

Villamos hajtások és mozgásvezérlők – 2. rész

Zsuffa Attila – Q-TECH Mérnöki Szolgáltató Kft.

A motortechológiákat ismertető cikkünk után bemutatjuk egy hajtástechnikai probléma megoldásához szükséges eszközök kiválasztásának néhány módszerét. Az optimális hajtáscsomag elemeinek kiválasztásához elengedhetetlen paramétereket jelen cikkünkben foglaljuk össze.

Súrlódási erő

Minden olyan mechanizmusban, amelyben érintkező felületek mozognak el egymáson, súrlódási erő keletkezik, melyet mozgatóskor a meghajtó motornak kell legyőznie. A súrlódási erő viszonylag egyszerűen (pl. nyomatékkulccsal) meghatározható és mérhető.

Tehetetlenségi nyomaték

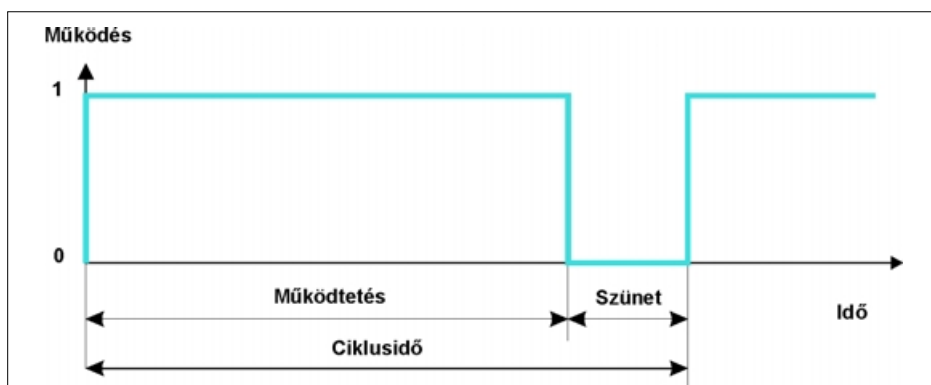
A tehetetlenség a terhelés ellenállása a gyorsítással vagy lassítással szemben. Egy villamos motor gyorsítása során a motor forgórészének és a motorral összekapcsolt mechanizmusnak az együttes tehetetlenségi nyomatékát kell a motor hajtónyomatékának legyőznie. A motor paraméterei katalógusadatként többnyire rendelkezésre állnak, de a mozgató mechanizmus paraméterei általában nem ismertek, ezért ezeket csak közelítő számításokkal kaphatjuk meg. A mozgató mechanizmus esetén igen bonyolult, több részből áll, és ezeknek a részeknek az összesített hajtónyomaték-igényét kell meghatározni, ami gyakran nem egyszerű. A motor méretezésénél a motor és a terhelés tehetetlenségi nyomatékának arányát is ismerni kell. Ökölszabály, hogy a motor tehetetlenségi nyomatéka ne haladja meg a terhelés tehetetlenségi nyomatékának egytizedét.

Nyomaték

Egy villamos hajtás (motor/erősítő) kiválasztásánál alapvető szempont, hogy a motor által szolgáltatott nyomatéknak meg kell haladnia a terhelést jelentő mechanizmus maximális nyomatékigényét. A mozgás folyamán a legnagyobb nyomatékigény a gyorsításkor és lassításkor lép fel, mivel a motornak a saját tehetetlenségén kívül le kell győznie a mechanizmus súrlódását és tehetetlenségét is.

A motorok nyomatéka függ a fordulatszámától, ezért a kiválasztásnál figyelembe kell venni a motor sebesség/nyomaték jelleggörbéjét. A motor nyomatékát úgy célszerű megválasztani, hogy minimum 30...50%-kal haladja meg a rendszer teljes nyomatékigényét.

1. ábra A „duty cycle” fogalmának értelmezése



Mozgásprofil

Az alkalmazás mozgásprofilja definiálja a mozgás sebesség-idő diagramját (2. ábra). Erre később visszatérünk.

Duty Cycle (eszközkihasználtság)

A szakirodalomban gyakran használt „duty cycle” kifejezés jelentése „eszközkihasználtság” (a működési idő és az üresjáratú idő aránya százalékban kifejezve). A motor/erősítő egységek kihasználtságát az alkalmazás határozza meg: egyes esetekben a terhelés állandó, máskor impulzusszerű. A motor/erősítő egységek általában rövid ideig jelentősen túlterhelhetők, ezt a gyártók katalógusadatként megadják. A túlterhelhetőség az alkalmazás eszközkihasználtságának (1. ábra) és az egységek túlterhelhetőségének (melegedésének) ismeretében kihasználható.

Felbontás

A felbontás a hajtás által létrehozható, előírt legkisebb pozícióváltozás. Az alkalmazás által megkívánt felbontás a választott mechanizmus ismeretében meghatározható a motorra és az alkalmazott mérőrendszerre vonatkoztatva. Például egy golyósorsós meghajtásnál 10 mm-es menetemelkedéssel, fordulatonként 2500 impulzusos forgójeladót használva, a szokásos négyszerezéssel 10 000 impulzust kapunk fordulatonként, vagyis a legkisebb mérhető, egyetlen impulzushoz tartozó elmozdulás 1 μ m.

Pozicionálási hibák

A pozicionálási hibák az alkalmazás pontossági követelményeinek jellegétől függően többféleképp adhatók meg.

- Abszolút pozícióhiba – a teljes mozgástartományon belül minden pozicionálási pont abszolút helyzetének eltérése az elméleti értéktől egy abszolút koordináta-rendszerben.
- Relatív hiba – két pont közötti pozicionálási eltérés az elméleti értéktől. Ezek a hibák nem adódnak össze.
- Hiszterézis – a pozicionálás során ugyanazon elméleti pont két irányból való megközelítésekor keletkező hiba. A mechanizmus merevsége és holtjátéka befolyásolja.
- Ismétlési hiba – többszöri pozicionálásakor ugyanannak a

pontnak azonos irányból való megközelítési hibája. A súrlódás és a tehetetlenségi nyomaték jelentősen befolyásolja.

A fenti felsorolásból kitűnik, hogy egy mozgásvezérlő csomag elemeinek kiválasztásánál számos szempont figyelembevétele szükséges. Ha a mozgató terhelés mechanikai paraméterei ismertek, kiszámítható a mozgáshoz szükséges nyomaték. Ennek ismeretében kiválasztható a motor, mely képes az adott terhelést megfelelően mozgatni. Ezután meghatározható a teljesítményerősítőtől elvárt maximális áram, a visszacsatoló eszköz, valamint a pozicionálást vezérlő eszköz.

A terhelés paramétereinek meghatározása

Egy mozgásvezérlő csomag elemeinek kiválasztásában az első lépés a mozgatni kívánt terhelés mechanikai paramétereinek meghatározása. A mechanikai rendszerek a motor és a mechanika összekapcsolásának négy legfontosabb módja a

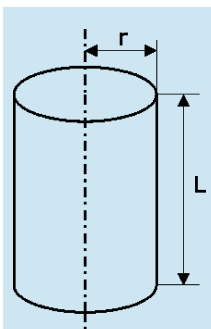
- közvetlen meghajtás (direct drive),
- fogaskerék-fogasléces meghajtás,
- orsó-anya meghajtás,
- tangenciális meghajtás.

A következőkben ismertetjük a terhelés paramétereit meghatározó formulákat ezekre a meghajtási módokra vonatkoztatva.*

Hengeres test tehetetlensége

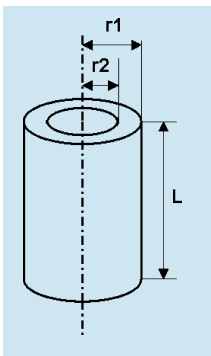
A hengeres testek tehetetlenségének számítására szolgáló képletekre azért van nagy szükség, mivel a továbbiakban ismertetésre kerülő meghajtási módokban szereplő mechanikai elemek (tengelyek, kerek, hajtógörgők, orsók stb.) jelentős része tömör vagy üreges hengerrel közelíthető alakú.

Tömör henger



$$J = \frac{1}{2}mr^2 \quad J = \frac{1}{2}\rho\pi Lr^4$$

ahol
 J: a henger tehetetlensége [kg m²]
 m: a henger tömege [kg]
 r: a henger sugara [m]
 L: a henger hossza [m]
 ρ: anyagsűrűség [g/cm³ = 1000 kg/m³]



Üreges henger

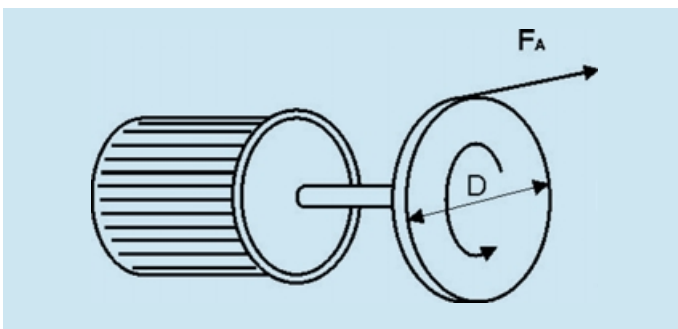
$$J = \frac{1}{2}m(r_1^2 - r_2^2) \quad J = \frac{1}{2}\rho\pi L(r_1^4 - r_2^4)$$

ahol
 r₁: a henger külső sugara [m]
 r₂: a henger belső sugara [m]

Direkt hajtás

Direkt hajtásról akkor beszélünk, ha a terhelés és a motor között nincs közvetítő

mechanizmus. Ez a legegyszerűbben méretezhető hajtás. A terhelés szögsebessége megegyezik a motoréval, a motor nyomatékának a saját forgórészének és a terhelésének összesített tehetetlenségét és a súrlódó nyomatékot kell legyőzni. Ha van külső terhelő erő vagy nyomaték, akkor a teljes terhelésbe természetesen ezt is bele kell számítani.

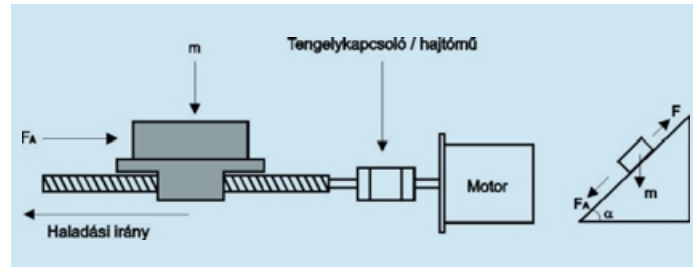


$$M = \frac{\omega}{t}(J_{\text{Terhelés}} + J_{\text{Motor}}) + \frac{F_A D}{2} \quad a = \frac{\omega}{t}$$

ahol:

- M: terhelő nyomaték a motor tengelyén [Nm]
- J_{Terhelés}: a henger/tárcsa tehetetlensége [kgm²]
- J_{Motor}: a motor forgórész tehetetlensége [kgm²]
- a: szöggyorsulás [radián/s²]
- ω: végső szögsebesség [radián/s] (fordulatszámra átszámítás: 1 ford/min = 1/9,55 radián/s)
- t: gyorsítási idő [s]
- F_A: külső erő [N]
- D: a tárcsa átmérője [m]

Orsó-anya jellegű meghajtás



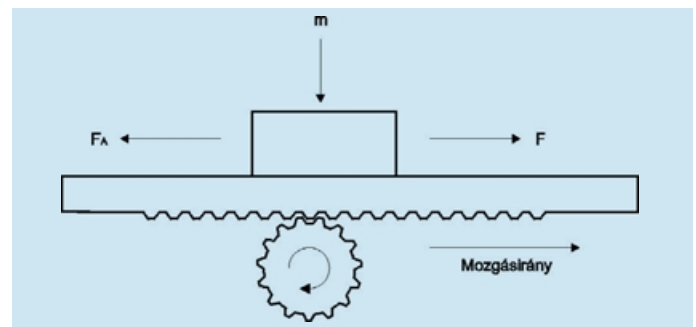
$$F = F_A + mg(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)$$

$$M = \frac{1}{i} \left(\frac{FP_B}{2\pi\eta} + \frac{\mu_O F_O P_B}{2\pi} \right)$$

ahol

- F: tengelyirányú tehetetlenségi erő [N]
- F_A: külső erő [N]
- m: a terhelés tömege [kg]
- F_O: az anya előfeszítésből és egyéb súrlódásokból adódó súrlódási erő [N]
- P_B: orsó menetemelkedés [cm / fordulat]
- μ_O: súrlódási együttható (0,05...0,3)
- η: hatásfok (0,8...0,95)
- i: áttételi arány (ha van)
- α: a tengely dőlésszöge [°]

Fogaskerék-fogasléc jellegű meghajtás:



$$F = F_A + mg(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)$$

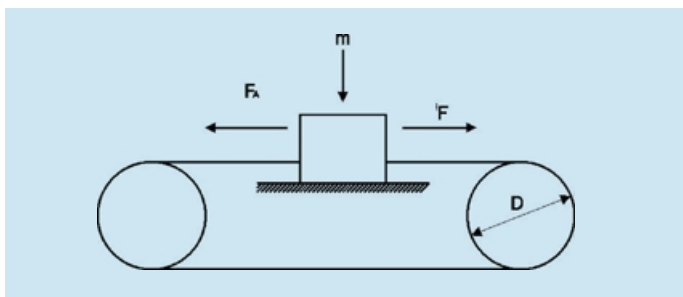
$$M = \frac{F}{2\pi\eta} \frac{\pi D}{i} = \frac{FD}{2\eta i}$$

ahol

- D: a fogaskerék átmérője [cm]
- μ: súrlódási együttható (a fogaskerék) - (fogaslécnél) (0,05...0,3)

* A számításoknál mindig figyeljünk a megfelelő mértékegységek használatára! A megadott formuláknál nem ismételjük azoknak a jelöléseknek az értelmezését, amelyeket korábban már hasonló értelemben használtunk

Tangenciális meghajtás (pl. szállítószalag)



$$F = F_A + mg(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)$$

$$M = \frac{F}{2\pi\eta} \frac{\pi D}{i} = \frac{FD}{2\eta i}$$

ahol

D: a hajtótárcsa átmérője [cm]

μ : a csúszó felületek súrlódási együtthatója (0,05...0,3)

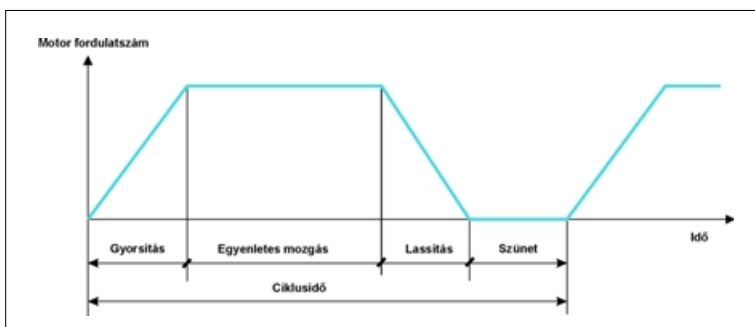
A mozgás jellemzői (motion profile)

Ha az alkalmazáshoz szükséges mechanizmust elemeztük, és ismerjük a mozgatóterhelés adatait, meg kell határozni a mechanizmus mozgásjellemzőit, vagyis a mozgásprofilot.

Egy egyszerű mozgásprofilra (2. ábra) a következők jellemzők. A mozgás a mechanizmus álló állapotából indul. A kezelő által megadott pozíció eléréséhez a programozható vezérlő kiszámítja a pillanatnyi pozíció és az elérendő pozíció közötti különbséget, és figyelembe véve a gyorsítási és lassítási adatokat, valamint a programozott sebességet, kiadja a hajtásérősítőnek a megfelelő nagyságú vezérlőjelet. Az erősítőtől a jel a megfelelő átalakítások után a motorba jut, és megkezdődik a mozgás. A sebesség egyre nő (gyorsul) az előre beállított vagy programozható gyorsításnak megfelelően mindaddig, míg a programozott maximális sebességet el nem éri. Ebben az állapotban a gyorsítás megszűnik, és egyenletes sebességgel halad tovább mindaddig, míg a célpozíciótól megfelelő távolságra a lassításnak el kell kezdődnie. A lassításra azért van szükség, mert a cél a kívánt pontossággal, lengések nélkül csak lassítással érhető el. A mozgás közben a mért pozícióadatokat a vezérlő időről időre összehasonlítja a célpozícióval, és a két érték különbségéből képezi a mozgásprofilot meghatározó vezérlőjelet.

Az ilyen mozgásprofilú alkalmazások esetén a gyorsítás és lassítás alatt az energia jelentős része hővé alakul, ezért a motor megválasztásánál mindig figyelembe kell venni az alkalmazás dinamikai igényeit a motor túlterhelésének elkerülésére. A méretezésnél elsősorban a gyorsítási értéket kell figyelembe venni. A gyorsítási érték kiszámításához a maximális sebesség és a gyorsítási idő ismerete szükséges. Egyenletesen gyorsuló mozgást feltételezve:

2. ábra Egyszerű mozgásprofil



$$a = \frac{v}{t}$$

ahol

a: gyorsulás [m/s²]

v: sebesség [m/s]

t: gyorsítási idő [s]

Mivel a motorok sebességét szokás fordulatszámokban megadni, ezért a gyorsulást is ennek megfelelően célszerű számítani.

$$a = \frac{n_{RAD}}{t}$$

ahol:

a: gyorsulás [radián/s²]

n_{RAD} : sebesség (fordulatszám) [radián/s]; (a fordulatszám-szögsebesség átszámítás 1 ford/min = 1/9,55 radián/s)

t: gyorsítási idő [s]

A gyorsítási és lassítási nyomaték

Azt a nyomatékot, mely a mechanizmust meghatározott idő alatt egy adott sebességre gyorsítja, gyorsítási nyomatéknak hívjuk. Ennek a nyomatéknak kell legyőznie a teljes rendszer súrlódását és tehetetlenségét.

$$M_{ACC} = aJ_T + M_F$$

ahol

M_{ACC} : gyorsítási nyomaték [Nm]

a: gyorsulás [radián/s²]

J_T : tehetetlenség (mechanizmus + motor) [kgm²]

M_F : súrlódónyomaték [Nm]

A lassításhoz szükséges nyomaték abban különbözik a gyorsítási nyomatéktól, hogy előjele negatív és valamivel alacsonyabb abszolútértékű a gyorsítási nyomatéknál, hiszen a súrlódás is fékbekezi a mozgást.

$$M_{DEC} = -aJ_T + M_F$$

ahol

M_{DEC} : lassítási nyomaték [Nm]

a: lassulás [radián/s²]

Mint a fentiekből következik, a legnagyobb nyomatékigény a gyorsításkor lép fel, utána következik a lassítás nyomatékigénye, majd ezt követi az egyenletes sebességű mozgás nyomatékigénye, amely tulajdonképpen megegyezik a súrlódónyomatékkal.

A mozgási ciklus mozgási nyomatékigénye

Mivel most már a mozgási ciklus minden szakaszának nyomatékigénye ismert, kiszámítható a teljes mozgási ciklusra vonatkozó effektív nyomatékigény, amelyet a továbbiakban a motor kiválasztásához fogunk felhasználni.

$$M_{RMS} = \sqrt{\frac{M_{ACC}^2 t_{ACC} + M_F^2 t_F + M_{DEC}^2 t_{DEC}}{t_{ACC} + t_F + t_{DEC} + t_{SZ}}}$$

ahol

M_{RMS} : A mozgási ciklus effektív nyomatékigénye [Nm]

t_{ACC} : gyorsítási idő [s]

t_F : az egyenletes mozgás ideje [s]

M_{DEC} : lassítási nyomaték [Nm]

t_{DEC} : lassítási idő [s]

t_{SZ} : szünet idő [s]

A motor kiválasztása

Az alkalmazás mozgási ciklusainak ismeretében (a sebesség, gyorsítás, nyomatéki viszonyok meghatározása

után) kiválaszthatjuk az alkalmazáshoz legjobban megfelelő motort. A kiválasztás több szempont figyelembevételével történik. Az alábbiakban felsoroljuk a legfontosabbakat, nem feltétlenül fontossági sorrendben, hiszen azt az alkalmazás igényei döntenek el. Mivel a motorgyártók választéka „lépcsős”, valószínű, hogy a kiválasztásnál némi kompromisszumra kényszerülünk.

Kiválasztási szempontok:

- Szükséges effektív nyomaték (+30...50% tartalék)
- Az alkalmazáshoz szükséges legnagyobb fordulatszám a meghatározott nyomatékon
- motor/terhelés tehetetlenségi nyomatékainak aránya (ne legyen nagyobb, mint 1:10)
- A motor névleges feszültsége (össze kell hangolni a hajtás-erősítővel)
- A motorba beépített visszacsatoló eszköz (enkóder) típusa, felbontása (ha van ilyen)
- Egyenletes futás képessége kis sebesség esetén is
- A motor mechanikai kialakítása, méretei
- A teljesítmény-csatlakoztatás módja (csatlakozó, kötő doboz, beépített kábel, stb)
- Védettségi fokozat (IPxx, mosható stb.)
- A tokozás anyagával kapcsolatos kívánalmak (pl. rozsdamentes stb.)

A hajtás-erősítő kiválasztása

A motor kiválasztását követően ki kell választani a megfelelő hajtás-erősítőt. A megfelelő hajtás-erősítőnek a kiválasztott motor áramához és feszültségéhez illeszkednie kell. Az erősítőnek a legnagyobb áramot a gyorsítási szakaszban kell szolgáltatnia. A motorgyártók katalógusában megtalálható nyomatékkonstans és a szükséges gyorsítónyomaték ismeretében a gyorsítási áramfelvétel meghatározható.

$$I_{ACC} = \frac{M_{ACC}}{K}$$

ahol

I_{ACC} : gyorsítási áram [A]
 M_{ACC} : gyorsítási nyomaték [Nm]
 K: nyomatékkonstans [Nm/A]

A nyomatékkonstans és a mozgási ciklusra vonatkozó effektív nyomatékigény ismeretében kiszámíthatjuk, hogy mekkora áramot kell a hajtás-erősítőnek folyamatosan szolgáltatnia.

$$I_{RMS} = \frac{M_{RMS}}{K}$$

Ahol:

I_{RMS} : a mozgási ciklus effektív árama [A]
 M_{RMS} : a mozgási ciklus effektív nyomatékigénye [Nm]
 K: nyomatékkonstans [Nm/A]

A hajtás-erősítőt úgy kell kiválasztani, hogy képes legyen az I_{RMS} áramot folyamatosan, I_{ACC} áramot pedig a gyorsítás idejére szolgáltatni. Ez gyakorlati szempontból azt jelenti, hogy 30...80%-os tartalékképzéssel kell az erősítőt kiválasztani. A gyártók erősítőt választéka a motorokénál nagyobb áramlépcsőket tartalmaz, ezért még nagyobb kompromisszumra kényszerülhetünk, mint a motoroknál, de mindenképp kerüljük el az alulméretezés veszélyét!

Teljesítményszükséglet

A kiválasztott hajtáskomponensek működtetéséhez biztosítani kell a szükséges és elégséges villamos energiát. A szükséges teljesítmény két fő részből, a terhelés mozgatásához szükséges teljesítményből és a motor hővé alakuló veszteségi teljesítményéből tevődik össze.

Mivel a gyorsítási szakasz és a teljes ciklus teljesítményigénye jelentősen eltér, ezért azt mindkét szakaszra ki kell számítani.

$$P_{ACC} = \frac{M_{ACC}n}{9,5488} \quad P_{RMS} = \frac{M_{RMS}n}{9,5488}$$

ahol

P_{ACC} : a gyorsítás teljesítményigénye [W]
 M_{ACC} : a gyorsítás nyomatékigénye [Nm]
 P_{RMS} : a mozgási ciklus effektív teljesítményigénye [W]
 M_{RMS} : a mozgási ciklus effektív nyomatékigénye [Nm]
 n: motor fordulatszáma [ford/min]

A motor által hővé alakított (disszipált) teljesítmény:

$$P_{ADISS} = I_{ACC}^2 Rk_T \quad P_{DISS} = I_{RMS}^2 Rk_T$$

ahol

P_{ADISS} : a motor disszipált teljesítménye a gyorsítás alatt [W]
 P_{DISS} : a motor disszipált teljesítménye a teljes ciklus alatt [W]
 I_{ACC} : a motor gyorsítási árama [A]
 I_{RMS} : a motor effektív árama a teljes ciklus alatt [A]
 R: A motor tekercselés ellenállása [W]
 k_T : ~1,5 (hőmérsékleti tényező – tekercselési ellenállás változás 155 C°-nál)

A mozgási ciklus teljes teljesítményigénye:

$$P_{TOT} = P_{ACC} + P_{ADISS} \quad P_{TOT} = P_{RMS} + P_{DISS}$$

ahol

P_{TOT} : a motor teljes teljesítményigénye a gyorsítás alatt [W]
 P_{ACC} : a motor teljesítményigénye a gyorsítás alatt [W]
 P_{ADISS} : a motor disszipált teljesítménye a gyorsítás alatt [W]
 P_{TOT} : a motor teljes teljesítményigénye a teljes ciklus alatt [W]
 P_{RMS} : a motor teljesítménye a teljes ciklus alatt [W]
 P_{DISS} : a motor disszipált teljesítménye a teljes ciklus alatt [W]

Mivel a gyorsítás teljesítménytöbblete csak rövid ideig jelentkezik, ezért ökölszabályként a teljes ciklus teljesítményigényét 25%-kal megnövelve kapjuk a gép megbízható működtetéséhez szükséges teljesítményt.

A programozható vezérlő

A programozható vezérlő kiválasztásához az alkalmazás egyéb kívánalmainak ismerete szükséges.

A legfontosabb kiválasztási szempontok az alábbiak (nem fontossági sorrendben):

- A mozgatandó tengelyek száma
- A mozgatás sebessége (tengelyenként)
- A sebességtartás pontossága
- Pozicionálási pontosság (ha van pozicionálás)
- A sebesség (pozíció) visszacsatoló eszközök (mérőrendszerek) fajtája, típusa (resolver, inkrementális, abszolút enkóder stb.) és felbontása
- Tengelyek szinkronizálási igénye (ha van)
- Interpoláció (egyenes, kör, helikális stb) igénye
- A kimenő vezérlőjel a hajtás-erősítő felé (analóg, digitális)
- Adatbeviteli módok (kézi, soros vonal, buszrendszer, DNC-online, offline, stb.).

További információ:

Q-TECH Mérnöki Szolgáltató Kft.

1161 Budapest

Batthyány L. u. 8.

Tel.: (06-1) 405-3338

Fax: (06-1) 415-9134

E-mail: info@q-tech.hu

www.q-tech.hu