

# Az elektrohidraulikus szervokormány villamos oldala

Nehéz újat mondani a Nap alatt, de az ismétlés a tudás anyja. Tekintsünk rá egy kicsit a kormányműre, s rájövünk, hogy a technika fejlődésével – ahelyett, hogy egyszerűsödne – egyre bonyolultabbá válik. Először csak gépészeti alkotás, majd belopja magát a hidraulika, végül pedig ránk köszön a villamosság teljes arzenáljával: motor, hajtás, teljesítmény-félvezetők, mikrokontroller. Minek kell már lennie egy autós szakembernek, hogy mindehhez értsen? És ez a valóság, ott van az ügyfél kocsijában, valamit kell kezdeni vele. A hogyan és miértekre való rálátásban próbál segíteni ez a cikk.

A szervokormányt úgy alakítják ki, hogy a gépkocsivezetőnek kormányzáskor a kormányzási ellenállással arányos, de annál lényegesen kisebb erőt kell kifejtenie, azaz továbbra is megmarad a kormányérzéke. Ha a szervoberendezés működésképtelenné válik, akkor a gépkocsi kormányozható marad, de a vezetőnek a teljes kormányzási munkát kell kifejtenie.

Mivel a belső égésű motor fordulatszáma a forgalmi helyzet, a menetssebesség stb. függvényében állandóan változik, ezért a szervoberendezés működését ettől függetleníteni kellett, a közvetlen szíjhajtást fel kellett váltani a villamos hajtással.

## A villamos hajtás

A hidraulikus rendszerek villamos hajtásával szemben támasztott főbb követelmények a következők:

- kis tömegű motor,
- túlterhelhetőség,
- fordulatszám szabályozhatósága,
- jó hatásfok.

A gépkocsiban rendelkezésre álló 12 V-os egyenfeszültségű hálózat az egyenáramú motorok alkalmazását szorgalmazza.

### Kommutátoros egyenáramú motor

A hagyományos értelemben vett egyenáramú motorok kommutátorral és szénkefével rendelkeznek. Annak ellenére, hogy külső mechanikai jelleggörbéjük, a nyomaték-fordulatszám karakterisztika,  $M(n)$ , kedvező és könnyen szabályozható, a szénkefe és a kommutátor által okozott problémák (kopás, szikrázás, elszennyeződés, elektromágneses zavarok) miatt egyre kevésbé alkalmazzák őket.

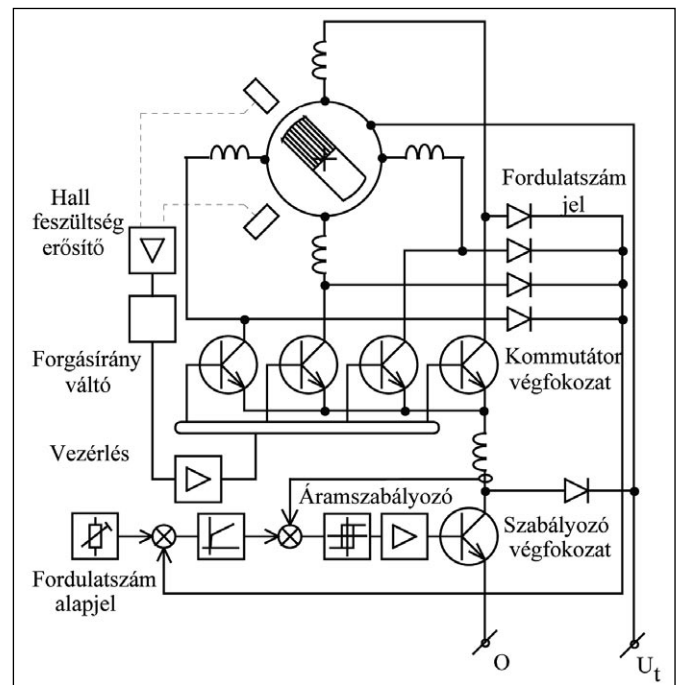
### Kefe nélküli egyenáramú motorok

Annak a feladatnak, hogy egy motort kefék nélkül tápláljunk, többféle megoldása lehet:

- aszinkronmotor és áramirányító kombinációja,
- szinkronmotor és áramirányító kombinációja,
- ismert, hagyományos egyenáramú motor kommutátorának elektronikus megoldással való helyettesítése (kefe nélküli egyenáramú motor).

A kefe nélküli egyenáramú motorok forgórésze állandó mágnes. Az állórész tekercseit kapcsolótranszisztorokon keresztül táplálják. A tranzisztorokat egyedül a forgórész szöghelyezete szerint kell kapcsolni, a fordulatszámától függetlenül. Ez a feltétele annak, hogy a gép önmagától fel tudjon futni. A forgórész helyzetének a tranzisztorok vezérléséhez szükséges érintkezésmentes érzékelésére sokféle eljárás alakult ki. Ezek közül a legelterjedtebb a két Hall-elem alkalmazása. További megoldások:

- mágnesességre érzékeny ellenállások vagy diódák,
- ferrezonanciás áramkörök,
- optoelektronikai alkatrészek stb.



1. ábra: egy kefe nélküli egyenáramú motor kapcsolásának tömbvázlata fordulatszám-szabályozással és forgási irányváltással

A kefe nélküli egyenáramú motorok tulajdonságai az egyező alapelvek miatt messzemenően hasonlítanak a hagyományos egyenáramú motorokéihoz: az I motoráram lineárisan nő a nyomatékkal, az n fordulatszám a nyomaték növekedésével enyhén csökken, ha nincs fordulatszám-szabályozás.

Az állórész tekercselésének rossz kihasználtsága miatt – a klasszikus egyenáramú motorokkal ellentétben, itt minden tekercs csak a körbefordulás egy részében vezet áramot – a kefe nélküli motorok rézvesztései különösen nagyok. Nagy légrésindukció kialakításával a rézvesztések elfogadható határok között maradnak, ezért gyakran AlNiCo mágneseket alkalmaznak, mivel anizotróp bárium-ferrit mágneseket nehéz hengeres formában előállítani. Az állórész-tekercselések rossz kihasználtsága arra vezet, hogy a kefe nélküli motorok kisebb teljesítményt tudnak leadni, mint az ugyanannyi anyagot felhasználó hagyományos egyenáramú motorok.

A mechanikus kommutátor elmaradásából származó előnyök ellentétéként a motor nagyobb alkatrészráfordítást igényel – főként az elektronikában –, és ez a hagyományoshoz képest nagyobb árat jelent. A többletköltségek jelentőségét csökkenti azonban a hosszabb élettartam, a karbantartási költségcsökkenés és esetleg a zavarűrlő áramkörök költségének elmaradása.

Az 1. ábra egy mindkét irányba forogni képes, kefe nélküli motor tömbvázlatát mutatja be, ahol az irányváltást a Hall-generátorok jeleinek polaritásváltásával lehet megvalósítani. A fordulatszám-szabályozás a szaggatóüzemben működő teljesítmény-végfokozat (tároló fojtó, szabadonfutó dióda, kapcsoló tranzisztor) segítségével közel veszteségmentesen valósítható meg, miközben a kommutátorfokozat tranzisztorai kapcsolóüzemben működnek. Emellett az áramszabályozó a motor áramát induláskor, fordulatszám-változáskor vagy nagy terhelés esetén egy elő-

írt, még károsodást nem okozó határ alatt tartja. Ez az áramkorlátozás természetesen nyomatékatárolást is jelent, ami a hajtás számára esetleg szükséges nyomatékatároló tengelykapcsolót szükségtelenné tesz.

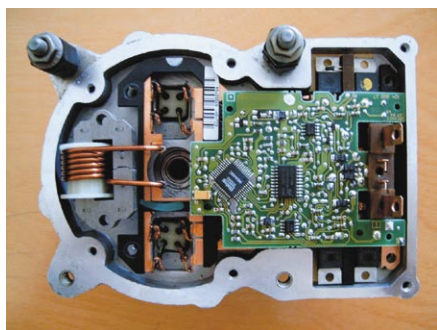
Álló állapotban a kefe nélküli motorral egyszerűen úgy lehet tartónyomatékot elérni, hogy valamelyik tekercsre az elektronikus kommutátortól függően egyenáramot kapcsolunk. A hidraulikus szervókormány szivattyújának hajtáshoz szükséges, néhány-szor 100 W-os teljesítmény kedvező a kefe nélküli egyenáramú gép alkalmazására.

### Állandó mágneses szinkronmotor

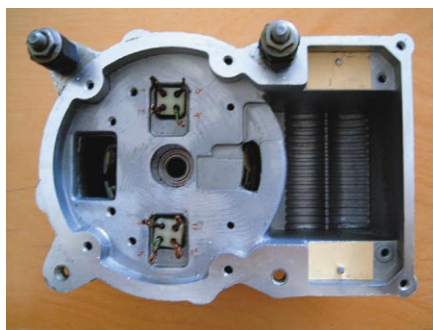
Az állandó mágneses szinkronmotor működésének megértéséhez képzeljünk el egy körmöspólusú váltakozó áramú jármű-generátort, azzal a kitételrel, hogy a gerjesztő tekercsét hengeres állandó mágnessel helyettesítjük és az állórész tekercseit mi tápláljuk kívülről háromfázisú feszültséggel. A térben elolt tekercsrendszerre kapcsolt időben változó feszültségrendszer egy forgó mágneses mezőt hoz létre, amihez kapcsolódik a forgórész állandó mágnes. Mivel az állórész mágnesesmezeje és a forgórész együtt forog, szinkronmotornak nevezzük.

### Az elektronikus vezérlés

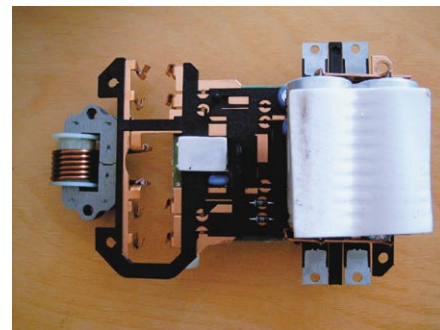
Többfajta vezérlés alkalmazható, annak függvényében, hogy szinkronmotort vagy kefe nélküli egyenáramú motort kell meghajtani. Egyik fontos adat a vezérlés kiválasztásánál a fáziszám, azaz az állórész tekercseinek megtáplálása. A szinkronmotor megtáplálásához 3 fázisú hídkapcsolású ún. invertert alkalmazunk, amely a gépkocsi akkumulátora által szolgáltatott egyenfeszültséget 3 fázisú váltakozó feszültséggé alakítja.



**2A ábra:** vezérlő áramkör elhelyezése a motorházba



**2B ábra:** a motorház a vezérlő áramkör ki-szerelése után



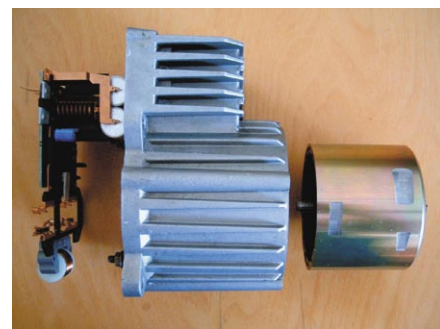
**2C ábra:** a vezérlő áramkör alsó kialakítása



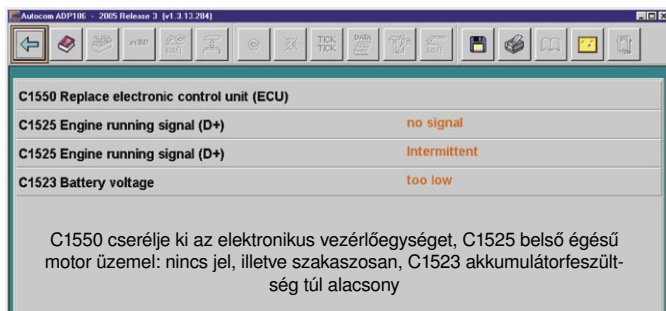
**2D ábra:** az állórésztekercsek központi elhelyezése a motorházban



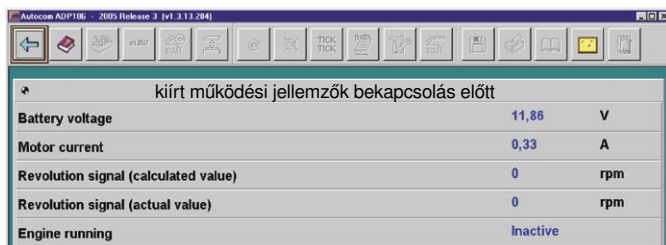
**2E ábra:** forgórész, belső palástján elhelyezett mágnesekkel



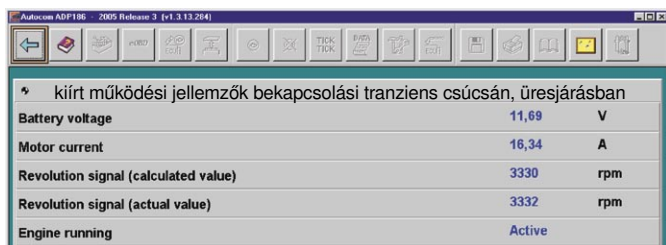
**2F ábra:** a villamos hajtás egységei: vezérlő áramkör, állórész és serleges forgórész



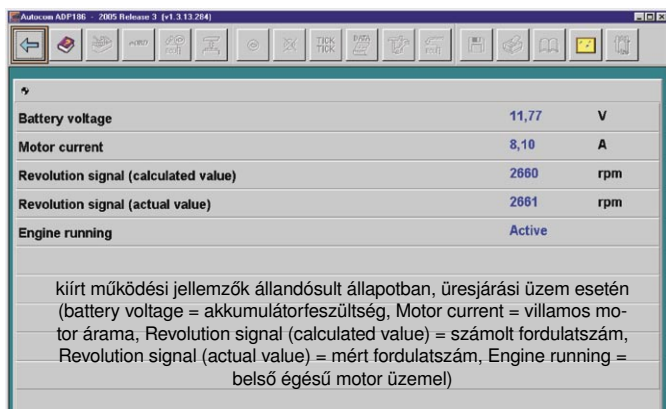
3A ábra: kolvasott hibakódok



3B ábra



3C ábra



3D ábra

### Egy elektrohidraulikus szervokormány hajtómotorjának szerkezeti felépítése

Opel Astra G és Zafira gépkocsikban található, TRW gyártmányú, első generációs elektrohidraulikus szervokormány villamos motorját, vezérlését tettük a boncaszatra, nevezetesen próbapadi mérésnek vetettük alá.

Talán ez az egység okozza a legtöbb fejtörést, hiszen a nyomtatott áramkör tartalmazza a villamos hajtást vezérlő elektronikát. Sőt nem árt némi hardver közeli programozásban szerzett elméleti és gyakorlati tapasztalat. Vannak esetek, amikor roncsolásmentesen szinte ki sem bontható a szivattyúval és olajtartállyal egybeépített házból. A  $2/A...F$  fényképek segítségével a motor belvilágába tekinthetünk be.

Az állórésztekerces ellenállására (0,4 ... 0,5)  $\Omega$  közötti értékek mérhetők. Ez azt jelenti, hogy egy közvetlen és folyamatos 12 V-os megáramlásnál akár 30 A áram is átmegy a tekerceseken, amely érték nem megengedett, mert a tekercesek túlmelegedéséhez vezet, tekintettel a zománcozott rézhuzalok keresztmetszetére. Viszont szakaszos üzemben, annak függvényében hogyan aránylik a bekapcsolt állapot időtartama a kikapcsolt állapot időtartamához, ettől az értéktől nagyobb áram is folyhat, vagy éppen akár egy rövid ideig tartó túlterhelést is képes elviselni.

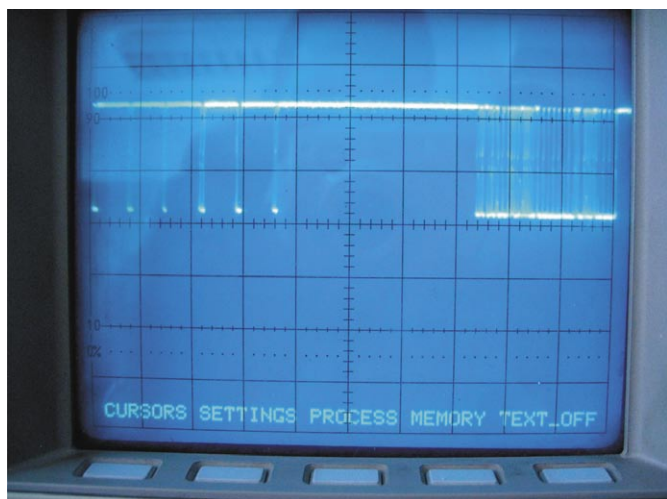
Az állórész 12 tekercesét 3-as csoportokban táplálják meg. Így négy helyzetbe állítható az állórész mágneses fluxusa. A vezérlőelektronika alapján feltételezhető az impulzusos megáramlású üzem, amelynek során az árammeredekséget a hasított vasmagon elhelyezett tekerces korlátozza. Ez védelmet nyújt a teljesítménytranszistorok nagy árammeredekség-terhelése ellen is. Az 55 V-os, 80 A-es BUZ111SL n-csatornás MOSFET további adatai a [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/B/U/Z/1/BUZ111SL.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/U/Z/1/BUZ111SL.shtml) internetes címről tölthetők le. Meghibásodásuk esetén ezzel egyenértékű tranzisztorokkal kell cserélni.

Mindegyik tranzisztor drain (D), jelen esetben középső kivezetése a tekercesek egyik kivezetésére csatlakozik. A tekercesek másik kivezetése közös sínen van. A csatlakozások sajtolással történnek. Az érintkező felületek galvanikus kapcsolatának ellenőrzése fontos. A forgórész serleges kivitelű, amelynek a belső palástfelületén 14 mágnes van elhelyezve, váltakozó polaritással. A mágnesek mechanikai tulajdonságaira való tekintettel, figyelni kell, hogy mechanikai sérülések ne legyenek, mint pl. repedés, törés. A forgási sebességet a vezérlő áramkör impulzusának frekvenciája, illetve a mágneses fluxus léptetésének módja határozza meg.

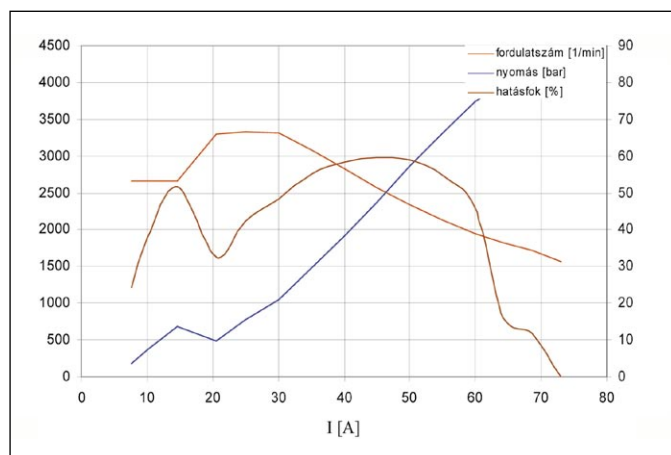
### Laborvizsgálatok és diagnosztika

Az elektrohidraulikus szervokormányánál szétválaszthatunk egy mechanikai szerkezetet, egy hidraulikus berendezést és egy villamos hajtást. Mindegyik kényes szerkezet a maga nemében és komoly szakmai ismereteket igényel a tervezésben, gyártásban, javításban és karbantartásban. Mindegyik szerkezetnek megvannak a sajátosságai, de talán a legnehezebb beelátni a villamos hajtás egybeöntött vezérlő áramkörébe. Ezért a korszerű elektrohidraulikus szervokormány-mű diagnosztikakimenettel rendelkezik, amelyik kommunikál a központi elektronikus vezérlőegységgel. Többféle hibaüzenetet tud jelezni, mint például az akkumulátor feszültsége túl kicsi vagy éppen túl nagy, a motorvezérlő elektronika belső áramköre hibás, cserélje ki az elektronikus vezérlőegységet vagy éppen azt, hogy nem talált hibát. Ezen túlmenően az egyes üzemi paramétereket is kijelzi, mint például a tápfeszültség, áram, számolt és mért fordulatszám. Ezek az adatok különböző diagnosztikai készülékekkel olvashatók ki a soros diagnosztikai aljzaton keresztül. Az  $3/A...D$  ábraszorozaton muta-

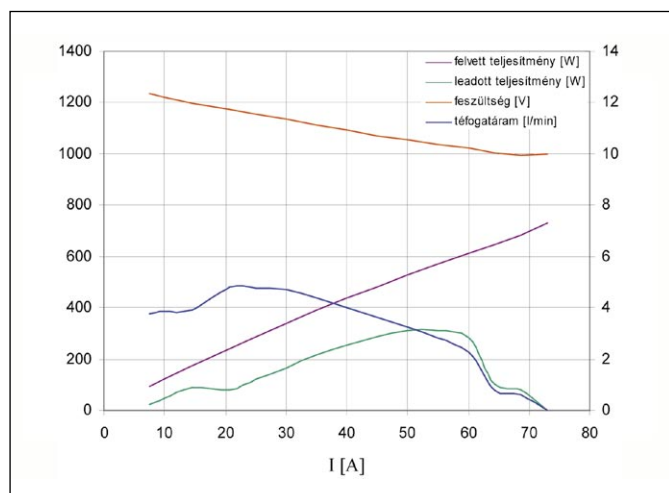




4. ábra: kommunikációs protokoll



5. ábra: a fordulatszám, a nyomás és a hatásfok változása a terhelő áram függvényében



6. ábra: a felvett és leadott teljesítmények, a feszültség és a térfogatóáram változása a terhelő áram függvényében

tunk erre példákat. A diagnosztikai méréshez az ADP 186-os készüléket használtuk.

A 4. ábrán a diagnosztikai vezetéken mérhető jelek sorozatának oszcilloszkópon mért ábrája látható. A jeleknek két stabil állapota van: az egyik 0 V-on, a másik 12 V-on. Ez a két állapot meredek jelváltozással követi egymást és egy sorozatot alkot, amelyben a jelek egymásutánisága egy bizonyos rendet követ. Ezt nevezik protokollnak és ez az alapja a soros kommunikációnak (adatközlésnek), hasonlóan a CAN-rendszerhez, ahol más feszültség szintek és más protokoll van. Bármely protokollnak van indítása, utasítása, adattartalma, ellenőrzése és zárása. Az indítás és zárás még nyomon követhető oszcilloszkópon, de a többi kódolt formában jelenik meg. Ezt visszakódolni nem egyszerű, sőt nem olyan rövid idő alatt, amilyen gyorsan követik egymást a jelsorozatok. Ezért célszerű diagnosztikai műszert használni, amelyik dekódolja a jeleket és a számunkra hasznos adatokat megjeleníti, mint például a hibakódokat vagy a mért villamos jelek nagyságát.

A különböző paraméterek változása a terhelő áram függvényében az 5. és a 6. ábrákon látható. A mérési eredmény összeállításával az alábbi megállapításokat tehetjük:

- a legnagyobb nyomás átlaga 83 bar, a legnagyobb hatásfok átlaga 63%;
- a tengely fordulatszáma  $2600 \text{ min}^{-1}$  15 A terhelésig, majd 20 A-tól  $3600 \text{ min}^{-1}$ ;
- a terhelés növelésekor és csökkentésekor a fordulatszám-váltás nem azonos értéken történik, tehát úgynevezett hiszterézises jellegűt mutat;
- 30 A felett a fordulatszám a számolt érték alá csökken, tehát már nem szabályozható.

Az akkumulátor feszültsége 12,5 V-ról csökken 10 V-ra a terhelő áram növekedésével. A legnagyobb felvett teljesítmény a legnagyobb terhelő áramnál 73 A-en 740 W. A leadott teljesítmény 55 A-nél éri el maximumát, 310 W-ot. A legnagyobb térfogatóáram, 4,8 liter/perc, 20 A-nél mérhető.

A következő hibakódok jelentkeztek a mérés során:

1. Elektronikus vezérlőegység (EVE) csere. Nem számít hibának, hisz a központi elektronika nélkül végeztük a méréseket.
2. Alacsony akkufeszültség. Normálisnak tekinthető, hisz generátor nélkül mértünk, s mint tudjuk, a generátor 14,5 V körül tölti az akkumulátort.
3. Magas akkufeszültség. Egyszer fordult elő, véletlenszerű hibának minősíthető.
4. Nincs hiba. Szerencsés eset – ilyen is van...
5. Belső motor áramköri hiba. Két esetben jelentkezett, de mindkét esetben végigment a próbapadi mérés. A villamos hajtás szétszerelése ez idáig nem történt meg. Voltak esetek, amikor több hibakód is jelentkezett egy berendezésen.

**Blága Csaba**  
**Kovács Ernő**

Miskolci Egyetem  
Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszék