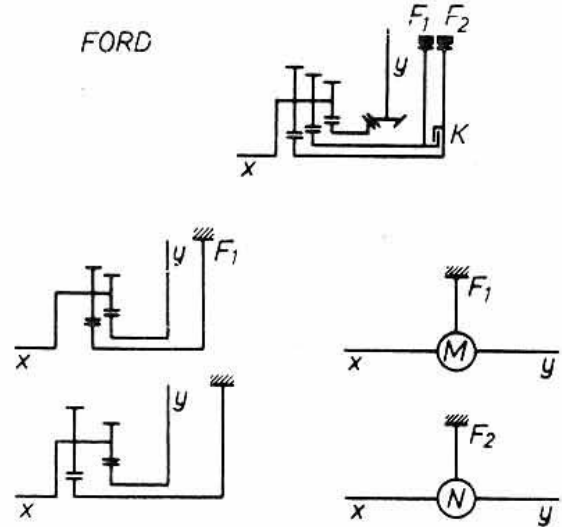


154. ábra



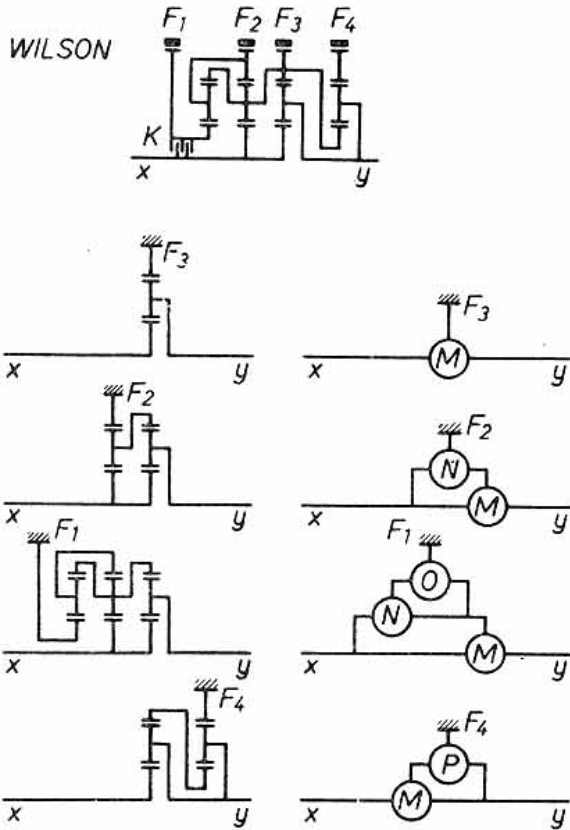
155. ábra

FORD



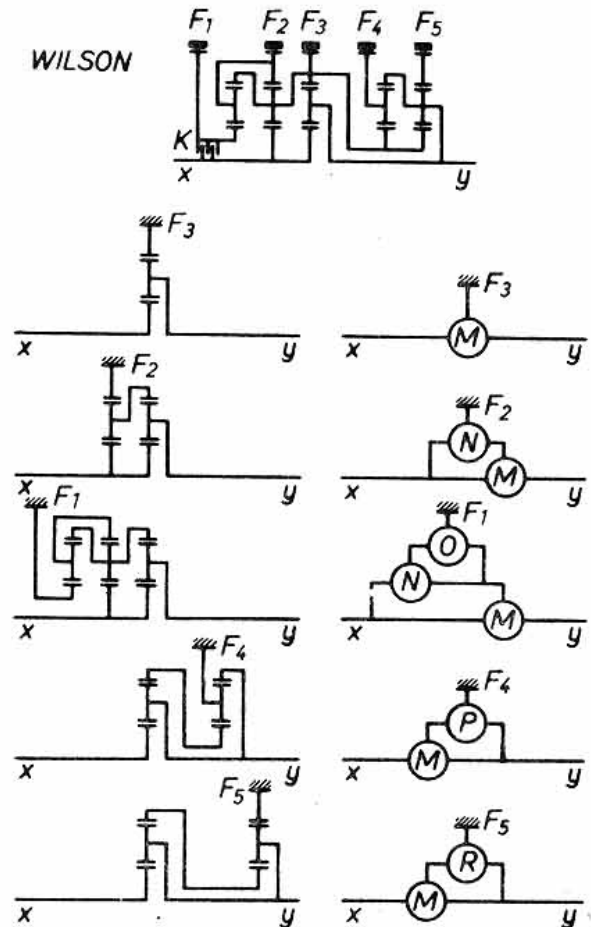
156. ábra

WILSON

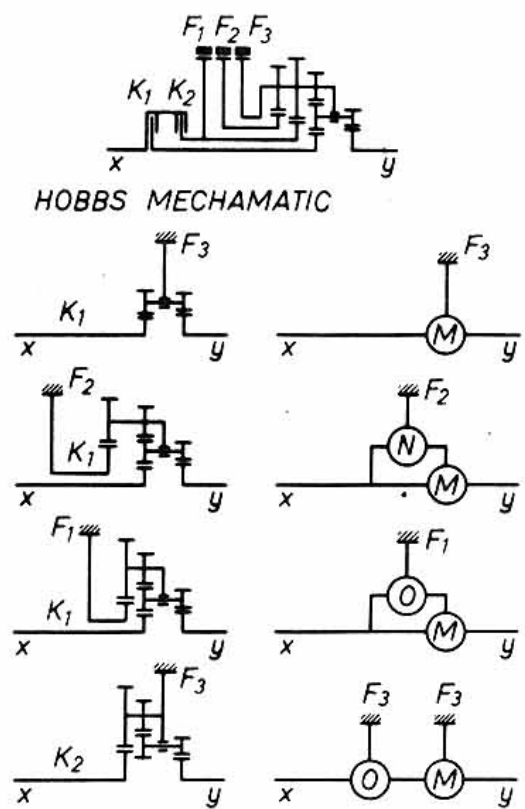


157. ábra

WILSON

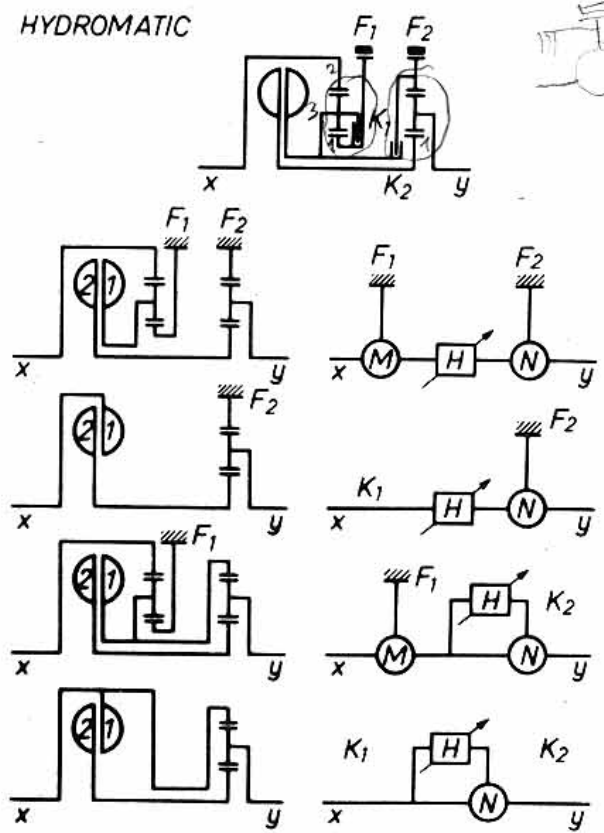


158. ábra



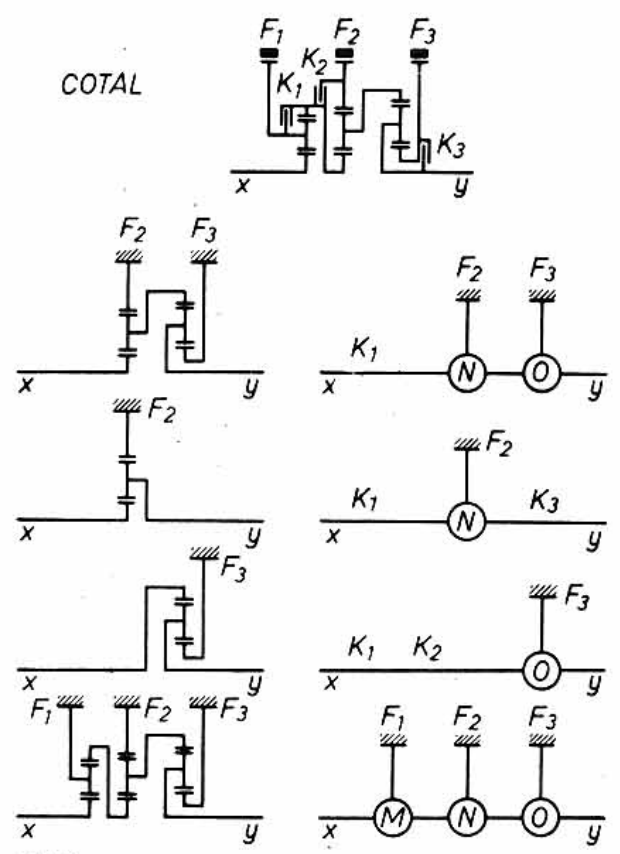
159. ábra

HYDROMATIC



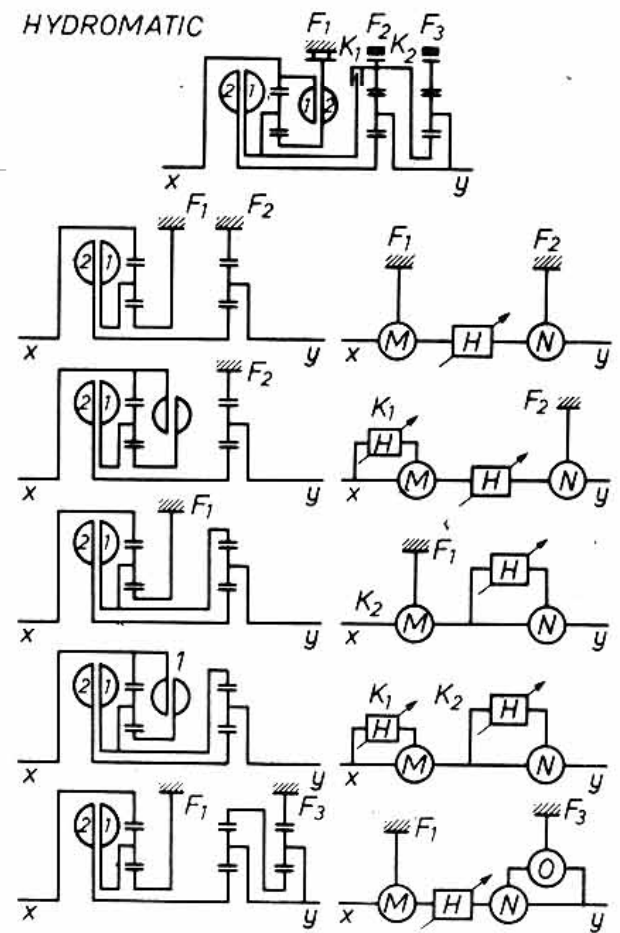
161. ábra

COTAL

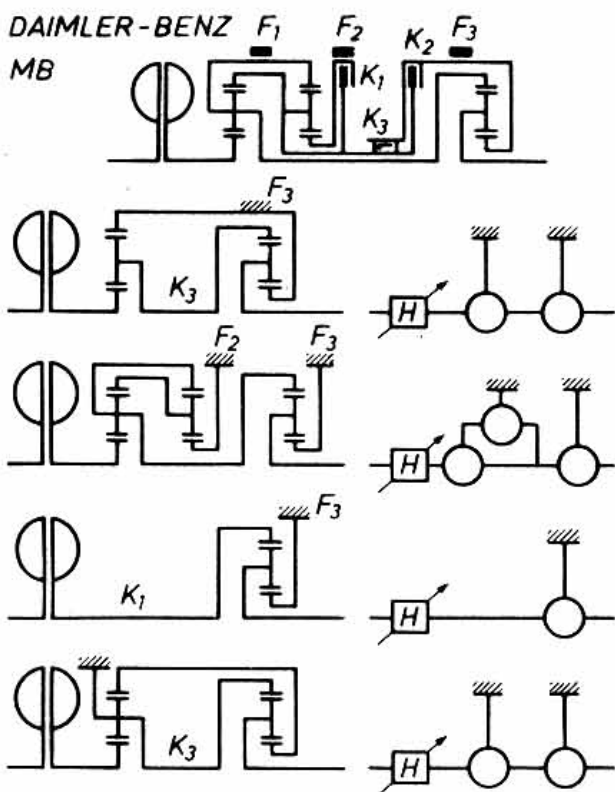


160. ábra

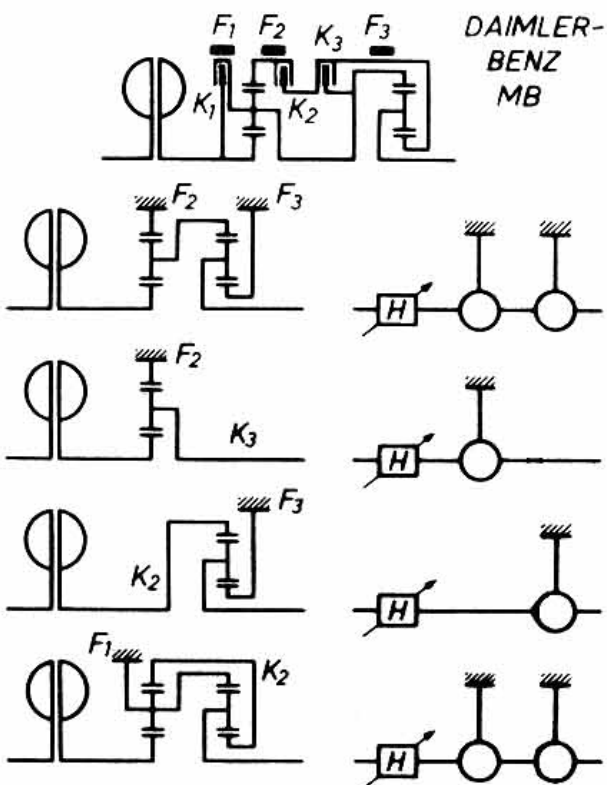
HYDROMATIC



162. ábra



163. ábra



164. ábra

bekötésben szerepelhessen (*melyik?*), s ez eggyel több áttételre ad lehetőséget. A 160. ábrán bemutatott váltómű jellegzetessége, hogy egyidejűleg több féket és tengelykapcsolót kell működtetni, ezt úgy könnyítették meg, hogy a gyakran és egyidejűleg működtetett F_2 és F_3 fékeket, ill. K_2 és K_3 kapcsolókat a valóságban elektromágneses típusra készítették.

A hidrodinamikus tengelykapcsoló mint átkötő elem szerepel a 161. és 162. ábrán, sőt az utóbbin kettő is van belőle. Mint látható, a hidraulikus tengelykapcsoló nem mindig átkötő elem, vannak fokozatok, ahol sorba van kötve. A 163. és 164. ábrán látható megoldásban a tengelykapcsoló mindig sorba van kötve.