

# DC motoros hajtás indulása és megállása

## 1. A motor működésének alapjai

A gyakorlat során egy hagyományos egyenáramú (DC) motor főbb paramétereinek megmérése ill. kiszámítása a feladat. A motor bronzkefék, az állórész állandó mágneset tartalmaz. A tengelyre rugalmas csővel egy hajtott tengelyt kapcsoltunk, melyen két lendkerék található. Ezek a motor forgórészével (rotor) együtt képezik a rendszer tehetetlenségi nyomatékát:

$$\Theta_S = \Theta_T + \Theta_M.$$

Hasonló módon összeadódik a motor és a tengely súrlódási nyomatéka (...):

$$M_R = M_{TR} + M_{MR}.$$

A motorban ébredő teljes nyomaték arányos a forgórész mágnesezettségével, azaz gyakorlatilag a motor által felvett  $I$  áramerősséggel:

$$M = k_M \cdot I,$$

ahol  $k_M$  az ún. nyomatékegyüttható.

az áramerősséget pedig a tekercsek ellenállását ( $R$ ) és a motor kapocsfeszültségét ismerve az Ohm-törvényből számíthatjuk. Figyelembe kell azonban vennünk, hogy a motor tekercsei az állórész mágneses terében forognak, ami a pillanatnyi fordulatszámmal arányos, ellenirányú feszültséget eredményez (back EMF – electromotive force), ennyivel csökkentjük tehát az áram kiszámításánál a motorra kapcsolt egyenfeszültség értékét:

$$I = (U - U_{bEMF})/R = (U - k_E \cdot n)/R.$$

Egyenleteinket összefoglalva a pillanatnyi nyomatékot a következőképpen számítjuk:

$$M = k_M \cdot (U - k_E \cdot n)/R = M_R + M_A,$$

ahol azzal az egyszerű feltételezéssel élünk, hogy az elektromágneses kölcsönhatásból származó forgatónyomaték egyrészt a súrlódás leküzdésére ( $M_R$ ), másrészt a tengely szöggyorsulásának ( $\beta$ ) létesítésére szolgál:

$$M_A = \Theta_S \cdot \beta.$$

Ha az *állandó* tápfeszültség bekapcsolása után elegendő ideig várunk, a tengely eléri az adott kapocsfeszültséghez tartozó maximális/egyensúlyi/stacionárius fordulatszámot ( $n_0$ ), vagyis nem gyorsul tovább ( $\beta=0$ ), ami az egyenletünk egyszerűsödéséhez vezet:

$$k_M \cdot (U - k_E \cdot n_0)/R = M_R,$$

ahonnan a stacionárius fordulatszámot kiszámíthatjuk:

$$n_0 = \frac{U}{k_E} - \frac{M_R R}{k_E k_M}.$$

Egyszerűen szólva: a hosszú idő után beálló fordulatszám lineáris összefüggésben áll a motorra kapcsolt feszültséggel.

A gyorsulási folyamatot tekintve: nyilvánvaló, hogy a fordulatszám emelkedésével a visszaható elektromotoros erő növekszik, és az áramerősség, ezzel együtt pedig a gyorsításra szolgáló nyomaték csökken. A fordulatszám időbeli viselkedésének számítása egy közönséges differenciálegyenlethez vezet, melynek megoldása:

$$n = n_0 (1 - e^{-t/\tau}),$$

ahol

$$n_0 = \frac{U}{k_E} - \frac{M_R R}{k_E k_M} \text{ és } \tau = \frac{2\pi \Theta_S R}{k_E k_M}.$$

[ábra: n–t diagram; n, n<sub>0</sub>, tau, 63%]

A grafiknról a következő adatok olvashatók le:

- a DC feszültséghez tartozó stacionárius fordulatszám (n<sub>0</sub>)
- a fordulatszám kezdeti növekedési rátája (a kezdeti meredekség leolvasásával)
- a felpörgés időállandója (τ, a 63%-os fordulatszám eléréséhez szükséges időtartam leolvasásával).

Ha a motort leválasztjuk az áramforrásról, a nyomaték forrásául szolgáló áram megszűnik, a tengely lassulni kezd, közben a motor kapcsain a pillanatnyi fordulatszámhoz tartozó visszaható elektromotoros erő mérhető. A lassulás mértékét a rendszer súrlódási nyomatéka és teljes tehetetlenségi nyomatéka együtt szabja meg:

$$\beta' = -\frac{M_R}{\Theta_s}.$$

Mivel a fenti képlettel számított szöggyorsulás nem függ a pillanatnyi fordulatszámától, a lassulás időben egyenletesen csökkenő fordulatszámmal jellemezhető. Fontos észrevennünk, hogy a stacionárius fordulatszámot a súrlódási nyomaték befolyásolja, nem szerepel azonban benne a tehetetlenségi nyomaték; az elektromosan *leválasztott* motor lassulásában azonban mindkét mennyiség szerepel.

Természetesen a rendszer forgással szemben tanúsított ellenállása nem csak a fordulatszámától független súrlódásból áll, hanem a fordulatszám emelkedésével növekvő mértékű közegellenállásból is, mely tovább bontható a fordulatszámmal és annak négyzetével arányos tagokra. Alacsony fordulatszám mellett a közegellenállás mindkét tagja kicsiny, esetleg elhanyagolható. Függetlenül azonban attól, hogy M<sub>R</sub> tartalmaz-e számottevő közegellenállási járulékot vagy sem, az adott tápfeszültséghez tartozó stacionárius fordulatszám elérése után a motor által felvett áramerősség (I<sub>0</sub>) egyértelműen M<sub>R</sub> leküzdésére fordítódik. Ha tehát csak tiszta súrlódás van jelen, az I<sub>0</sub>(n<sub>0</sub>) egy konstans függvény, emelkedő jellege pedig a közegellenállás jelenlétére utal. Nyilvánvalóan, nagy tápfeszültségek mellett a közegellenállás miatt a fordulatszám alacsonyabb marad, mint amit a fenti n<sub>0</sub>(U) összefüggésből számíthatunk, míg alacsony értékek mellett a motor elsőrendű lineáris rendszernek tekinthető.

## 2. A fordulatszám méréséről

A hajtott tengely egyik tárcsája egy fogazott vaskorong, melynek palástjához közel elhelyeztünk egy mágneses alapon működő fordulatszám-érzékelőt. A fogak és fogközök váltakozásakor az érzékelőn átfolyó áram erőssége 7 és 14 mA között váltakozik. Ezen áramot egy 115 Ω-os ellenálláson dolgoztatva a kapott feszültségek (0.8 ill. 1.6 V) alkalmasak arra, hogy egy TTL kapu bemenetén logikai alacsony és logikai magas szinteket különböztessenek meg, ezáltal a pillanatnyi érték számítógéppel mérhetővé válik. Szoftverünk egy logikai bemenet értékét folytonosan regisztrálja, majd a logikai impulzusok (tehát a fogak beérkezése) közötti időtartamokat leolvasva kiszámítja az illető időpontokban érvényes pillanatnyi fordulatszámot, és ezt grafikoron, valamint táblázatkezelő szoftverekbe történő kimentés céljából táblázatos formában megjeleníti. A mérés könnyítése végett az adatgyűjtés az első impulzus beérkezéséig várakozik, tehát „felesleges 0-kat” nem regisztrálunk.

Jelen verzióban – mivel a digitális bemenetként szolgáló adatgyűjtő kártya nem képes a beolvasás önálló időzítésére – a digitális értékek mérésének időzítését kénytelenek voltunk a PC-n futó szoftverre bízni, amiáltal az operációs rendszer kényszerű feladatainak elvégzése közben a mérésbe jól érzékelhető, a fordulatszám–idő grafikonon „kiütő adatként” megjelenő pontatlanságok lépnek fel. Ezeket a leolvasáskor, feldolgozáskor figyelmen kívül kell hagynunk.

A mérésben négy tényező jelenik meg további pontatlanságok forrásául:

- a magas és alacsony állapotok fennállásának időtartamát a mintavételezés természetéből adódóan – nem túl nagy – egész értékek jellemzik, és négyszögjelről lévén szó, a mintavételezési tétel sem segít abban, hogy a szintváltás időpontjának mérését a jelfeldolgozás eszközeivel pontosítsuk;
- a fogas tárcsa korlátozott igényességű megmunkálása miatt fordulatonként periódikus kis mértékű ingadozás mutatkozik;
- az egymás utáni impulzusok beérkezése közben a tengely szögsebessége változik;
- az érzékelő szintváltásának időpontját, mint minden mérési adatot, valamekkora statisztikus bizonytalanság eleve jellemzi.

### **3. Mérési feladatok**

#### **0. Az idő- és fordulatszám tengely kalibrációja**

Csatlakoztassa a motort a tápegységre, állítson be kb. 4V konstans feszültséget! Hagyja a motort felpörögni, majd indítson rövid mérést! Az oszcilloszkópról olvassa le a szenzor által szolgáltatott négyszögjel periódusidejét (T), majd a számítógép által mért jelalakgörbe felhasználásával állapítsa meg a mintavételezési frekvenciát ( $f_s$ )! Ehhez sok pontban számolja meg, hogy hány mintavétel történik egy perióduson belül (k), pl. felfutó éltől felfutó élig; innen  $f_s = k/T$ . Ezzel skálázhatja a vízszintes időtengelyeket (írja be a megfelelő mezőbe) – ettől kezdve a mérés időskálája a mérési hibától eltekintve helyes lesz. Legyünk tudatában annak, hogy a jeladó tárcsa körülfordulásonként 10 impulzust ad, tehát az impulzusfrekvencia 10-szerese a fordulatszámnak!

#### **1. Állandósult fordulatszám mérése a tápfeszültség függvényében**

Kapcsoljuk be a tápfeszültséget, majd elegendő idő elteltében mérjük és olvassuk le a fordulatszámot! Ábrázoljuk a fordulatszámot a tápfeszültség függvényében indulástól 7 V-ig, kb. 15 pontban! Ha valóban elegendő ideig hagytuk a motort gyorsulni, elég rövid mérést végeznünk (lásd a virtuális műszer előlapját).

Hagyjuk figyelmen kívül a kiütő adatokat! A jelalak vizsgálatával határozzuk meg az időmérés *feloldását* %-ban! Általában, a grafikonon jellemezzük a mérés pontosságát! Határozza meg  $k_E$  értékét!

#### **2. A fordulatszám felfutásának mérése állandó tápfeszültség mellett**

Indítsa hosszú mérési adatsor felvételét, majd kapcsolja a motorra az állandó tápfeszültséget! Vegye fel és rögzítse az  $n(t)$  függvényt! Olvassa le a grafikonról (a kurzor funkció segítségével) a következő mennyiségeket:  $n_0$ ;  $\tau$ ;  $dn/dt$  induláskor. Ábrázolja ezeket a mennyiségeket a konstans tápfeszültség függvényében indulástól 7 V-ig, 6-8 pontban! Ügyeljen arra, hogy a tápegység áramkorlátja legyen olyan nagyra állítva, hogy a tápáram induláskor se haladjon meg azt! Amennyiben az áramkorlátozás

működésbe lép, a kimeneti feszültség kisebbé válik, mint amit a kezelőszervekkel beállítottunk. Ezt oszcilloszkóp segítségével ellenőrizhetjük.

### **3. A motor lassulása a tápfeszültség kikapcsolásakor**

Hagyja a tengelyt állandó tápfeszültség mellett felpörögni! Ezután indítsa hosszú mérési adatsor felvételét, majd gyorsan válassza le a motort a tápegységről (pl. húzza ki a banándugót)! A mérés végeztével a fordulatszám–idő grafikonon figyelje meg a lassulás folyamatát! Tiszta (fordulatszám-független) súrlódás esetén a fordulatszám–idő grafikon csökkenő egyenes, magas fordulatszám esetén ettől eltérő, meredekebb görbe. Állapítsa meg, mely fordulatszám alatt tekinthetjük csekélynek a közegellenállás hatását!

Végezzen mérést úgy is, hogy a motor lekapcsolásakor mindkét banándugót kihúzza, és hirtelen rövidre zárja a motor sarkait! Ekkor az indukált áram erősebben fékezi a rendszert, mint amit csak a dugók kihúzásakor tapasztaltunk.

### **4. A fordulatszám felfutásának mérése állandó tápáram mellett**

Iktasson kis értékű ellenállást a motor áramkörébe, mellyel az áramerősséget mérheti!

Állítsa maximális feszültségre a tápegységet, majd csatlakoztassa a motort!

Korlátozza a tápegységen az áramerősséget! Végezzen hosszú méréseket különböző áramerősségek mellett, írja le és ábrázolja megfigyeléseit! Ábrázolja a motor fordulatszám-emelkedésének gyorsaságát a felfutási szakaszra nézve a tápáram függvényében!

Néhány áramerősség-érték mellett figyelje meg oszcilloszkópon a tápfeszültség időbeli alakulását a felfutási szakaszban és utána! Írja le megfigyeléseit! Mekkora áramerősség-korlátok mellett jelenik meg a feszültség-korlátozás hatása?

### **4. Kérdések**

1. Mi a visszaható elektromotoros erő? (back EMF)
2. Mi a nyomatékegyüttható?
3. Hogyan függ a DC-motor stacionárius fordulatszáma a tápfeszültségtől?
4. Milyen függvény írja le a fordulatszám emelkedését?
5. Hogyan állapíthatja meg a mintavételi frekvenciát?

### **5. Segédanyag**

MAXON katalógus és CD

Faulhaber katalógus