Tengelykapcsolók:

Súrlódó tengelykapcsolók

Borbás Lajos
Prof. Emeritus

Tartalomjegyzék

- Súrlódó tengelykapcsolók
  - Főbb tulajdonságok
  - Csoportosítás, erő,- és nyomatékviszonyok vizsgálata
  - Egykúpos dörzskapcsoló
  - Belső kúpos kapcsoló
  - Kúpos dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra
  - Tárcsás tgk.
  - Többlemezes olajos tgk.
  - Súrlódó kapcsolók Indítási folyamatának elemzése

Főbb tulajdonságok

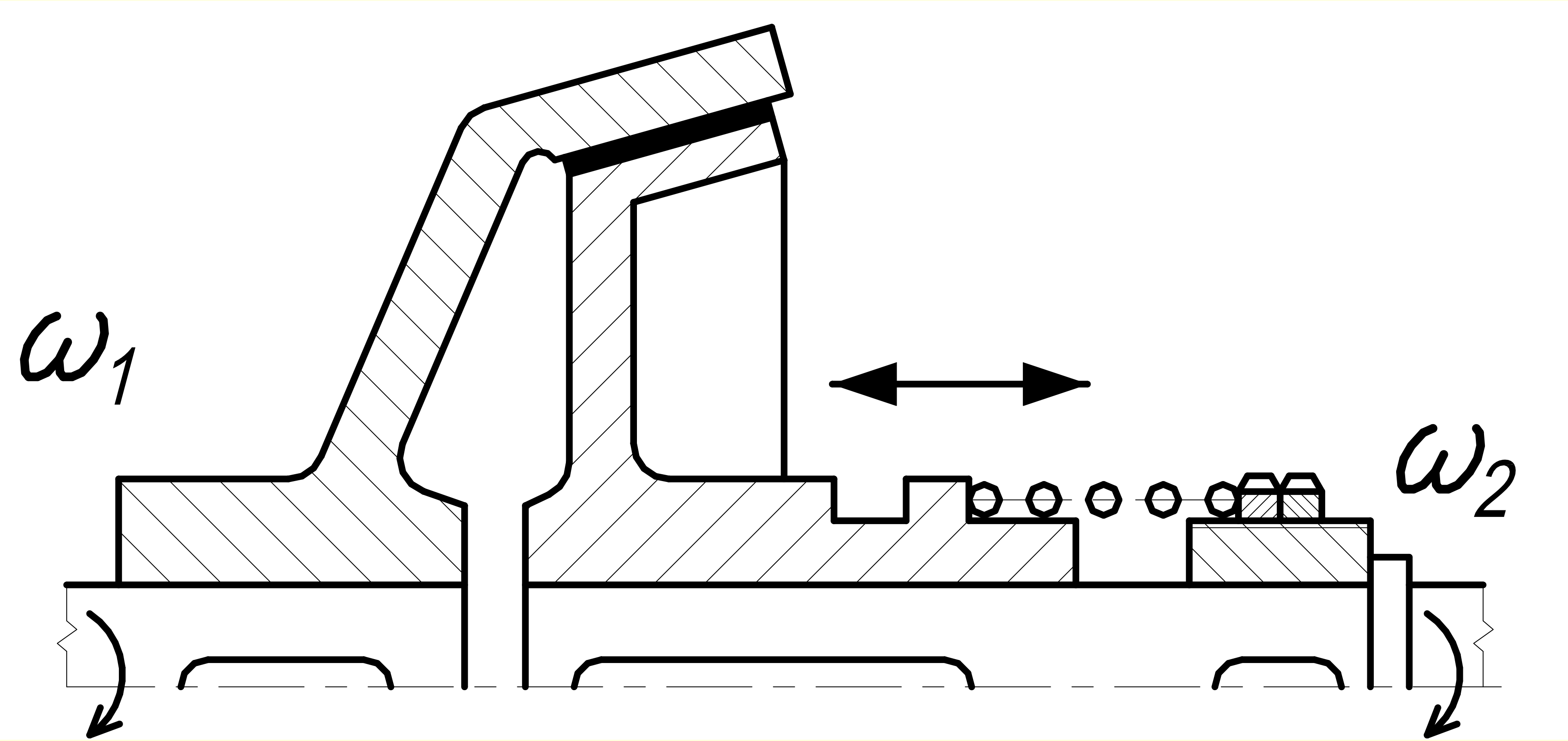
- A nyomatékot súrlódási erő közvetíti.
- Terhelés közben ki-, és bekapcsolhatók.
- Lágy indítást tesznek lehetővé.
- Biztonsági kapcsoló szerepét is betöltheti (nagy nyomaték esetén megcsúszik, tehát korlátozza az átvihető nyomatékot).

Csoportosítás

- A súrlódó felület alakja szerint lehet:
  - Kúpos,
  - Tárcsás,
  - Lemezes,
  - Hengeres.
- Működtetése szerint lehet:
  - Tisztán mechanikus,
  - Elektromos,
  - Pneumatikus,
  - Hidraulikus.

Erő, - és nyomatékviszonyok vizsgálata

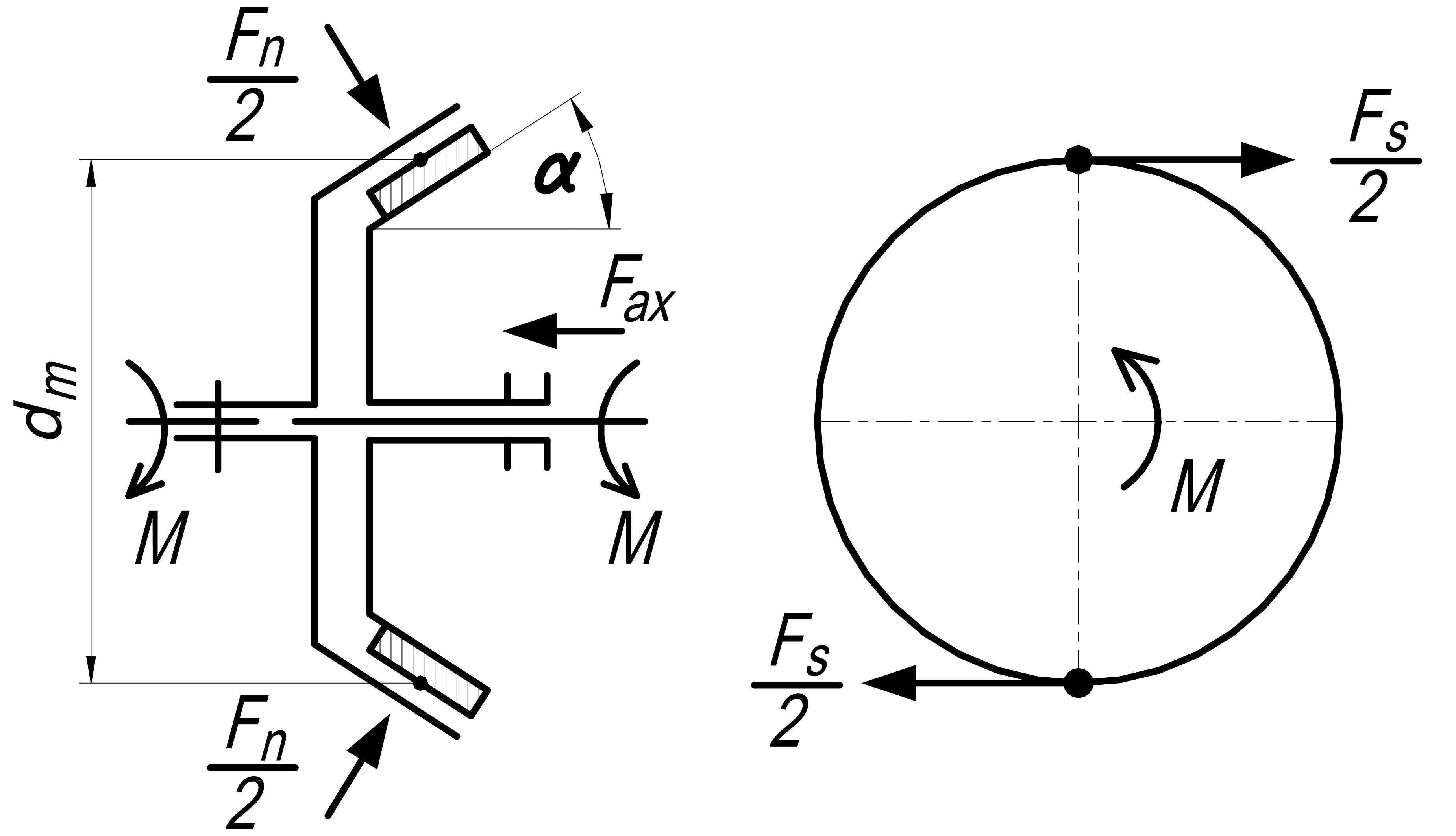
Egykúpos dörzskapcsoló



- **Előnye:** az ékhatás miatt kisebb összeszorító erő kell, mint a tárcsás kapcsolónál.
- **Hátránya:** a rugó axiálisan terheli a csapágyakat.

- Bekapcsolt állapotban rugó szorítja össze a kúpokat.
- Oldás külső erővel történik.

- Mekkora axiális erő kell adott nyomaték átviteléhez?

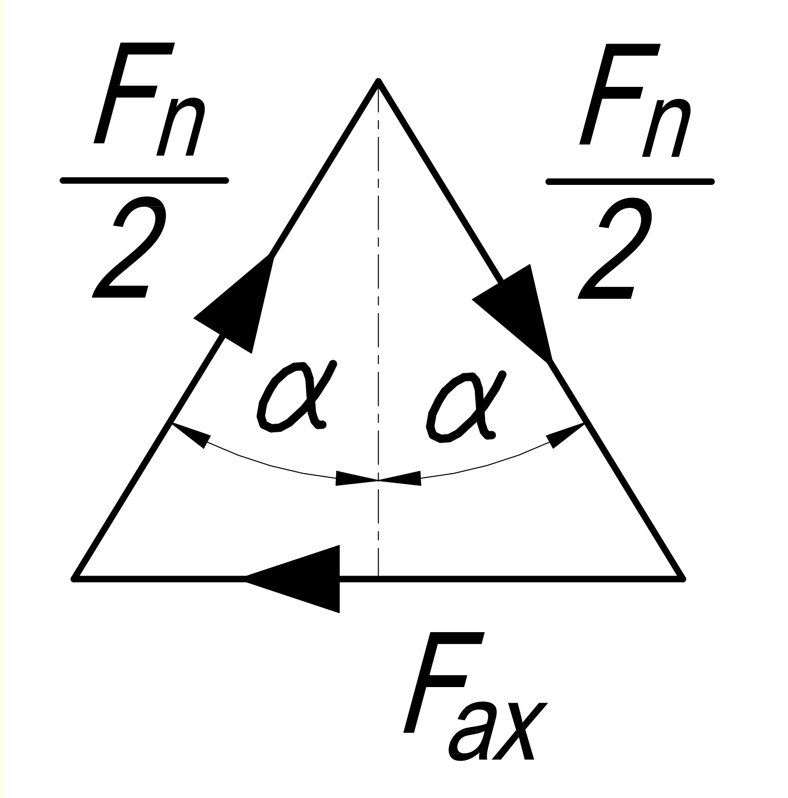


$$M = \frac{F_s}{2} \cdot d_m = \frac{\mu \cdot F_n}{2} \cdot d_m$$

$$F_{ax} = 2 \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \sin\alpha =$$

$$= F_n \cdot \sin\alpha$$

$$F_n = \frac{F_{ax}}{\sin\alpha}$$

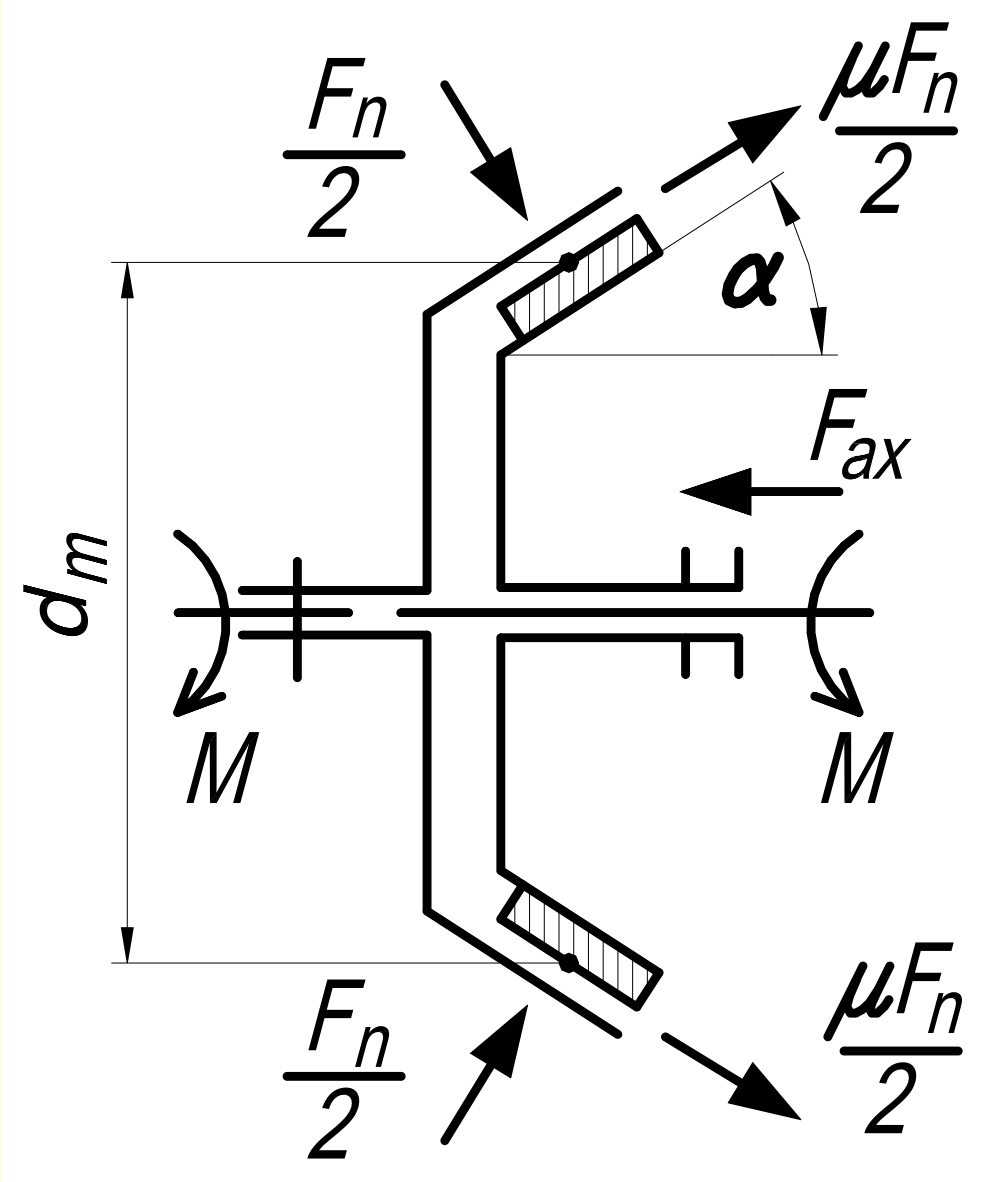


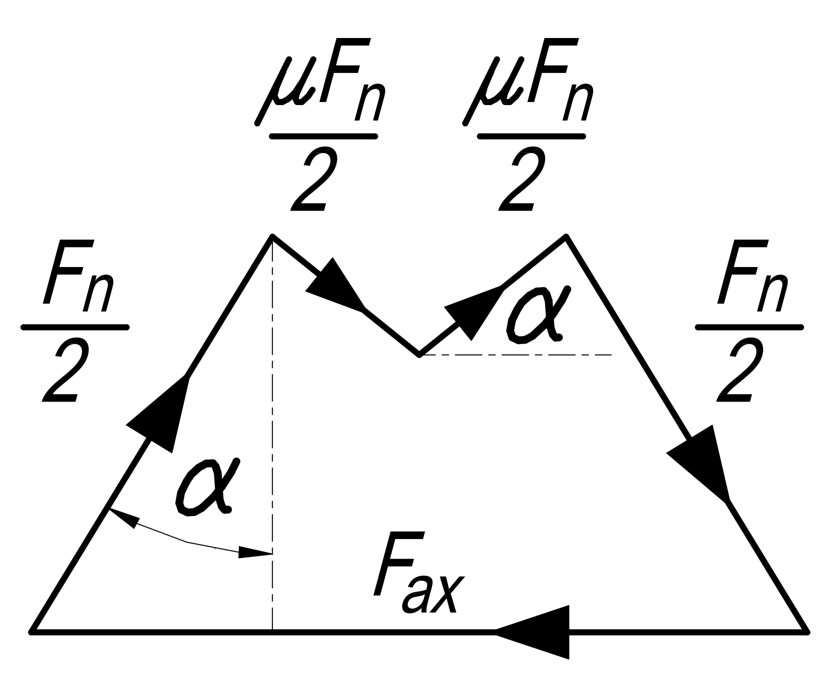
$$\boxed{F_{ax} = \frac{2 \cdot M \cdot \sin\alpha}{\mu \cdot d_m}}$$

- Mekkora a bekapcsoláshoz szükséges axiális erő?

Az axiális erőnek a súrlódást is le kell győznie.

$$M = \frac{F_s}{2} \cdot d_m = \frac{\mu \cdot F_n}{2} \cdot d_m$$





Bekapcsoláskor nagyobb az axiális erő, mint üzem közben.

$$F_{ax} = 2 \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \sin\alpha + 2 \cdot \mu \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \cos\alpha =$$

$$= F_n \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha)$$

$$F_n = \frac{F_{ax}}{\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha}$$

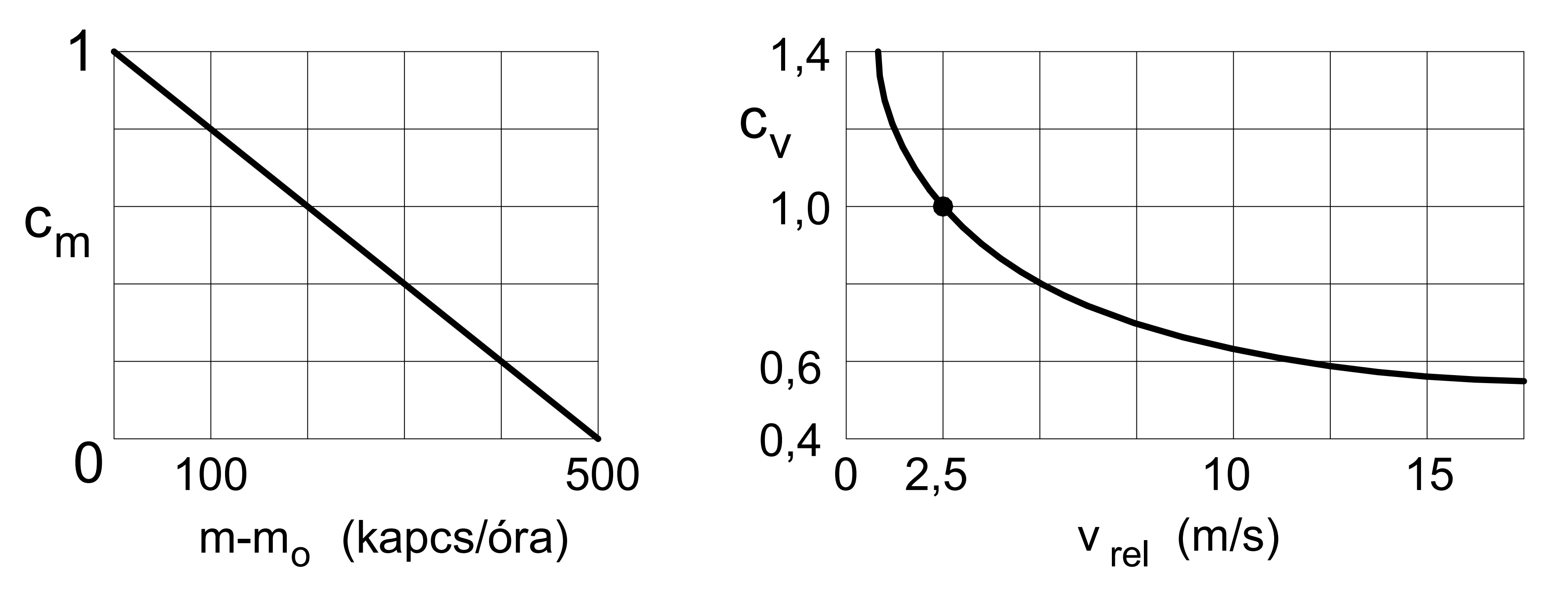
$$\boxed{F_{ax} = \frac{2 \cdot M}{\mu \cdot d_m} \cdot (\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha)}$$

A rugót erre az erőre méretezzük (M-et még korrigáljuk az üzemi körülmények figyelembe vételével).

Kúpos dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a $\mathbf{d_m}$ középátmérő, és **b** kúpalkotó hossz számítását jelenti.
- Tapasztalatból: $\mathbf{c=b/d_m=0,15\text{-}0,20}$
- Méretezési feltétel: $\mathbf{p \leq p_{meg}}$
- Szerkezeti anyag választás => p_{meg}, μ
- A legnagyobb kapcsolónyomatékot az üzemi tényezők figyelembevételével számítjuk
  - n: nyomatéklökések miatti biztonsági tényező (>1)
  - c_m: kapcsolások számától függő tényező (<1)
  - c_v: relatív sebességtől függő tényező (<1)

- Az üzemi tényezőkre tapasztalati adatok vannak.



$m_o = 50 - 100$ (kapcs/óra)

$v_{rel} = d_m \cdot \pi \cdot n_1$

- Kapcsolónyomaték maximuma $M_{k\,max} = \dfrac{n \cdot M_{cs}}{c_m \cdot c_v}$
- Nyomatéki egyensúlyi egyenletből összefüggést kapunk M_{kmax} nyomaték és p_{meg} felületi nyomás között.

$$M_{kmax} = \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot F_n = \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot d_m \cdot \pi \cdot b \cdot p_{meg} =$$

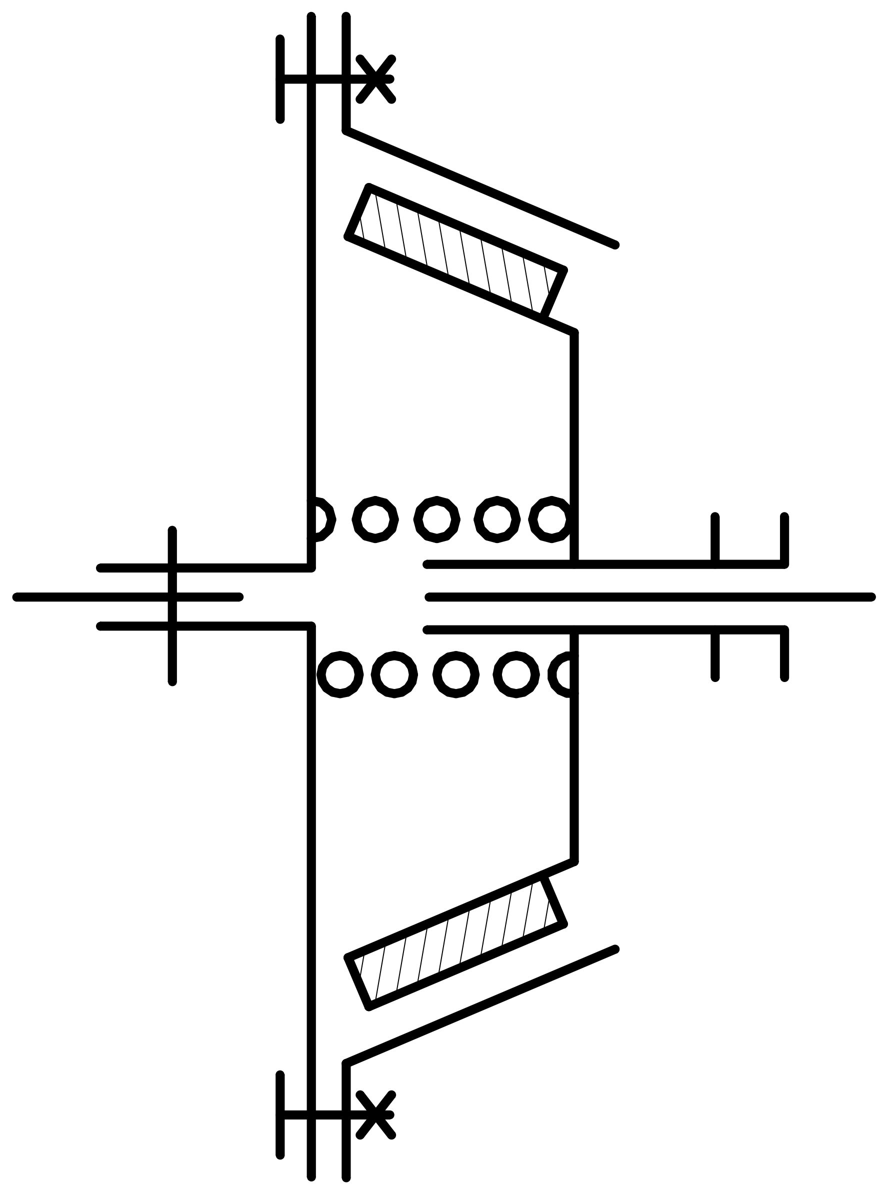
$$= \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot d_m \cdot \pi \cdot c \cdot d_m \cdot p_{meg}$$

$$\boxed{d_m^{\;3} = \frac{2 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot c \cdot p_{meg}}}$$

- b számítható: $b = c \cdot d_m$

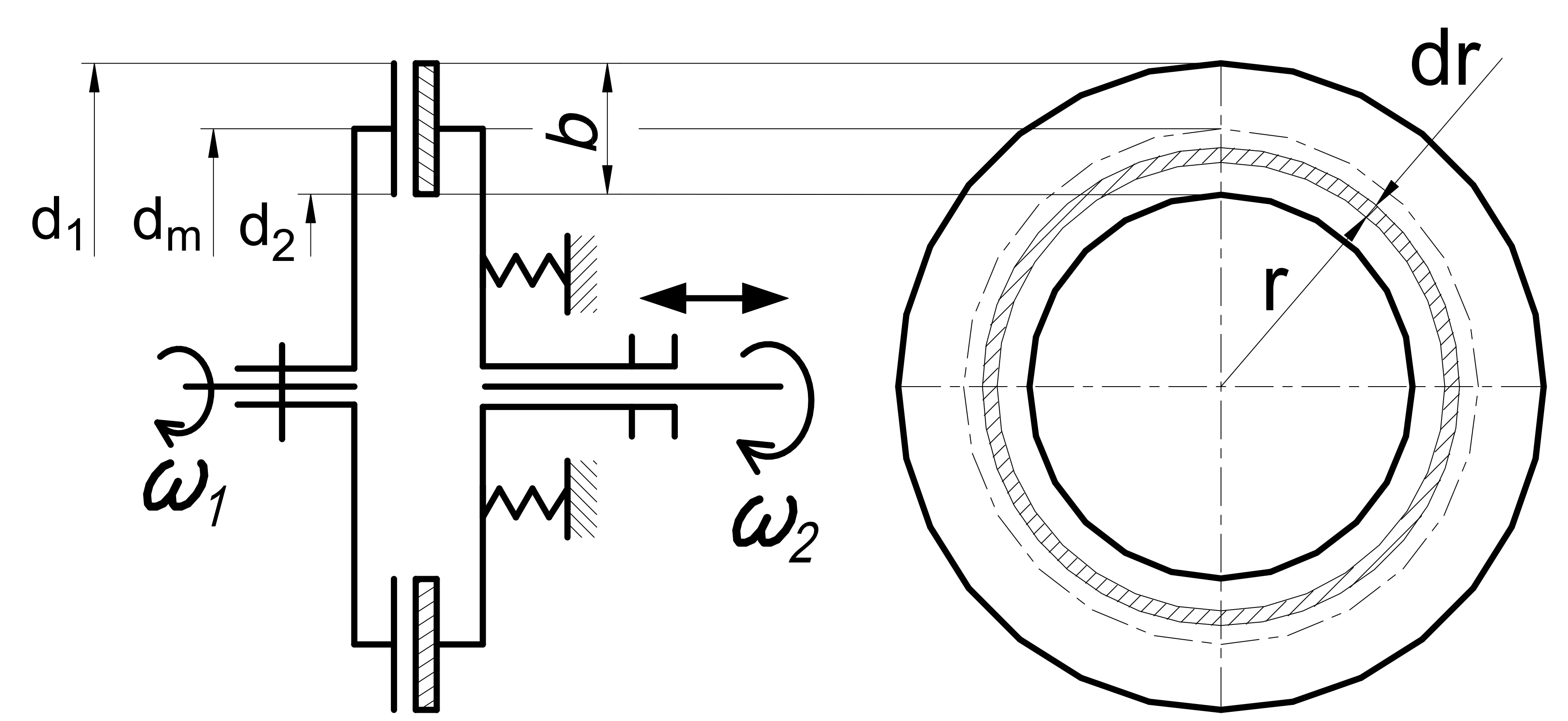
Belső kúpos kapcsoló

- Axiális terhelés nem hat a csapágyakra a rugóerőből.



Tárcsás dörzskapcsolók

- Néhány, nagy átmérőjű, körgyűrű alakú, súrlódó felületpár van.
- Általában szárazon üzemelnek.



Egy súrlódó felületpár

Tárcsás dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a **d_m** középátmérő, és **b** gyűrűszélesség számítását jelenti.
- Tapasztalatból: **$c=b/d_m=0,11\text{-}0,13$**
- Méretezési feltétel: **$p \leq p_{meg}$**
- Szerkezeti anyag választás => p_{meg}, μ
- A legnagyobb kapcsolónyomatékot az üzemi tényezők figyelembevételével számítjuk
  - n: nyomatéklökések miatti biztonsági tényező (>1)
  - c_m: kapcsolások számától függő tényező (<1)
  - c_v: relatív sebességtől függő tényező (<1)

- Kapcsolónyomaték maximuma $M_{k\,max} = \dfrac{n \cdot M_{cs}}{c_m \cdot c_v}$

- Nyomatéki egyensúlyi egyenletből összefüggést kapunk M_{kmax} nyomaték és p_{meg} felületi nyomás között.

$$M_{kmax} = \int_{r_2}^{r_1} r \cdot \mu \, dF_n = \int_{r_2}^{r_1} r \cdot \mu \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \, dr \cdot p_{meg} = \blacksquare$$

$$\blacksquare = 2 \cdot \mu \cdot \pi \cdot p_{meg} \int_{r_2}^{r_1} r^2 \, dr = 2 \cdot \mu \cdot \pi \cdot p_{meg} \cdot \frac{\left(r_1{}^3 - r_2{}^3\right)}{3}$$

Felhasználva:

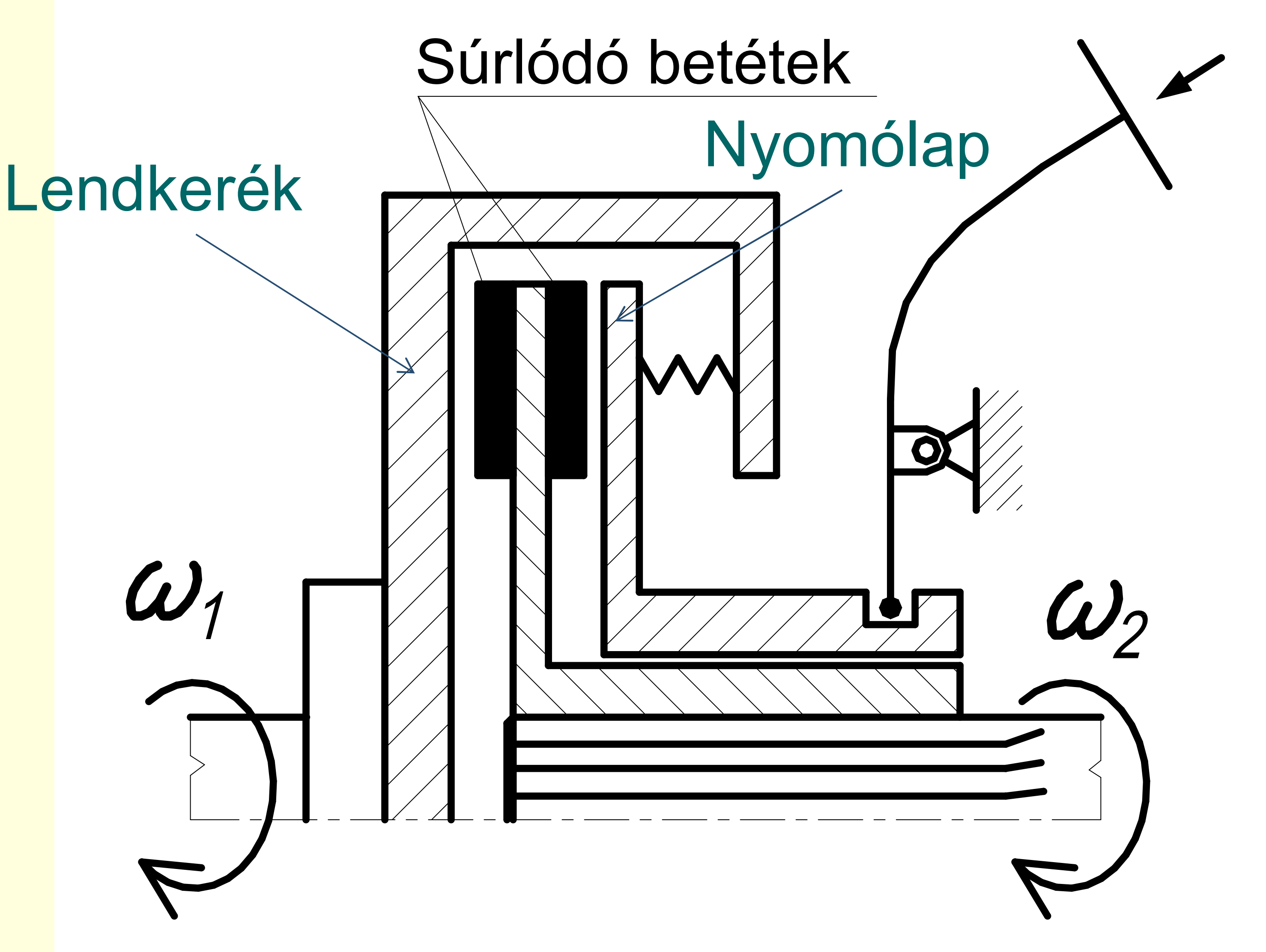
$$r_1 = \frac{d_m + b}{2} = \frac{d_m + c \cdot d_m}{2} = \frac{d_m}{2} \cdot (1 + c)$$

$$r_2 = \frac{d_m - b}{2} = \frac{d_{.m} - c \cdot d_m}{2} = \frac{d_m}{2} \cdot (1 - c)$$

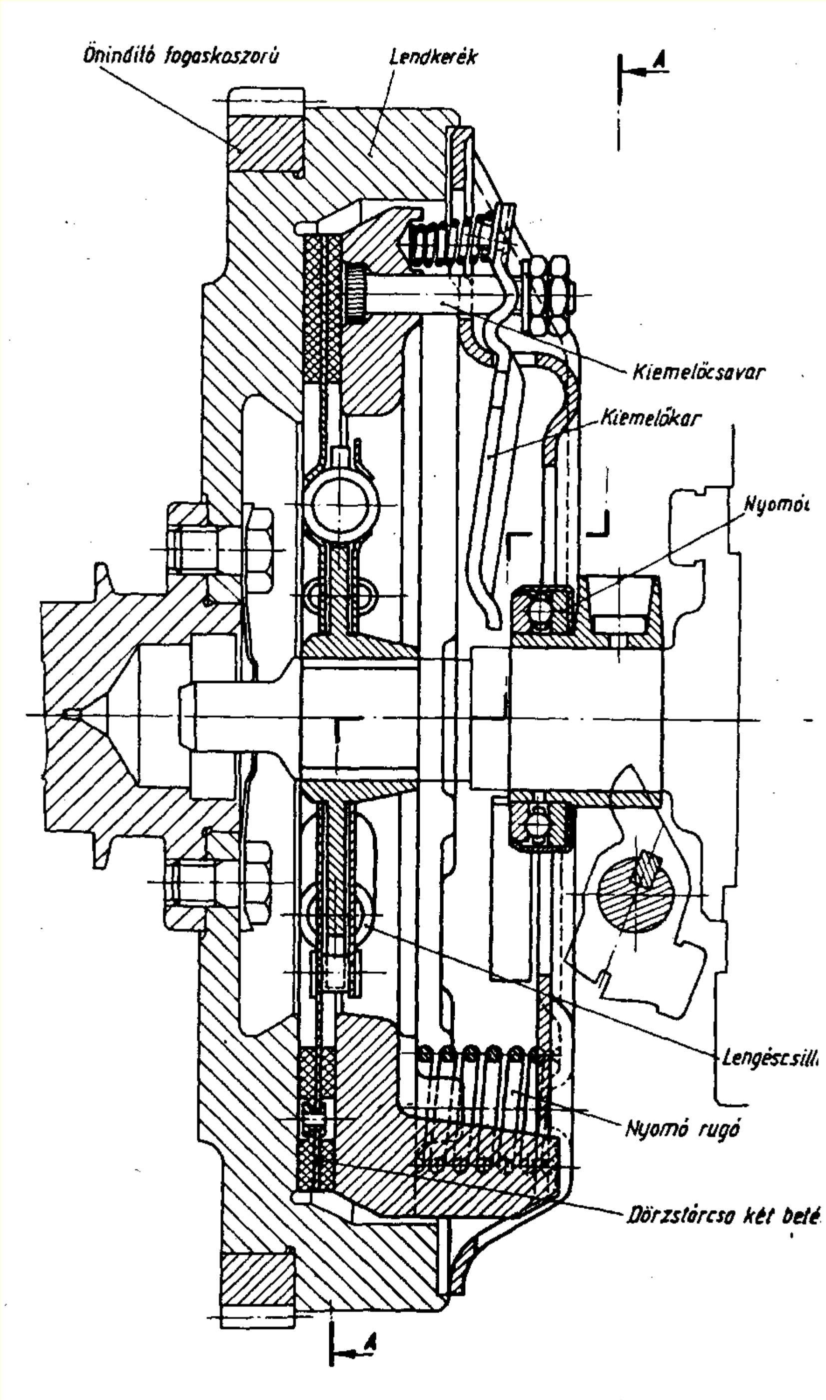
$$d_m^{\,3} = \frac{6 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot \left(3 \cdot c + c^3\right) \cdot p_{meg}}$$

- b számítható: $b = c \cdot d_m$

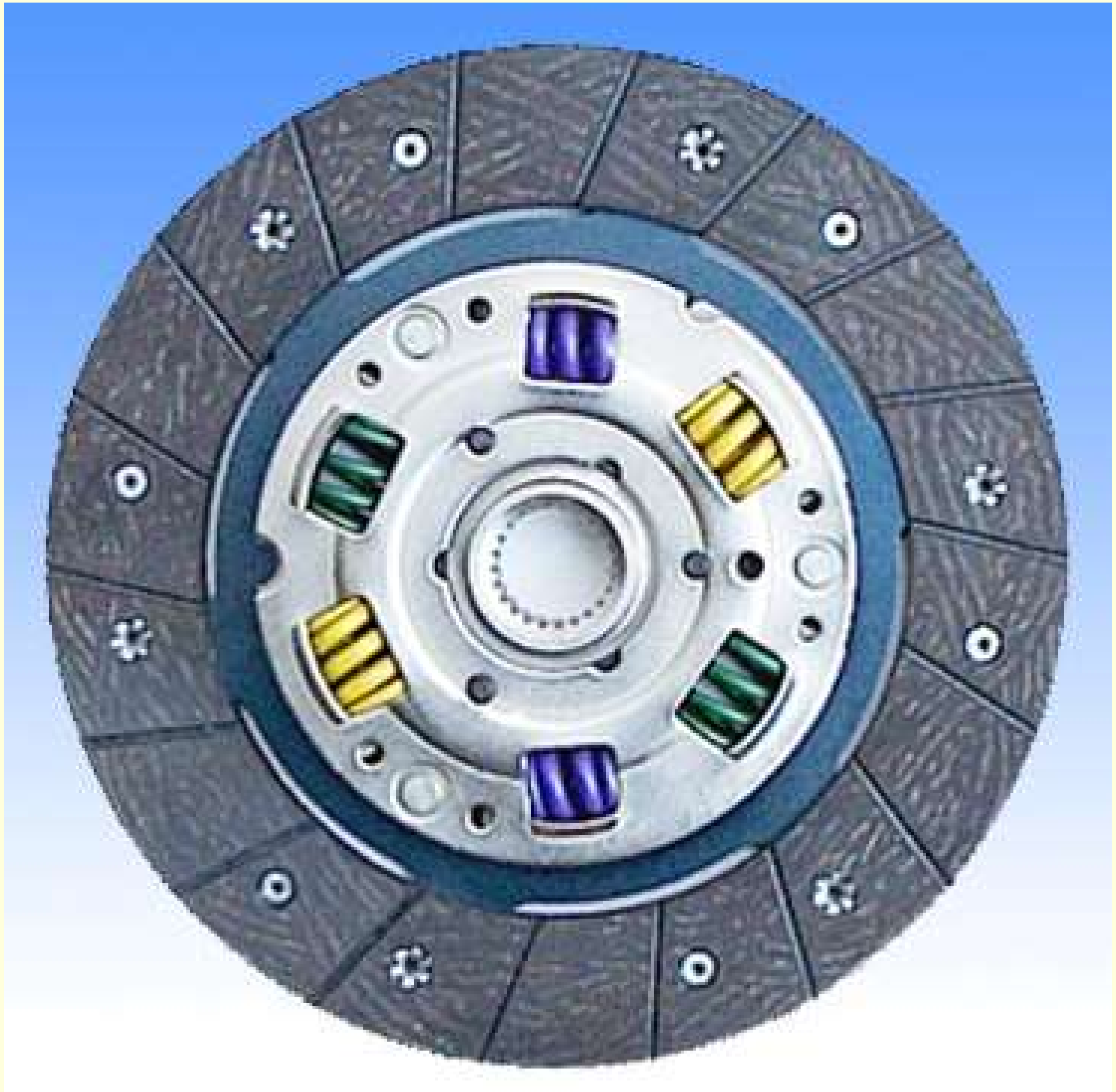
Tárcsás dörzskapcsoló gépkocsiban
Kinematikai (működési) vázlat



Két súrlódó felületpár

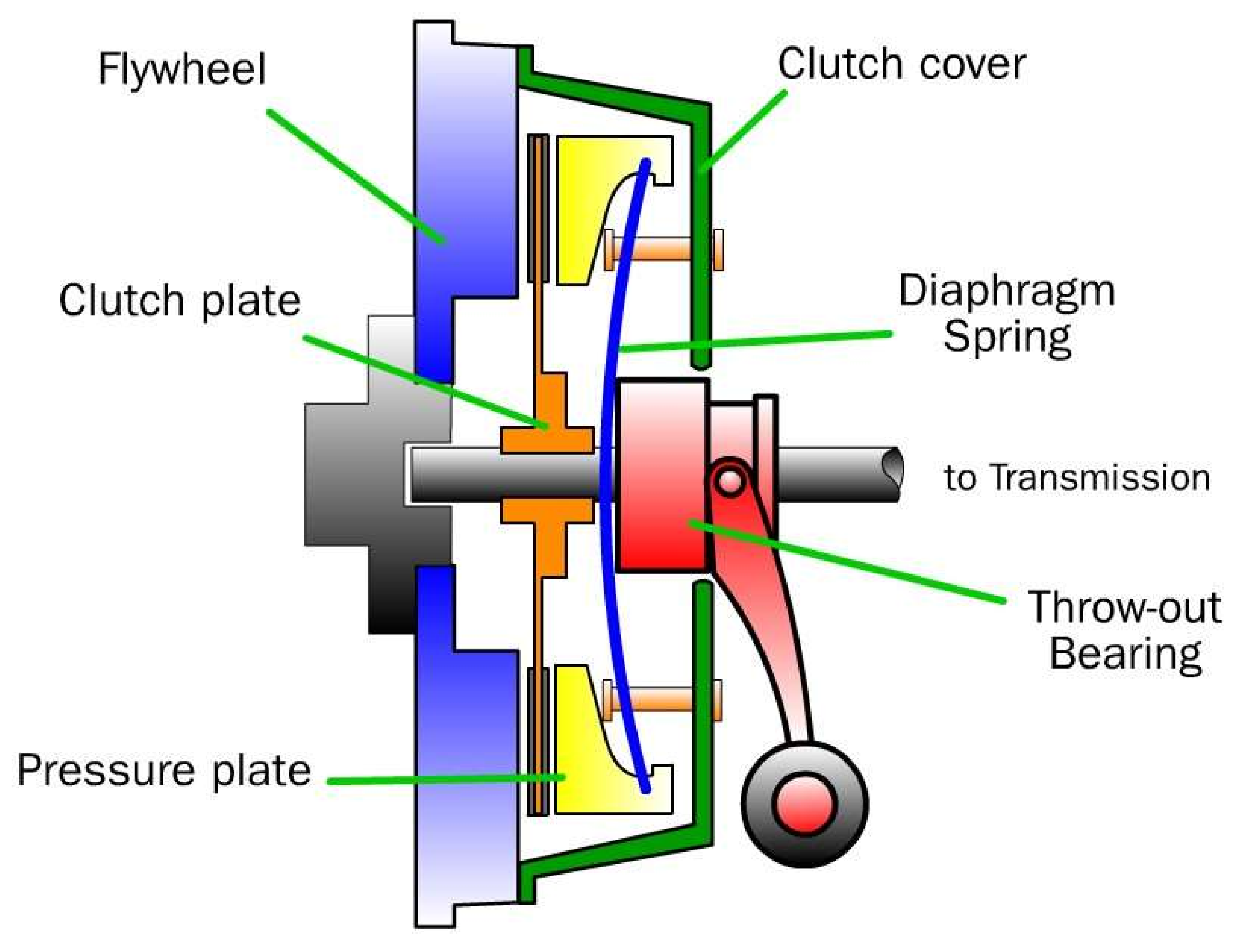


Önindító fogaskoszorú
Lendkerék
A
Kiemelőcsavar
Kiemelőkar
Nyomó
Lengéscsill
Nyomó rugó
Dörzstárcsa két beté
A

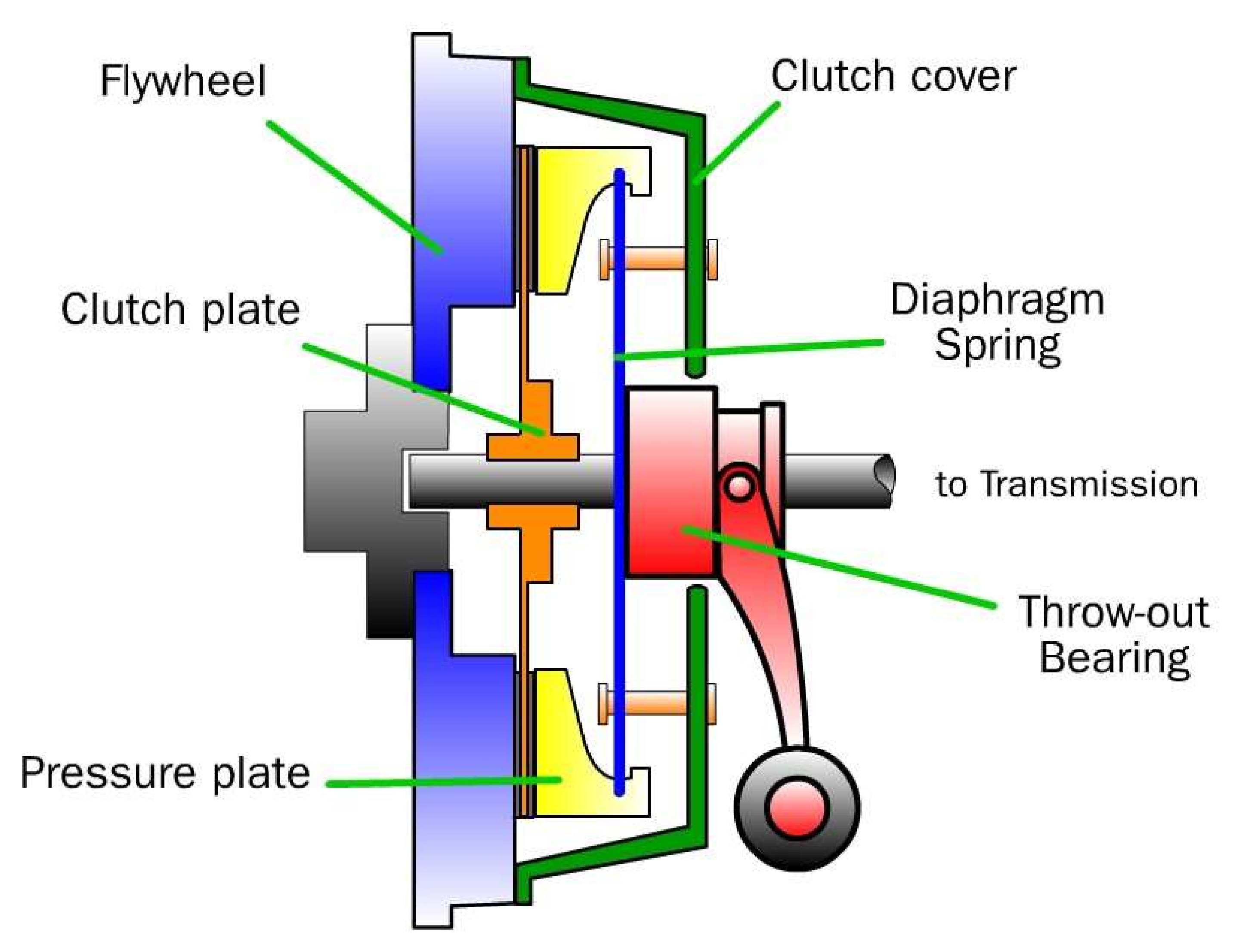


- Kuplungtárcsa

Központi rugós dörzskapcsoló gépkocsihoz

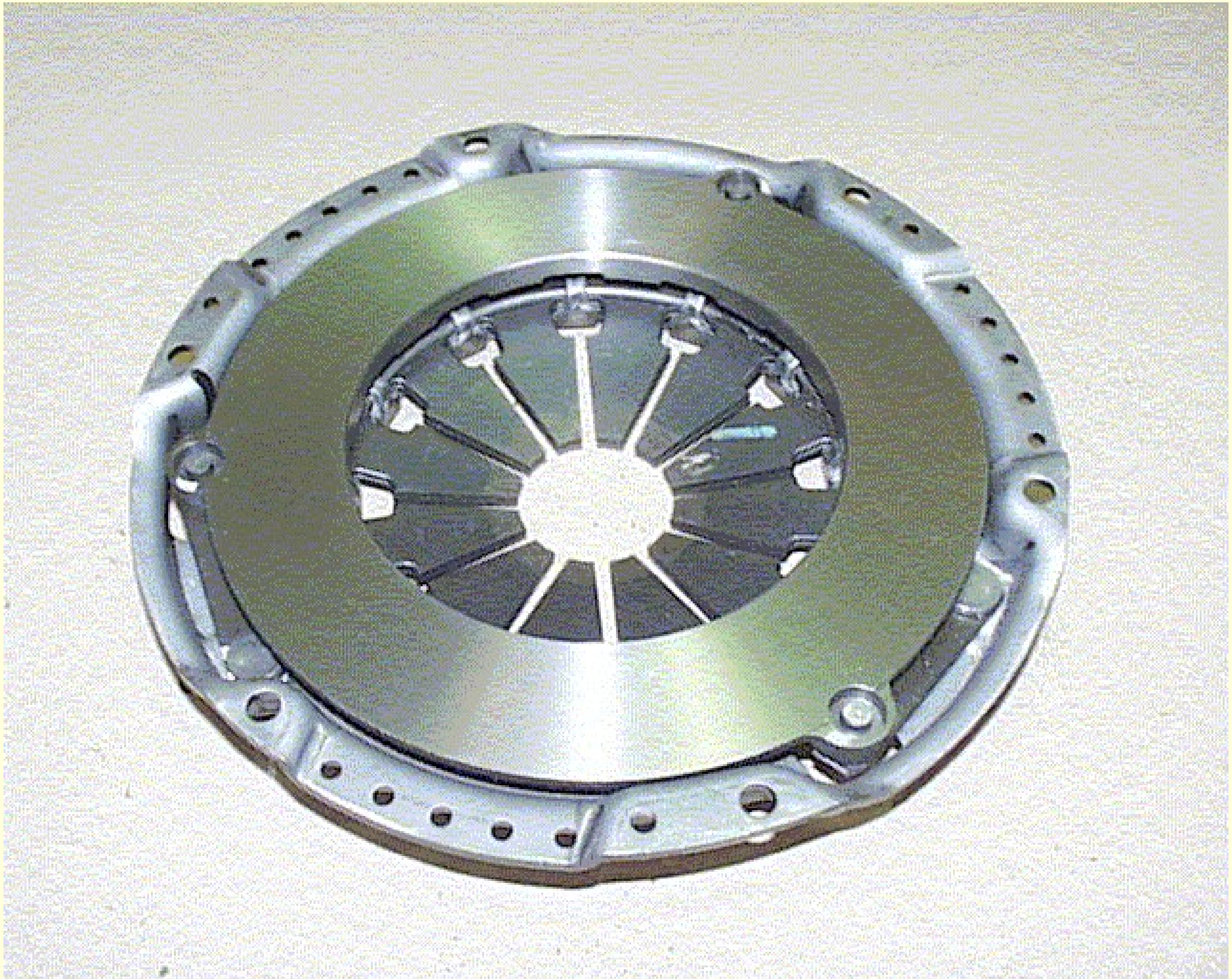


Oldott állapot



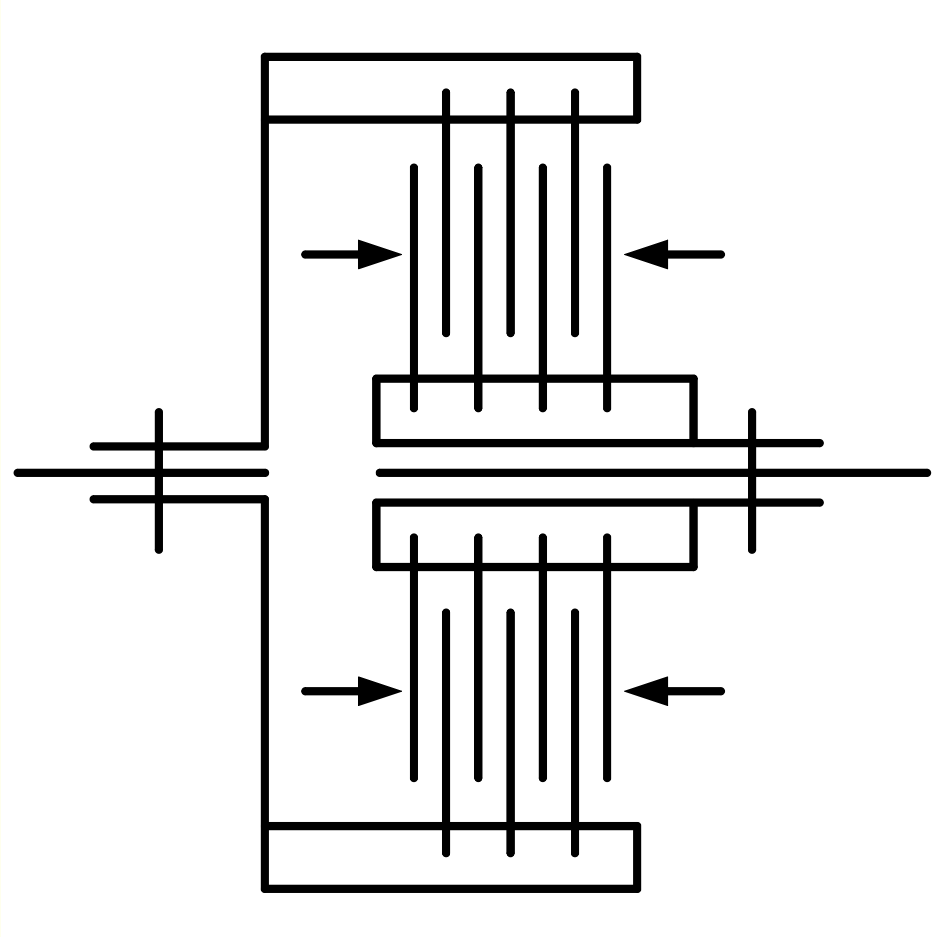
Bekapcsolt állapot

Szerkezeti kialakítás

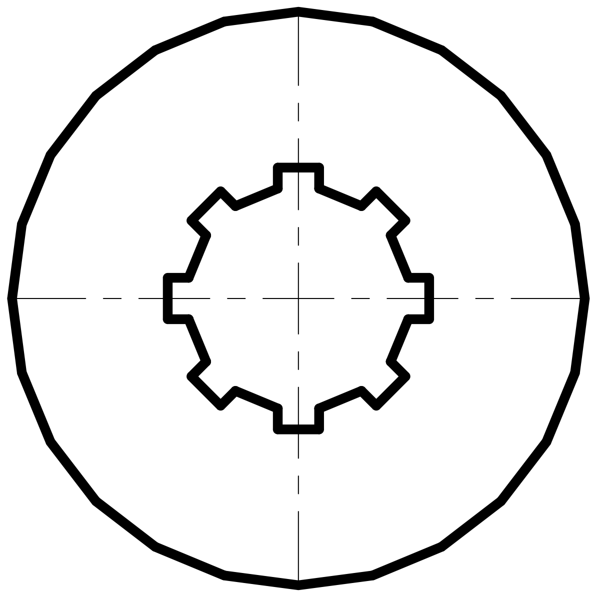


Többlemezes olajos tengelykapcsoló

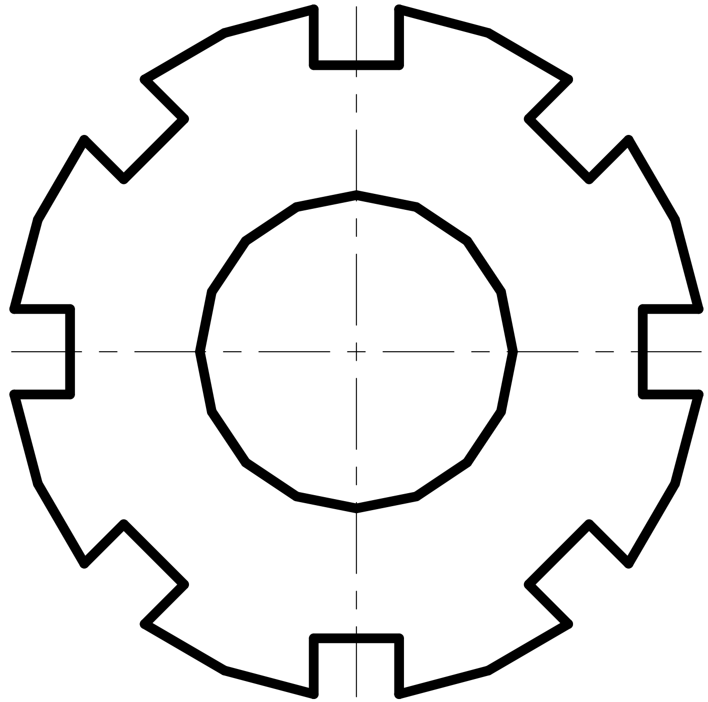
- Sok, kis átmérőjű, körgyűrű alakú, súrlódó felületpár van.
- Szárazon vagy olajkenéssel is üzemelhet.



Belsõ tárcsa



Külsõ tárcsa



Emelő villás (Ortlinghaus) kivitel

Lemezes dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a **z** súrlódó felületpárok számának meghatározását jelenti.
- Tapasztalatból: $\mathbf{c=b/d_m=0,1\text{-}0,25}$
- A méretezés további lépései a tárcsás dörzskapcsolóéval megegyeznek.

$$d_m^{\,3} = \frac{6 \cdot \dfrac{M_{kmax}}{z}}{\mu \cdot \pi \cdot \left(3 \cdot c + c^3\right) \cdot p_{meg}}$$

Súrlódó felületpárok szükséges száma:

$$\boxed{z = \frac{6 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot \left(3 \cdot c + c^3\right) \cdot p_{meg} \cdot d_m^{\,3}}}$$

Külsõ fogazatú lemezek száma: $z_k = \dfrac{z}{2}$

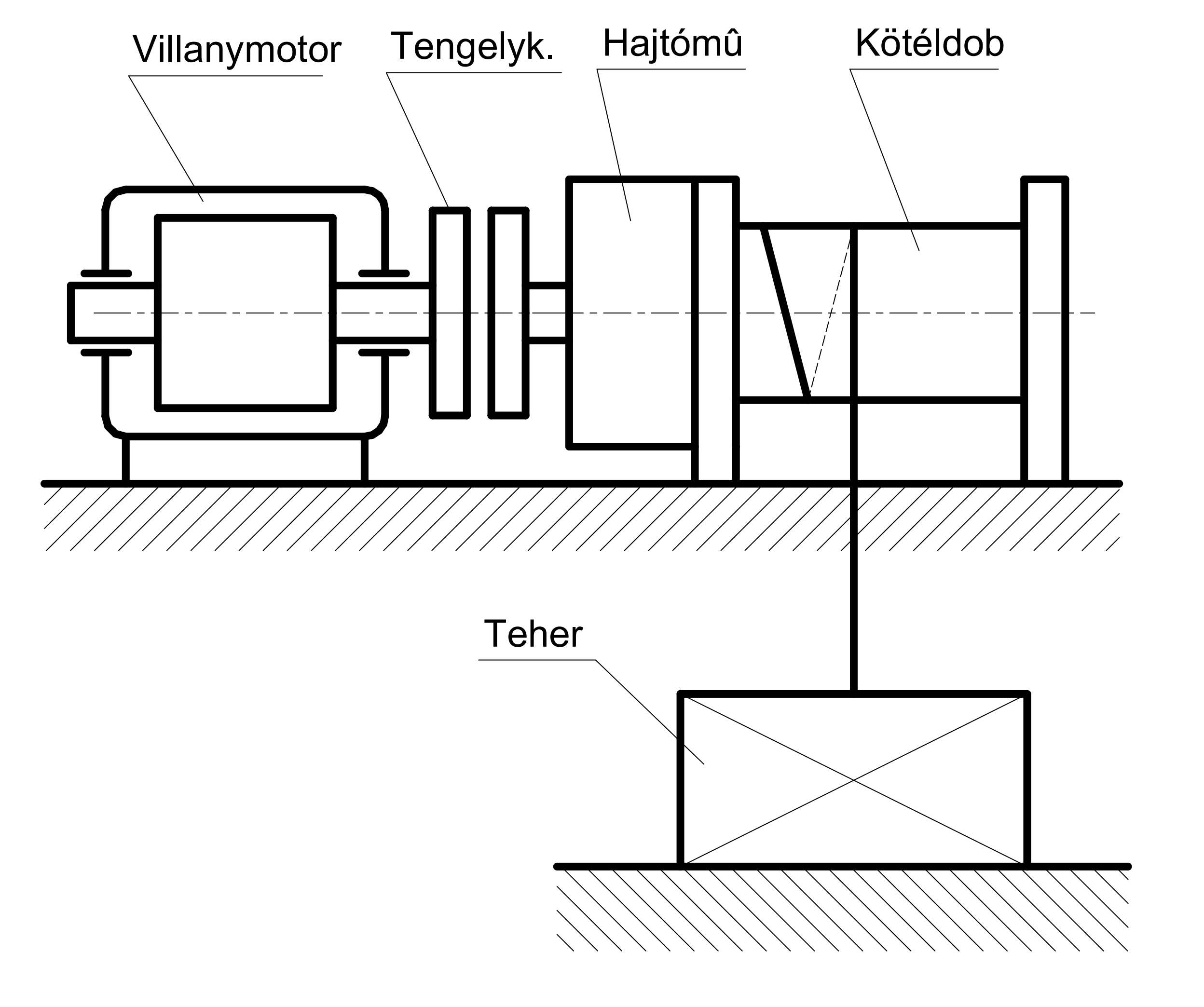
Belsõ fogazatú lemezek száma: $z_b = z_k + 1$

Tengelykapcsolók: súrlódó kapcsolók

Súrlódó tengelykapcsolók indítási folyamata

A vizsgált jelenség

- Villanymotoros hajtással terhet emelünk.



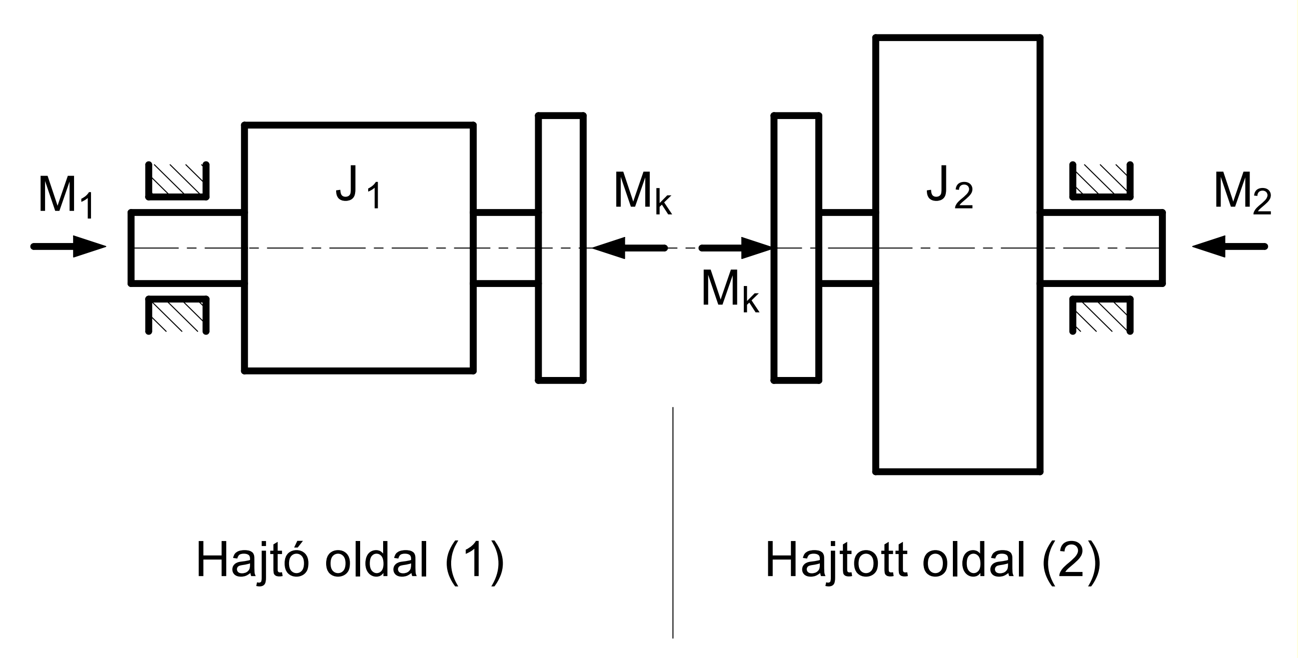
- A motor rövidrezárt forgórészű asszinkron motor, tehát fordulatszámtartó jelleggörbéjû.
- A vizsgálat kezdetekor a motor terheletlenül forog (ω_1), mert a tengelykapcsoló oldva van.
- A teher a padlón támaszkodik, és az emelõkötél feszültségmentes, de nem laza.
- A súrlódó tengelykapcsolót fokozatosan kapcsoljuk be. A kapcsolófeleket összeszorító erõ t_{max} megadott idõ alatt egyenletesen növekedve éri el a maximumot. A kapcsolónyomaték is így változik: 0-ról lineárisan nõ a maximumig (M_{kmax}).

Kérdések és feladatok

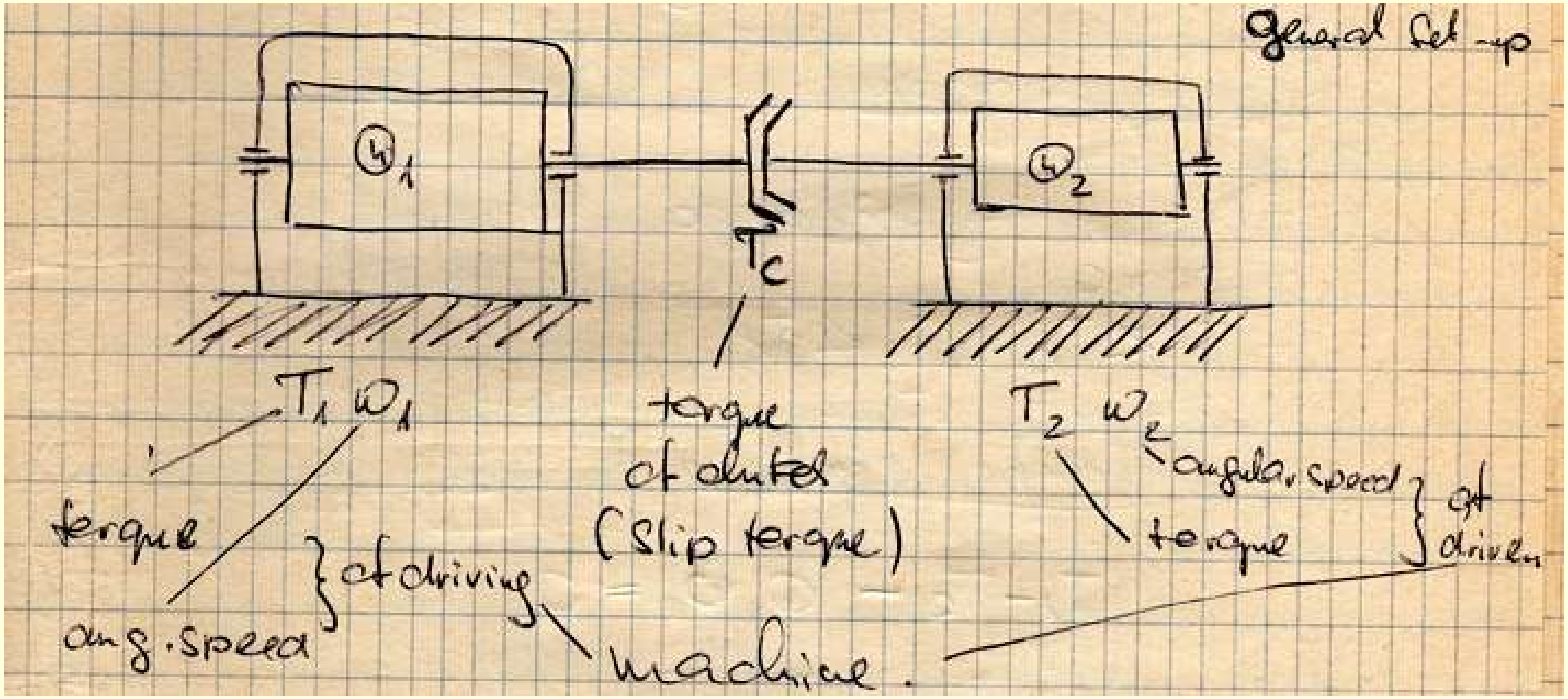
- Mennyi ideig tart a tengelykapcsoló csúszása?
- Mennyi a súrlódási munka (azaz mennyi hő fejlődik egy kapcsolási folyamat alatt)?
- Méretezzük a tengelykapcsolót!
- Melegedésre ellenőrizzük a tengelykapcsolót!

A motortengelyre redukált hajtás

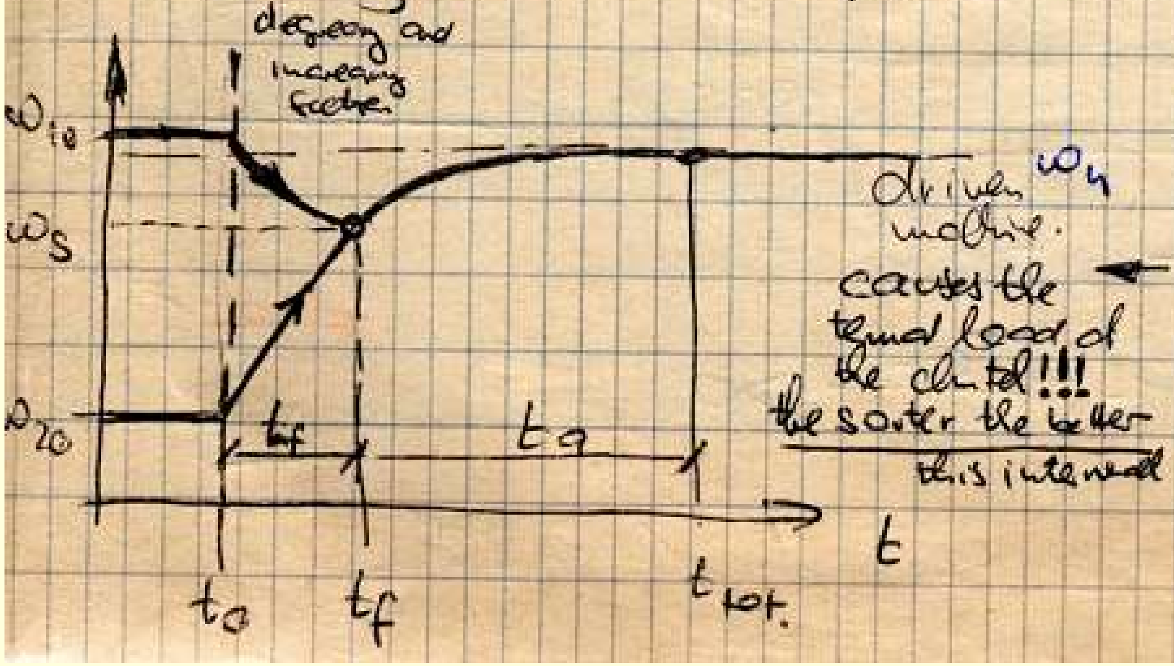
- Egyszerűbb a feladat vizsgálata, ha minden mozgó tömeget és terhet a motortengelyre redukálunk. A redukálást most nem végezzük el, hanem adottnak vesszük.



- Az 1-es index a hajtó oldalra utal a 2-es a hajtott oldalra.


General set-up
ω_1
ω_2
T_C
T_1 ω_1
torque
ang. speed
of driving
torque
of clutch
(slip torque)
T_2 ω_2
angular speed
torque
of driven
machine.

The starting process is represented on next figure:



angular velocity.

ω_{10} = } starting speeds at
ω_{20} = } time $t_0=0$

t_f = sliping period

t_{tot} = total time

t_a = acceleration period

ω_n = nominal speed of driven machine

ω_s = synchron speed.

Ismert adatok

Hajtó oldal szögsebessége állandó: $\omega_1 = 26.6 \cdot \frac{1}{s}$

A hajtott oldal megmozdulása után a hajtott oldalt terhelõ nyomaték állandó. Ennek névleges értéke: $M_{2nv} = 600 \cdot Nm$

A hajtott oldal tehetetlenségi nyomatéka: $J_2 = 30 \cdot Nm \cdot s^2$

A kapcsolónyomaték maximuma indításkor: $M_{kmax} = 1080 \cdot Nm$

A maximális nyomaték eléréséig eltelt idõ: $t_{max} = 2 \cdot s$

A jelenség vizsgálata

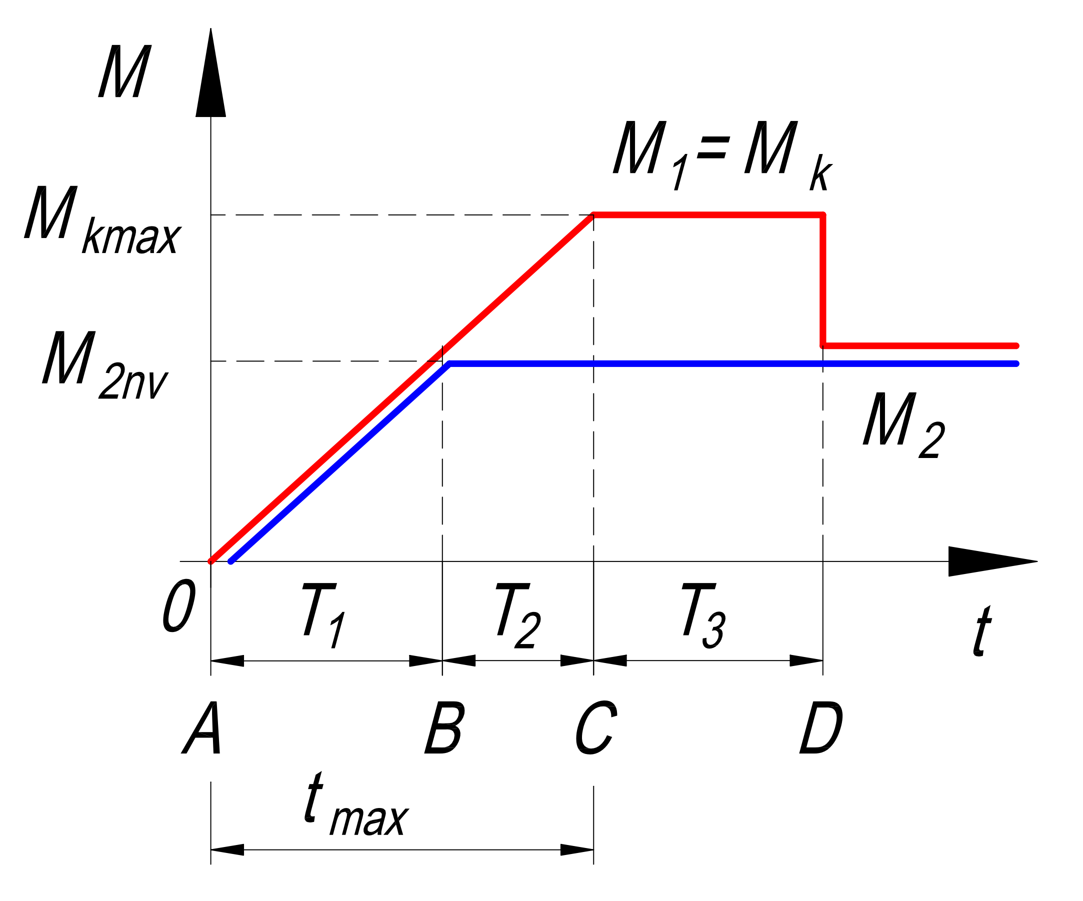
- A feladatban gyorsuló mozgást végző forgó tömegek vannak, ezért egy dinamikai feladattal állunk szemben.
- Dinamikai feladatoknál a mozgásegyenletek vizsgálatából kell kiindulni. Ezek az egyenletek minden időpillanatban érvényesek.

$$M_1(t) - M_k(t) = J_1 \cdot \varepsilon_1(t) \qquad (1)$$

$$M_k(t) - M_2(t) = J_2 \cdot \varepsilon_2(t) \qquad (2)$$

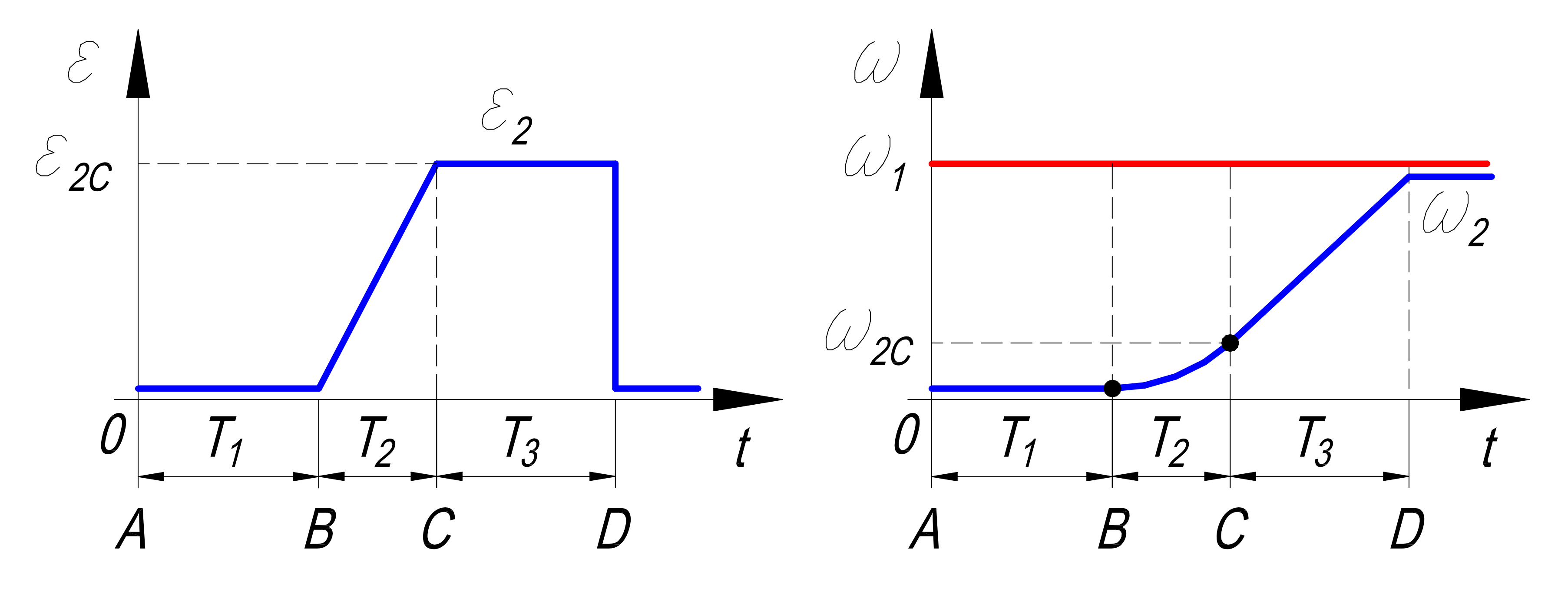
- A fenti két egyenlet és az adatok vizsgálatából be fogjuk látni, hogy a nyomatékok, szöggyorsulások és szögsebességek a következő függvények szerint változnak az időben.

- Nyomatékok



Az (1) összefüggésből megállapítható, hogy $M_1(t)=M_k(t)$ mert ω_1 állandó és így $\varepsilon_1=0$. A nyomatékok és a szöggyorsulások időben változnak, de jellegzetes szakaszokból állnak.

Szöggyorsulások és szöggsebességek



A kapcsolódás első szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, de a hajtott oldal nem mozdul meg.

Legyen t=0 idõpont a bekapcsolás pillanata. Ezt jelöljük t_A-val.

$$M_k(t) = \frac{M_{kmax}}{t_{max}} \cdot t \quad , \quad \varepsilon_2(t) = 0 \quad \rightarrow \quad M_2(t) = M_k(t)$$

Ez az idõszak akkor ér véget, ha $M_2(t)$ elérte a maximális értékét.
Ezt az idõpontot jelöljük t_B-vel.

$$M_{2max} = \frac{M_{kmax}}{t_{max}} \cdot t_B \quad \rightarrow \quad t_B = \frac{M_{2nv}}{M_{kmax}} \cdot t_{max} = \frac{600}{1080} \cdot 2 = 1.11 \cdot s$$

Az elsõ idõszak hossza tehát: $T_1 = t_B$ $\qquad T_1 = 1.11 \cdot s$

A kapcsolódás második szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, és a kapcsolónyomaték még nem érte el a maximumot.

Ez az idõszak a t_B idõpontban kezdõdik és a t_{max} idõpontban fejezõdik be.

A befejezés idõpontját jelöljük t_C-vel, azaz: $t_C = t_{max}$

A második idõszak hossza tehát: $T_2 = t_C - t_B = 2 - 1.11 = 0.89 \cdot s$

A hajtott oldal nem foroghat gyorsabban, minta hajtó, ezért ellenőrizni kell, hogy az időszak végén a hajtott oldal szögsebessége kisebb, vagy egyenlő-e, mint a hajtó oldalé.

Először a szöggyorsulást számoljuk, majd a szögsebességet.

A (2) egyenlet alapján: $\varepsilon_2(t) = \dfrac{M_k(t) - M_{2nv}}{J_2}$ lineáris függvény.

Idõszak elején: $\varepsilon_{2B} = \varepsilon_2(t_B) = \dfrac{600 - 600}{30} = 0 \cdot \dfrac{1}{s^2}$

Idõszak végén: $\varepsilon_{2C} = \varepsilon_2(t_C) = \dfrac{M_{kmax} - M_{2nv}}{J_2} = \dfrac{1080 - 600}{30} = 16 \cdot \dfrac{1}{s^2}$

A szögsebesség az időszak végén egyenlő a szögygorsulás függvény integráljával, azaz a görbe alatti területtel. A görbe egy egyenes, ezért egy háromszög területét kell kiszámolni.

$$\omega_{2C} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{2C} \cdot T_2 = \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 0.89 = 7.11 \cdot \frac{1}{s}$$

Ez kisebb, mint $\omega_1 = 26.6 \dfrac{1}{s}$ hajtó szögsebesség, tehát megfelel.

A kapcsolódás harmadik szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, és a kapcsolónyomaték a maximális.

Ez az időszak a t_C időpontban kezdődik és a t_D időpontban fejeződik be.

A harmadik szakaszban állandó nagyságú a kapcsolónyomaték és a terhelőnyomaték is, ezért a (2)-es egyenletből megállapítható, hogy a szöggyorsulás is állandó.

A szögsebességváltozást a szöggyorsulás függvény alatti terület adja meg a CD tartományban.

$$\omega_{2D} - \omega_{2C} = \varepsilon_{2C} \cdot T_3$$

A T_3 idõpontban azonban $\omega_{2D} = \omega_1$ ismert, ezért T_3 számítható.

$$T_3 = \frac{\omega_1 - \omega_{2C}}{\varepsilon_{2C}} = \frac{26.6 - 7.11}{16} = 1.22 \cdot s$$

Az indítás teljes ideje alatt most már:

ismertek a

nyomatékok,

szögsebességek és

idők, ezért

számíthatók a

teljesítmények és

munkák.

Teljesítmények

A megfelelő nyomatékokat és szögsebességeket kell összeszorozni.

A következő teljesítményeket számoljuk ki:

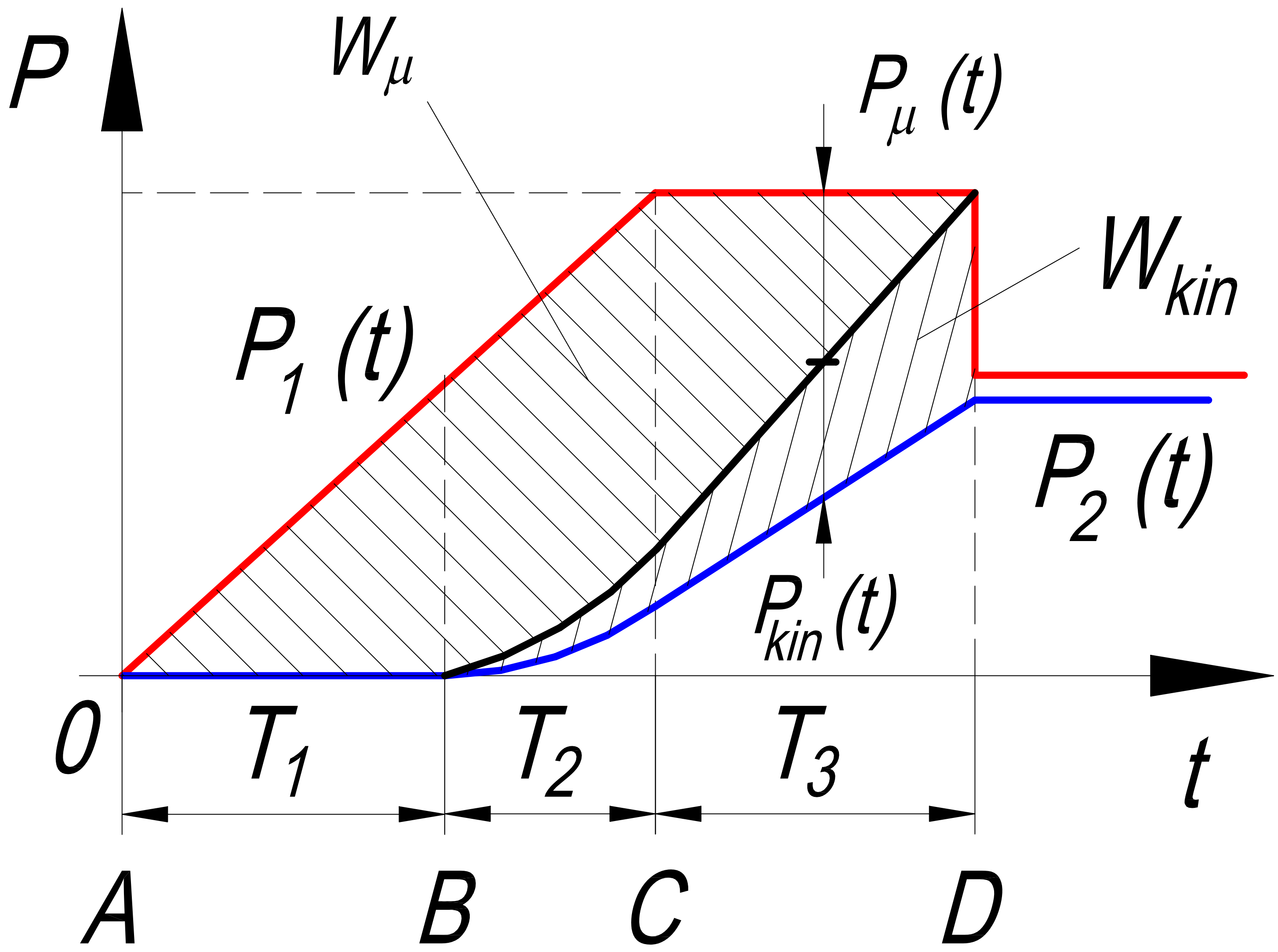
Hajtó oldalon bevezetett telj.: $P_1(t) = M_1(t) \cdot \omega_1$

Hajtott oldalon leadott telj.: $P_2(t) = M_2(t) \cdot \omega_2(t)$

Hajtott oldal gyorsítására fordított telj.: $P_{kin}(t) = \left(M_k(t) - M_2(t)\right) \cdot \omega_2(t)$

Súrlódási telj. $P_\mu(t)$

A teljesítmények időbeli alakulására a következő függvényeket kapjuk.



P
W_μ
$P_\mu (t)$
W_{kin}
$P_1 (t)$
$P_2 (t)$
$P_{kin} (t)$
0
T_1
T_2
T_3
t
A
B
C
D

- A függvényértéke a jellegzetes pontokban

$$P_{1B} = M_{1B} \cdot \omega_{1B} = M_{2nv} \cdot \omega_1 = 600 \cdot 26.6 = 15960 \cdot W$$

$$P_{1C} = M_{1C} \cdot \omega_{1C} = M_{kmax} \cdot \omega_1 = 1080 \cdot 26.6 = 28728 \cdot W$$

$$P_{2C} = M_{2C} \cdot \omega_{2C} = M_{2nv} \cdot \omega_{2C} = 600 \cdot 7.11 = 4267 \cdot W$$

$$P_{2D} = M_{2D} \cdot \omega_{2D} = M_{2nv} \cdot \omega_1 = 600 \cdot 26.6 = 15960 \cdot W$$

$$P_{kinC} = \left(M_{kC} - M_{2C}\right)\omega_{2C} = \left(M_{kmax} - M_{2nv}\right) \cdot \omega_{2C} = \blacksquare$$

$$\blacksquare = (1080 - 600) \cdot 7.11 = 3413 \cdot W$$

$$P_{kinD} = \left(M_{kD} - M_{2D}\right)\omega_{2D} = \left(M_{kmax} - M_{2nv}\right) \cdot \omega_1 = \blacksquare$$

$$\blacksquare = (1080 - 600) \cdot 26.6 = 12768 \cdot W$$

- Lehetőségünk adódik a folyamat ellenőrzésére:
  - A D pontban teljesülnie kell annak, hogy a hajtott oldalon leadott és gyorsítási teljesítmény összege megegyezik a hajtó oldalon bevezetett teljesítménnyel, mert nincs súrlódási teljesítmény.

A feltétel teljesül. $$P_{2D} + P_{kinD} = 28728 \cdot W$$

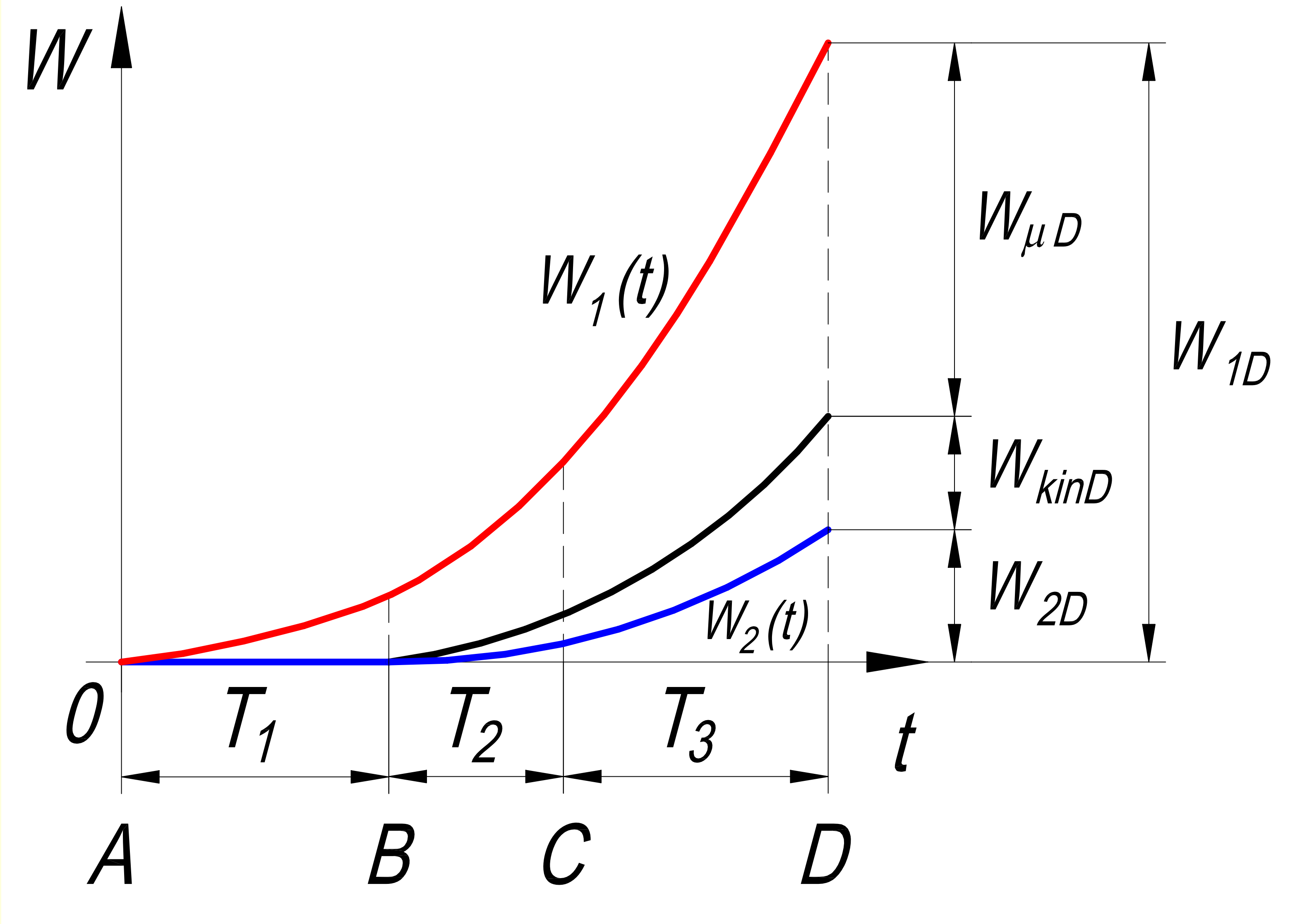
Munkák

A teljesítménygörbék alatti területek adják meg.

A következő munkákat számoljuk ki:

Hajtó oldalon bevezetett munka.:	$W_1(t)$
Hajtott oldalon leadott munka:	$W_2(t)$
Hajtott oldal gyorsítására fordított munka:	$W_{kin}(t)$
Súrlódási munka:	$W_\mu(t)$

A munkák időbeli alakulása



$$W_{1B} = \frac{1}{2}\cdot P_{1B}\cdot T_1 = \frac{1}{2}\cdot 15960\cdot 1.11 = 8867\cdot J$$

$$W_{1C} = \frac{1}{2}\cdot P_{1C}\cdot\left(T_1 + T_2\right) = \frac{1}{2}\cdot 28728\cdot 2 = 28728\cdot J$$

$$W_{1D} = W_{1C} + P_{1C}\cdot T_3 = 28728 + 28728\cdot 1.22 = 63720\cdot J$$

$$W_{2C} = \frac{1}{3}P_{2C}\cdot T_2 = \frac{1}{3}\cdot 4267\cdot 0.89 = 1264\cdot J$$ (Parabola alatti terület.)

$$W_{2D} = W_{2C} + \frac{1}{2}\left(P_{2C} + P_{2D}\right)\cdot T_3 = 1264 + \frac{1}{2}\cdot(4267 + 15960)\cdot 1.22 = 13583\cdot J$$

(Trapéz alatti terület)

$$W_{kinC} = \frac{1}{3}P_{kinC}\cdot T_2 = \frac{1}{3}\cdot 3413\cdot 0.89 = 1011\cdot J$$ (Parabola alatti terület.)

$$W_{kinD} = W_{kinC} + \frac{1}{2}\left(P_{kinC} + P_{kinD}\right)\cdot T_3 = 1011 + \frac{1}{2}\cdot(3413 + 12768)\cdot 1.22 = \blacksquare$$

$$\blacksquare = 10866\cdot J$$ (Trapéz alatti terület.)

$$W_{\mu D} = W_{1D} - W_{2D} - W_{kinD} = 63720 - 13583 - 10866 = 39271\cdot J$$

- A kiszámított súrlódási munka ismeretében a tengelykapcsoló melegedésre ellenőrizhető.

$$W_{\mu D} = 39271 \cdot J$$

Többlemezes tengelykapcsoló méretezése és ellenőrzése

- Adatok

Csúszó felület jellemzõ méretaránya:	$c=b/d_m=0.25$
Megengedett felületi nyomás:	$p_{meg}=0.4\ N/mm^2$
Súrlódási tényezõ:	$\mu = 0.1$
Nyomaték biztonsági tényezõje:	$n = 1.5$
Sebességtõl függõ tényezõ:	$c_v = 0.85$
Csúszó felületpárok száma:	$z = 10$
Csúszó felületpárok számától függõ tényezõ:	$c_z = 0.75$
Óránkénti kapcsolások száma:	$m_k=50\ 1/h$
A kapcsolások számától függõ tényezõ:	$c_m = 1$
Megengedett fajlagos hõterhelés:	$w_{meg} = 20\cdot\frac{J}{mm^2\cdot h}$

Méretezés

A kapcsolónyomaték maximuma az üzemi körülményeket figyelembevéve:

$$M_{kü} = \frac{n \cdot M_{2nv}}{c_m \cdot c_v \cdot c_z} = \frac{1.5 \cdot 600}{1 \cdot 0.85 \cdot 0.75} = 1412 \cdot Nm$$

A súrlódó felület középátmérõje:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \frac{M_{kü}}{z}}{\mu \cdot \pi \cdot \left(3 \cdot c + c^3\right) \cdot p_{meg}}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \frac{1412 \cdot 1000}{10}}{0.1 \cdot \pi \cdot \left(3 \cdot 0.25 + 0.25^3\right) \cdot 0.4}} = 206 \cdot mm$$

Külsõ és belsõ átmérõ:

$$d_1 = d_m \cdot (1 + c) = 206 \cdot (1 + 0.25) = 258 \cdot mm$$

$$d_2 = d_m \cdot (1 - c) = 206 \cdot (1 - 0.25) = 155 \cdot mm$$

A súrlódó felület nagysága:

$$A = z \cdot \frac{\left(d_1^{\,2} - d_2^{\,2}\right) \cdot \pi}{4} = 10 \cdot \frac{\left(25.8^2 - 15.5^2\right) \cdot \pi}{4} = 3349 \cdot cm^2$$

Ellenőrzés melegedésre

Ellenõrzöm, hogy a kapcsoló hõterhelése kisebb-e, mint a megengedett.

Az óránként fejlõdõ hõ számítható az egy kapcsoláskor fejlõdött hõ és a kapcsolások számának ismeretében (ez egy átlagos hõteljesítmény).

$$W_{\mu D} \cdot m_k = 39271 \cdot 50 = 1963550 \cdot \frac{J}{h}$$

Ennek egységnyi felületre jutó része a fajlagos hõterhelés:

$$w = \frac{W_{\mu D} \cdot m_k}{A} = \frac{1963550}{3349 \cdot 100} = 5.9 \cdot \frac{J}{mm^2 \cdot h}$$

Mivel $w_{meg} = 20 \frac{J}{mm^2 \cdot h}$ megengedett hõterhelés nagyobb, mint a tényleges, ezért melegedésre megfelel a kapcsoló.