

EGYENÁRAMÚ KISMOTOR VISELKEDESE ÉS MÉRÉSE A VILÁGHÁLÓN

SMALL-SIZE D.C. MOTOR PERFORMANCE AND TEST VIA INTERNET

*Dr. Szentirmai László **

ABSTRACT

Internet is such an infrastructure on which an electrical machine or system can be built. The new virtual laboratory developed recently incorporates two subsystems: FieldPoint based measurement subsystem for sensor, actuator and motor test, and a GPIB e-net based complex measurement subsystem for electronic circuit analysis. FieldPoint software contains measurements for small d.c. motor, and two others. Controllable parameters are power supply voltage and load, measurable parameters include power supply voltage, armature current, rotational speed and motor temperature, computable parameters are power and motor torque. From any location of the world an authorized engineer, academic or student can check the motor, find an error or get further information without the need of individual presence on the spot.

1. BEVEZETÉS

Az internet egy új eszköz a mérnöki tudományok, a felsőoktatás és az ipar együttműködéséhez, a "tudás" szabad áramlásához. A villamos gépek és hajtások szabályozása az elektronika és informatika legújabb eredményeit is magába foglalja kezdve a tudományos kutatás és műszaki fejlesztés állomásaitól, a tervezés, működés, a mérések, sőt az alkalmazások és karbantartás területén is az Internet hozzáférés támogatásával. Ez az új lehetőség növeli a gyártmányok minőségét és csökkenti a műszaki fejlesztés időtartamát és költségét. A biztonsági feltételek és szabványok fejlesztésével, a globális internetkapcsolatok gyors növekedésével fenti célok az új nagysebességű eszköz révén elérhetők.

A világháló valamennyi emberi tevékenység elválaszthatatlan elemévé vált. A technológia nagymértékben szélesíti a lehetőséget az együttműködő kutatásra, műszaki fejlesztésre és kísérletezésre, mert nincs szükség a kutató és a vizsgálóállomás, valamint berendezései fizikai jelenlétére. Mérnökök egészen

távol, akár a világ másik részén is, dolgozhatnak a világháló beiktatásával távolról irányítható különböző műszerekkel és berendezésekkel. A rendelkezésre álló legújabb technikai fejlesztés megvalósulásával ugyanazokat a célkitűzéseket meg lehet valósítani, mint a tényleges laboratóriumban, sőt az esetek jó részében még sokkal hatékonyabban és eredményesebben is.

Az Internet - fentiek alapján - egy olyan infrastruktúra, amelyikhez egy villamos gépet vagy rendszert is telepíthetünk.

1. Az ember-gép közötti párbeszédet biztosító interfész kialakításához különböző médiumok szolgáltatnak lehetőséget beleértve a médiumok interaktív működtetését.
2. Szabványos kommunikációs szoftver lehetővé teszi, hogy az adott villamos motor vagy rendszer – mivel az internethez kapcsolódik – a szoftver útján bármely internet csatlakozásról elérhető.
3. Változó hardver és szoftver alkalmazható, amelyek az interneten keresztül szétoszthatók annak megfelelően, hogy az adott elképzelést megvalósítsák.

Mindezek a célkitűzések a való világtól eltérően, a XX. század utolsó évtizedében útjára indult virtuális laboratóriumban vagy más kifejezéssel internet-alapú laboratóriumban megvalósíthatók. Az új technológia gyakorlati megvalósítása érdekében [1] egy egyenáramú kismotor laboratóriumi vizsgálata, műszaki tulajdonságai, mérése, legfontosabb jelleggörbéi a világ bármely más részén tartózkodó részére is elérhetők. A fejlesztési munka első része az egyenáramú állandó mágnesű 25 watt teljesítményű kismotor műszaki viselkedésének leírásával, műszaki tulajdonságainak beállításával és mindezekhez szükséges virtuális laboratórium megteremtésével indult.

A tanulmány az elméleti alapvetésekkel és a laboratórium gépészmérnökök számára való hozzáférését segítő tudományos ismeretekkel kívánja megismertetni az érdeklődőket. A témaválasztás fontosságát aláhúzza, hogy a kisteljesítményű és kisméretű állandómágnesű egyenáramú motor rendkívül kedvelt mechatronikai rendszerekben.

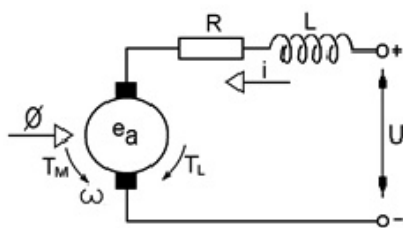
* Prof. Emeritus, Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszék

2. EGYENÁRAMÚ MOTOR

2.1. Működés átmeneti (tranziens) üzemállapotban

Az egyenáramú motor működését kezdetben külön a mágneses tér és külön a tekercsekből alkotott villamos áramkör számításával vizsgálták. Ma azonban a tekercselést a villamos ellenállással és induktivitással vesszük figyelembe, az állandó mágnesek által létrehozott mágneses teret (Φ) pedig a forgórész (armatúra) kefékre merőleges irányában ábrázoljuk (1. ábra); a jelölések magyarázata a következő:

- R – az armatúra tekercselés ohmos ellenállása,
- L – az armatúra tekercselés induktivitása – H,
- e_a – az armatúratekercselésben indukált feszültség,
- U – a kapocsfeszültség
- i – az armatúratekercselés áramfelvétele
- Φ – a mágneses fluxus póluspáronként – (Wb)
- ω – szögsebesség – (1/s)
- T_M – a motor által kifejtett nyomaték (Nm)
- T_L – a terhelés nyomatéka;
- J – a mechanikai tehetetlenségi nyomaték,
- K – a gépállandó, amely magába foglalja az armatúra hosszát és átmérőjét, valamint a tekercselés jellemzőit és a póluspárok számát, ezért géptípusonként eltérő.



1. ábra Állandó mágnesű egyenáramú kismotor kapcsolási rajza

A villamos/(elektromos) időállandó az armatúra tekercselés két jellemző adatának hányadosa:

$$T_e = \frac{L}{R}, \text{ amelynek értéke a szokásos géptípusokban 5}$$

és 80 ezredmásodperc (milliszekundum) közötti érték. A mechanikai tehetetlenségi (inercia) időállandó:

$$T_i = \frac{RJ}{(K\Phi)^2}, \text{ amelynek értéke a villamos időállandó}$$

többszöröse: $T_i = (3..6) T_e$

Az átmeneti (tranziens) üzemállapotban az áramerősség és a szögsebesség egyaránt függ az időtől, ezért a következő egyenleteket írhatjuk fel:

$$u = e_a + iR + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Az indukált/generált feszültség az armatúratekercsben a mágneses fluxussal (Φ) – amely állandó mágnessel gyártott motor esetében állandó, vagyis idő független, -

továbbá az ω szögsebességgel arányos és befolyásolja a K gépállandó is:

$$e_a = K\omega\Phi \quad (2)$$

A motor nyomatékát alapvetően az armatúratekercselés felvett áramerőssége szolgáltatja, és az ugyancsak arányos a mágneses fluxussal is:

$$T_M = K\Phi i \quad (3)$$

Az armatúrát a motor és a terhelés nyomatékának különbsége hajtja, ezért a mechanikai tehetetlenségi nyomaték és a szög-gyorsulás befolyásolja:

$$T_M - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

Az egyenletrendszer megoldásához érdemes áttérnünk az időtartományról a frekvenciatartományra a Laplace-transzformáció segítségével. Fenti egyenletrendszer a frekvencia-tartományban következőképpen alakul:

$$U(s) = E_a(s) + I(s)R + LsI(s) \quad (5)$$

Átrendezve:

$$U(s) - E_a(s) = \frac{1}{R + sL} I(s) \quad (6)$$

$$E_a(s) = K\Omega(s)\Phi(s) \quad (7)$$

$$T_M(s) = K\Phi(s)I(s) \quad (8)$$

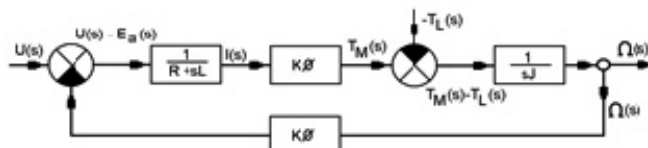
Mivel Φ időben nem változik

$$T_M(s) - T_L(s) = Js\Omega(s) \quad (9)$$

Az új egyenletrendszer alapján felrajzolhatjuk a blokk-diagramot (2. ábra). Meghatározható a motor nyomatéka az (7) egyenlet, az $I(s)$ és a $K\Phi$ segítségével.

Felhasználható egy egyszerűsítés, amely gyakorlati tapasztalaton is alapul: a kapocsfeszültség nem időfüggő, tehát állandó.

Feltételezzük, hogy induláskor, vagyis az átmeneti állapot kezdetén a terhelő nyomaték $T_L = 0$, vagyis a motor üres járásban, terhelés nélkül indul. Ekkor még nincs nyomaték különbség, tehát a különbségképző szerv eltűnik.



2. ábra Egyenáramú kismotor blokk diagramja

A feszültségre vonatkoztatott átviteli (transzfer) függvény Y_u a kimeneti és a bemeneti jelek hányadosa:

$$Y_u = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{R+sL} K\Phi \frac{1}{sJ}}{1 + \frac{1}{R+sL} K\Phi \frac{1}{sJ} K\Phi} \quad (10)$$

Az áramerősség a frekvenciatartományban az (5) egyenletből:

$$Y(s) = \frac{U(s) - E_a(s)}{R + sL} = \frac{U(s) - K(s)\Phi}{R + sL} \quad (11)$$

Az armatúra áramerősségre vonatkoztatott átviteli függvény bevezetve a villamos és mechanikai időállandókat:

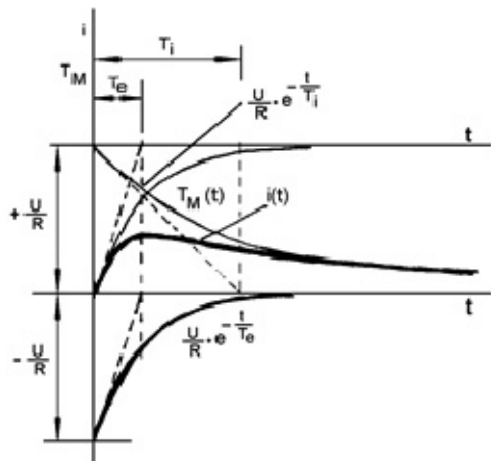
$$Y_{iu} = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{\frac{U(s) - K\Omega(s)\Phi}{R + sL}}{U(s)} = \frac{sT_i}{R(1 + sT_i)(1 + sT_e)} \quad (12)$$

Az armatúra tekercselés tranzienst árama felírható:

$$i = \frac{U}{R} \left(e^{-\frac{t}{T_i}} - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (13)$$

A motor által kifejtett nyomaték (8) egyenlet felhasználásával:

$$T_M = \frac{U}{R} K\Phi \left(e^{-\frac{t}{T_i}} - e^{-\frac{t}{T_e}} \right) \quad (14)$$



3. ábra Armatúra-áramerősség és motor nyomaték az időtartományban

Mind az áramerősség, mind a motor nyomaték az időtartományban ábrázolható a (13) és (14) egyenletek ismeretében (3. ábra).

2.2 Működés állandósult állapotban

Állandósult állapotban az egyenletek a következőképpen alakulnak:

$$U = E_a + IR \quad (15)$$

$$E_a = K\omega\Phi \quad (16)$$

$$T_M = K\Phi I \quad (17)$$

$$T_M - T_L = 0 \text{ vagy átrendezve: } T_M = T_L = T \quad (18)$$

A szögsebesség-nyomaték jelleggörbét az (15) és (16) egyenletek rendezésével kapjuk meg:

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R}{K^2\Phi^2} \cdot T_M \quad (19)$$

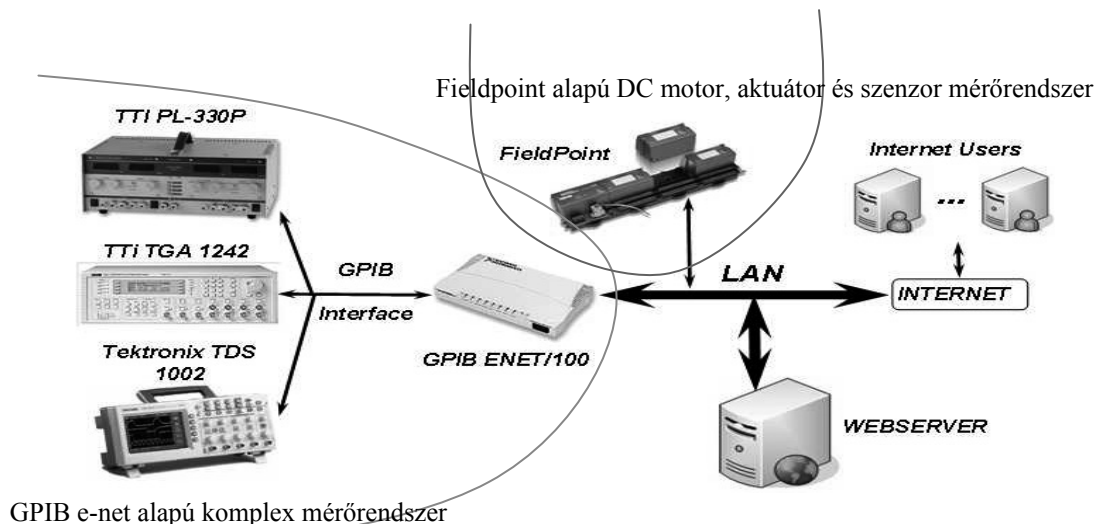
A szögsebesség – vagyis a motor fordulatszám-változtatására a leggyorsabb és gyakori megoldás a kapcsolófeszültség változtatása. Mivel fordulatszám-nyomaték jelleggörbe mind a négy sík negyeden áthalad, ezért az ilyen villamos hajtásokat négynegyedes (4/4) hajtásnak nevezzük.

3. KISMOTOR MŰKÖDÉSE ÉS MÉRÉSE A VILÁGHÁLÓN

Az Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken kifejlesztett virtuális laboratórium könnyű és ingyenes hozzáférést biztosít a használók (oktatók, kutatók, hallgatók) számára, akik rendelkeznek a használathoz megfelelő jogosítvánnyal.

Az új virtuális laboratórium a következő két alrendszerrel foglalja magába: lineáris távolságérzékelőt és motorterhelés szabályozó mérési rendszert integrálja a National Instruments FieldPoint berendezésével, valamint a komplex mérési rendszert az elektronikus áramkörök analizéséhez, amely az IEEE-488 jelű szabványos protokollját használja. Emellett az általános célú interfész busz – az angol rövidítéssel GPIB – által szabályozott mérési rendszer alkotja a másik alrendszert (4. ábra). Az ábrán nyomon követhető a két alrendszer: LAN (Local Area Network) az Internet használókat az Internet Users jelzi, a világhálóra való csatlakozást a Webserver segíti elő.

A GPIB-enet alrendszer elemei: a programozható áramellátó (TTi-PL-330P), a programozható függvénygenerátor (TTi TGA 1242), amellyel különböző frekvenciájú és amplitúdójú és hullámalakú jelek generálhatók, a Tektronix TDS 1002 digitális tárolós oszcilloszkóp. A GPIB ENET 100 berendezés felelős a GPIB egység összekapcsolásáért és az internetes csatlakozásért.

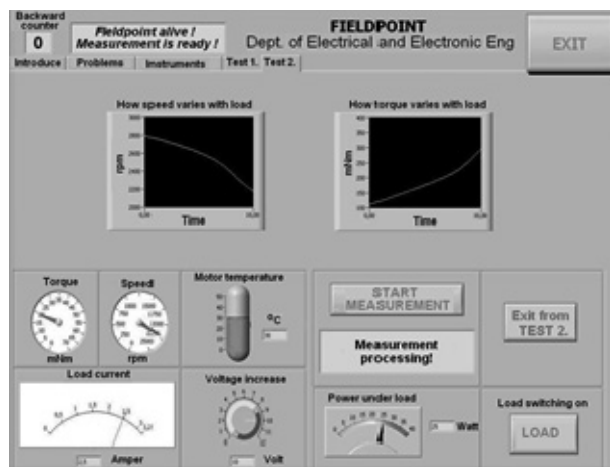


4. ábra Egy új virtuális laboratórium struktúrája

A kismotor terhelését egy, vele közvetlen tengelykapcsolatban álló egyenáramú generátor szolgáltatja. Szabályozható paraméterek a tápláló feszültség hullámalakja és paraméterei, valamint a terhelés. A mérhető paraméterek: a tápláló feszültség, az armatúra-áramerősség, a szögsebesség, ill. fordulatszám és a motor hőmérséklete. Számítható paraméterek: a teljesítmény és a nyomaték.

A középső két ablak a kismotor két jelleggörbéjét mutatja be. A baloldali: hogyan változik a sebesség a terheléssel (How speed varies with load) az időtartományban – ez hasonló a 3. ábrán bemutatott jelleggörbéhez, de az egyenestől az eltérést főleg a mágneses tér nem-linearitása okozza. A másik ablakban ugyancsak az időtartományban láthatjuk a nyomaték változását (How torque varies with load, mNm) ami az átmeneti üzemállapotra is jellemző lehet.

Az új laboratórium természetesen összetettebb feladatok elvégzésére is lehetőséget nyújt: ellenőrizhető a rendszer bármekkora távolságból is van a felhasználó, esetleges hibát is kereshet a rendszerben, sőt leírást is talál a követendő lépésekről, ha nem világos előtte a megoldandó feladat.



5. ábra Felhasználói interfész (interface) egyenáramú kismotor méréséhez

A 5. ábra az egyenáramú kismotor mérését mutatja az internet közvetítésével. Alul baloldalon az áramerősség mérése, mellette a feszültség változtatása, a mérés folyamatban van (measurement processing), a terhelés is mérhető (power under load), leolvashatjuk a teljesítményt (Watt) és azt is, hogy a terhelés be van kapcsolva (Load switching on). Alulról felfelé a második sorban leolvashatjuk a nyomatékot (Torque), a szögsebességet (speed) és a motor melegezésére jellemző hőmérsékletet is (Motor temperature).

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

5. IRODALOM

- [1] SZENTIRMAI, L. VÁRADI, Sz. A. and SZARKA, T.: Internet at the Service of Electrical Machinery and Drives. Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP) Invited Paper. (Meghívott előadás és publikáció.) Istanbul, Turkey, September 2011.
- [2] IEEE LTSC, Final 1484.12.1 LOM Draft Standard Document, IEEE 1484.12.1-2002.
- [3] FieldPoint User Manual (2002), National Instruments, USA.