

Villamos járműbalesetek megelőzése

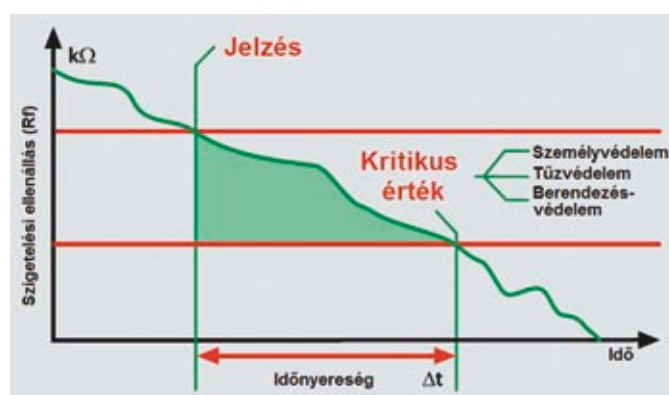
2008 júliusában a spanyol Formula-1 futam előtti teszteléseknél egy KERS (Kinetic Energy Recovery System), azaz fékezéskor a mozgási energiát villamos energiává alakító rendszerrel felszerelt BMW karosszériáját elsőként megérintő szerelő súlyos áramütést szenvedett. Talán ez az eset adta az utolsó lökést, hogy a nagyfeszültségű hálózatokkal is rendelkező hibrid vagy tisztán villamos hajtású járműveknél fokozott veszélyt jelentő villamos balesetek megelőzésére a korábbiaknál sokkal nagyobb figyelmet fordítsanak.

A villamos szigetelések vizsgálatával évente több száz - piacvezetőként - foglalkozó Bender cég rövidesen jelentkezett egy minden tesztvizsgálaton kifogástalanul teljesítő (A-Isometer iso-F1) mérőkészülékkel. Az egyedülálló készülék üzem közben is folyamatosan vizsgálja a jármű hálózatának szigetelési állapotát, és romló értékek esetén kellő időben figyelmeztet, hogy egy későbbi baleset bekövetkeztét elkerülhessük.

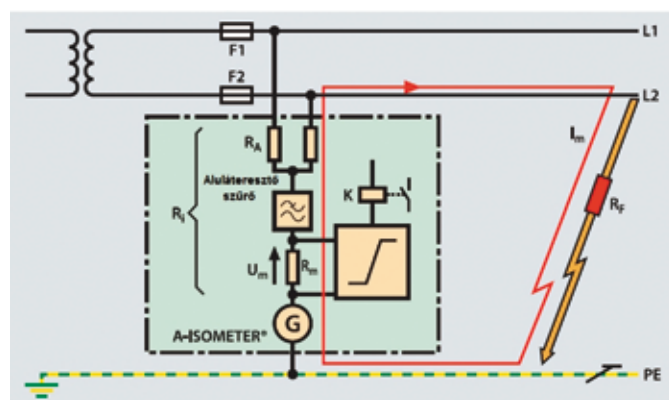
A Bender cég által kifejlesztett mérőkészülék a legszélsőségesebb környezeti feltételek (pára, nedvesség, magas és alacsony hőmérséklet stb.) mellett is megbízhatóan üzemel, méreteit (125X60 mm) és tömegét (50 gramm) tekintve akár egy tenyérben is elfér (1. ábra). A szigetelésvizsgáló különleges tulajdonságai és kivételes megbízhatósága azt eredményezte, hogy a mérőkészüléket a KERS-szel kiegészített Formula-1 autókba állandó tartozékként, már a 2009-es évtől beépítik. A cég természetesen szorgalmazza, hogy a későbbiekben minden hibrid vagy elektromos meghajtású járművet - személy- és

vagyonbiztonsági okokból - lássanak el folyamatos működésű szigetelésvizsgáló készülékkel. Azért, hogy a készülék működésével, felhasználási lehetőségeivel megismerkedjünk, először a szigetelésvizsgálat módszereiről kell néhány szót ejteni.

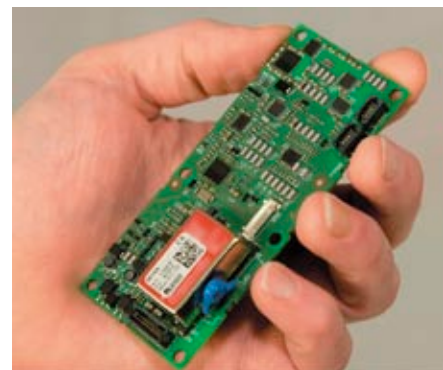
A jelenlegi hibrid és villamos hajtású járművek villamos hálózatait tekintve, két lényeges dolgot kell megemlíteni. Egyrészt, hogy a hajtást szolgáló villamos hálózatok - az említett járművekben - meglehetősen magas (akár 5-600 V) közbenső (DC) feszültséggel rendelkeznek, másrészt pedig földetlen (testeletlen) kialakításúak. A földetlen (testeletlen) kifejezés azt jelenti, hogy a munkavezetékek egyetlen ága sem testelt a járművázhoz, de az egyes végrehajtók külső burkolata, ettől függetlenül egyedileg vagy együttesen testelt lehet. Az említett megoldás azt eredményezi, hogy amennyiben a nagyfeszültségű (DC vagy AC) hálózat bármelyik ága - szigetelési hiba miatt - a karosszériához záródik vagy átvezet, az azt megérintő külső



2. ábra

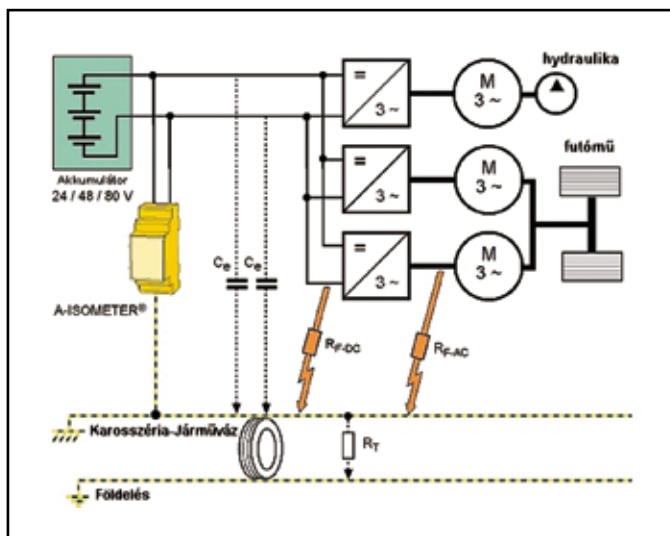


3. ábra



1. ábra

személy áramütést szenvedhet, miközben a jármű hibátlanul üzemel. Éppen ez a rejtett hiba okozhat gondot (lásd a BMW-s eset!), mert a jármű működésében nincs változás, és a védőbiztosítékok sem „szólalnak” meg, mint egy földelt ágú hálózat esetében. Sok esetben még a műanyagból készült karosszériaburkolat sem működik szigetelésként, hiszen a merevítéshez használt szénszálak nagyon is jól vezetnek a villamos



4. ábra

áramot! Ezért kellett a földetlen hálózatok vizsgálatára egészen különleges módszert kidolgozni.

Az alapos megfigyelések szerint a szigetelési ellenállás csökkenése viszonylag hosszabb idő alatt (a szigetelőanyag lassú öregedése miatt!) következik be (kivételesen egy roncsoló hatású ütközés), mely időtartam természetesen függ az alkalmazott szigetelőanyag tulajdonságaitól és az üzemeltetési (környezeti) viszonyoktól.

A kutatók tehát olyan módszert kerestek, melynek segítségével a szigetelési ellenállás változása (csökkenése) folyamatosan nyomon követhető, ezért egy előre beállított érték elérésekor kiadott figyelmeztető vagy riasztójelzés jóval megelőzheti a tényleges zárlatot, illetve annak káros következményeit. Nyilvánvaló, hogy egy „előjelzés” esetén a hálózat állapotát sürgősen felül kell vizsgálni, és a talált hibákat ki kell javítani. A Bender cég szigetelésvizsgálati eljárása is ilyen megfontolásokon alapul, melyet a 2. ábrán látható diagram illusztrál.

A közölt diagramból világosan látható, hogy az eredetileg kifogástalan szigetelési ellenállás az idő folyamán lecsökken arra az értékre, mely - előre beállított adatok alapján - figyelmeztető jelzés kiadását eredményezi. Ekkor a jármű még hibátlanul üzemel és villamos baleset veszélye sem áll fenn. Amennyiben a szükséges átvizsgálás és javítás nem történik meg, a szigetelés állapota tovább romlik, és egy későbbi időpontban elérheti azt a kritikus értéket, melynél (a mindenkor hálózati adatok függvényében) áramütési veszély, elektro-

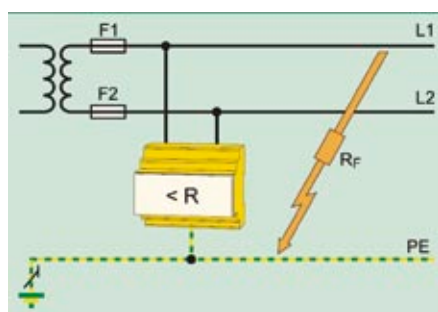
területre, egymástól eltérnek. Földetlen (testetlen) hálózatokban meglehetősen régóta alkalmazott eljárás, hogy a szigetelt vezeték és egy villamosan vezető felület (jelen esetben a járműváz vagy karosszéria) közé meghatározott nagyságú egyenfeszültséget (DC) kapcsolnak és az ennek hatására kialakuló „szivárgási” áramot mérik, mely értékekből Ohm törvénye segítségével a mindenkor szigetelési ellenállás meghatározható. A módszer azonban csak „vegytisztá” váltakozó áramú hálózatokban használható, mivel bár-

mos tűz vagy akár a teljes berendezés meghibásodása is bekövetkezhet. Világosan érzékelhető, hogy az előjelzést kiadó mérőkészülék megfelelő időnyerességet biztosít arra, hogy a további szigetelésromlás következményeit még bekövetkezésük előtt elháríthassuk. A villamos szigetelés mérés gyakorlati módszerei, tekintettel a rendkívül széles alkalmazási

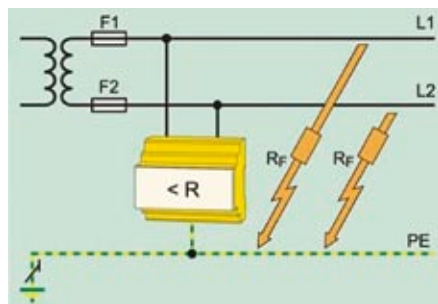
milyen további egyenáramú összetevő a mérési adatokat meghamisítja. Miután az általunk vizsgált járműhálózatok egyidejűleg tartalmaznak egyen- és váltakozó áramú összetevőket, eltérő mérési elvet kellett kidolgozni.

A Bender cég AMP (Adaptiver Messpuls) rövidítéssel megjelölt, vagyis a mérendő hálózat adataihoz (öntanuló módon) alkalmazkodó, szabadalmaztatott mérőimpulzust használ a precíz szigetelés méréshez. Az impulzus kialakítása egy szoftveres program segítségével történik, a mérendő hálózat mindenkor paraméterei alapján. A mérőimpulzust a mérendő vezeték(ek) és a karosszéria mint közös pont közé kapcsolva tudják az így kialakuló áram releváns részét - további komplikált szűrési folyamat után - kiértékelni.

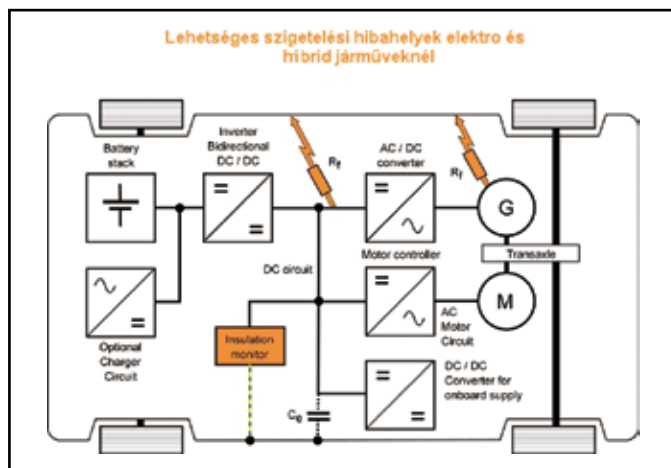
Az A-ISOMETER-rel történő mérés elvi kapcsolása a 3. ábrán látható, míg működése röviden a következőkben foglalható össze. Az ábra G-vel jelölt generátora állítja elő az AMP mérőimpulzust, mely a készülék mérőellenállásán (R_m), és a nagyfokú zavarcsűrő aluláteresztő szűrőn, valamint az elválasztó ellenállásokon (R_A) keresztül a tápvezetékek (L1 és L2) és a mérési testpont (P_E) között, a tápfeszültségekre szuperponálódva jelenik meg. A tápvezetékek és a testpont között a szigetelés mindenkor állapotával arányos áram (I_m) folyik, mely az R_m mérőellenálláson egy adott feszültségesést (U_m) hoz létre. Ennek a feszültségnek a kiértékelése, a számos zavaró tényező (pl.: a kábelkapacitások és a zavarcsűrő kapacitások hatása, a vezérlőkészülékek és a buszrendszerek által „termelt” zavarjelek stb.) miatt csak szoftveres úton lehetséges. A kábelkapacitások (C_e), melyek az egyes kábelretek és karosszéria-felület között jönnek létre, több 10 nF értéket is elérhetnek, míg a munkavezetékek által táplált egységek bemenetén található zavarcsűrő kondenzátorok a több 100 nF-os tartományban találhatók. Bár a 4. ábrán egy elektromos targonca villamos kapcsolása látható, az említett kábelkapacitások itt is egyértelműen azonosíthatók. Ezen kapacitások mérőimpulzus-hamisító hatásával, valamint töltő és kisütő áramaik által keltett fázistolásokkal kell a szűrőkörnek és a kiértékelő szoftvernek megküzdeni. Az így kapott megszárt, átszámolt, szinte tisztán ohmos áramkomponensből nyert U_m feszültség nagysága már valóban arányos



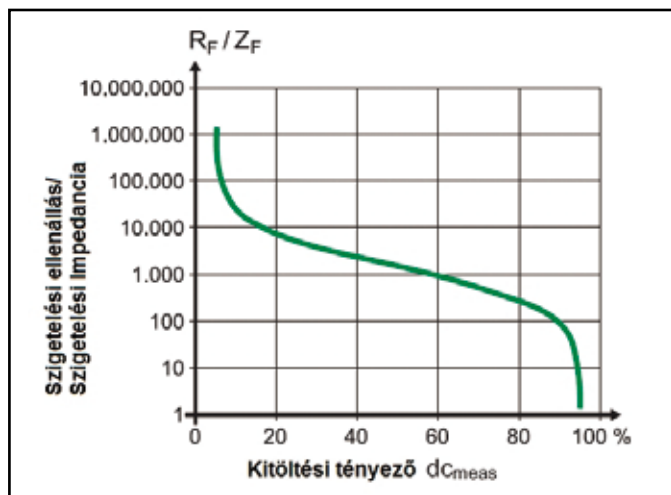
5. ábra



6. ábra



7. ábra



8. ábra

a szigetelési ellenállással (R_F), ezért egy komparátor áramkör segítségével a szigetelési állapot – megadott határig történő – romlásának előjelzésére, vagy akár a vizsgált egység működésének leállítására is felhasználható.

A korábban bemutatott 3. ábrát szemlélve feltűnhet, hogy a mérőműszer mindkét vizsgálendő táp- vagy munkavezetékhez csatlakozik. A műszeren lévő jelzésekkel megegyező csatlakoztatás esetén, a mérőkészülék tárolójából (opcionális kiolvasható, hogy melyik ág (L1 vagy L2, illetve L+ vagy L-) szigetelési ellenállása csökkent a jelzési érték alá, sőt az a ritkábban előforduló állapot is, amikor mindkét oldal ellenállásának csökkenése egyidejűleg következik be, ami a kritikus értéket elérve elektromos tüzet, vagy akár teljes üzemkiesést is okozhat. Ezek az adatok nagymértékben segítik a hibás kábelszakasz helyének megállapítá-

sát és a hiba gyors elhárítását.

Az aszimmetrikusan, illetve szimmetrikusan változó szigetelési ellenállások mérésének értelmezését az 5. ábra és a 6. ábra segíti.

Az eddigi ismeretek birtokában célszerű áttekinteni, hogy egy elektromos vagy hibrid meghajtású gépjárműnél hol helyezkednek el a folyamatos szigetelésvizsgálat szempontjából „kritikus” hálózatrészek és hová célszerű a mérőműszert kapcsolni. A 7. ábra egy tisztán elektromos vagy hibrid jármű villamos oldalának vázlatát tartalmazza, ahol bejelölték a kritikus ágakat és a szigetelésmérő műszer elvi elhelyezését is.

Befejezésül érdemes a Bender cég által jelen esetben

még csak a Forma-1-es versenykocsikhoz kifejlesztett konkrét A-ISOMETER iso-F1 (IR155-1/IR155-2) célműszerének néhány adatára, kijelzéseinek értelmezésére visz-

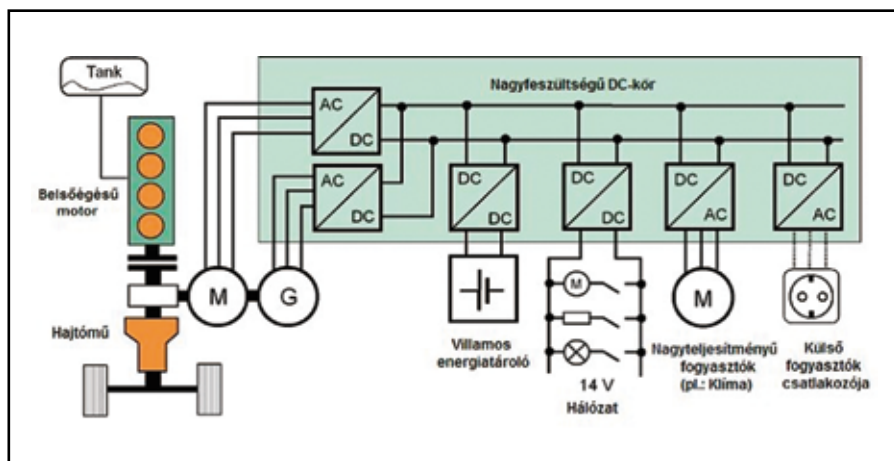
zatérni, miután több mint valószínű, hogy a közeljövő hibrid és majd a villamos hajtású járműveinek is egy nagyon fontos, biztonságfokozó egységét fogják alkotni.

Főbb ismertetőjegyek:

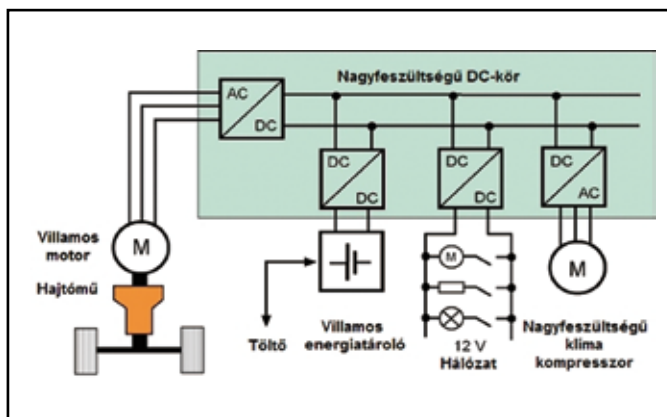
- Szigetelésvizsgálat földetellen, egyenáramú (DC) hálózatokban (0–800 V) akár 6 kV-os zavarimpulzus-elnyomással.
- Mérőimpulzus (AMP) automatikus illesztése a hálózat jellemzőihez.
- Mérőkészülék-tápfeszültség: 9–18 V DC.
- A mérőkészülék teljesítményfelvétele: < 1,5 W.
- Galvanikusan leválasztott PWM kimenet (M+ / M-) a szigetelési ellenállás méréséhez.
- Optocsatolt kimenet a készülék státuszának kijelzéséhez (OK+ / OK-).
- A készülék csatlakozási pontjainak (PE, L+ és L-) folyamatos ellenőrzése.
- Automatikus önteszt bekapcsoláskor és utána folyamatosan 5 percenként.
- Kétféle mérési eljárás (DCP ha C_e max. 1 μ F; PCP ha C_e max. 100 nF).
- Előre programozott előjelzés-kiadás, ha a szigetelési ellenállás R_F < 100 k Ω .

Befejezésül a megadott ismertetőjegyek közül néhány pont magyarázatára külön is kitérünk, szemléltetve, hogy a modern elektronika látszólag egyszerű jelekből hányféle információt képes kiolvasni, illetve megjeleníteni.

A galvanikusan leválasztott (optocsatolt) kimenet egyrészt a kijelző egység biztonságos, feszültségmentes állapotát garantálja (miután a vezető ezt megérinthati), másrészt a kimeneten megjelenő PWM (impulzus-szélesség-modulált) jelek segítségével úgy a pillanatnyilag mért szigetelési ellenállás



9. ábra



10. ábra

értéket, mint a mérőkészülék csatlakozási, illetve működési hibáját képes egyidejűleg jelezni.

A mérőkészüléket ugyanis úgy állítják be, hogy a lehetséges szigetelési ellenállás tartomány 5%-95%-os impulzuskitöltési tényezőt eredményezzen. Ebben a tartományban tehát az aktuális szigetelési ellenállás értékének mérése történik, gyakorlatilag 50 MΩ és 0 Ω között. A 8. ábrán látható diagram ezt a tartományt szemlélteti, és a mindenkor kiadott kitöltési tényezőkhöz rendeli a szigetelési ellenállás (R_f), illetve a szigetelési impedancia (Z_f) értékeit.

A műszer által választható kétféle (DCP és a PCP) mérési eljárással a szigetelési ellenállás vagy a szigetelési impedancia meg-

PWM formában. Ennek az eljárásnak az a hátránya, hogy a mérőkörben jelenlévő alacsonyfrekvenciás zavarjelek a mérés idejének a meghosszabbodását eredményezik.

Ezzel szemben a PCP (Phase Correlation Pulse) rövidítésű, fáziskorrelációs impulzust alkalmazó eljárásnál egy előre meghatározott nagyságú mérőimpulzust használnak minden olyan esetben, ha a vizsgált hálózat C_e -értéke nem haladja meg a 100 nF összkapacitást. Ebben az esetben végeredményként a szigetelési impedancia (Z_f) értékét kapjuk ugyancsak PWM formában. Az aktuális mérési eljárást a műszer beépítésekor – a hálózat adatainak ismeretében – választják ki, egy átkötés

határozása lehetséges. A DCP (Direct Current Pulse) rövidítésű, egyenáramú impulzust használó eljárásnál az előzőleg bemért $C_e < 1 \mu F$ összkapacitású hálózatokhoz automatikusan igazítják a mérőimpulzus nagyságát, és a kimeneten közvetlenül a szigetelési ellenállás értékét (R_f) jelenítik meg

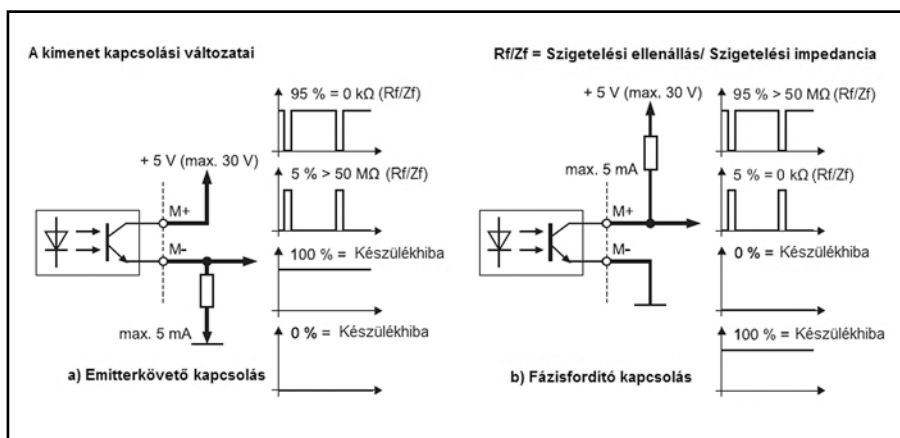
(Jumper) beforrasztásával. Bár a választás a kérdéses, vizsgálandó hálózat paramétereitől egyértelműen függ, de ha a C_e -érték 100 nF alatt van, akkor az impedancia meghatározást (PCP) érdemes választani, ugyanis ez a módszer sokkal alkalmasabb a dinamikus üzemmódok (hirtelen fékezések, gyorsítások) által termelt zavarok eliminálására, és a mérési eredmény pontosítására.

Talán feltűnő, hogy a mérőkészülék tápfeszültsége a jelenleg használatos 12 V-os tartományba esik, hiszen az említett járművek hajtásánál eleve 4-600 V-os nagyságrendet említettünk. Amennyiben megvizsgáljuk egy hibrid (9. ábra), vagy egy elektromos (10. ábra) gépjármű villamos kapcsolási vázlatát, akkor láthatjuk, hogy a jelenlegi kialakítás még tartalmazza a 12-14 V névleges feszültségű hálózatot, hiszen a fedélzet villamos és elektronikus egységei még erről a tápfeszültségről működnek.

A 11. ábra alapján lehet azt a „trükkör” megérteni, hogy ugyanarról a PWM-kimenetről nemcsak a szigetelési ellenállás értékét, hanem a készülék vagy a bekötések meghibásodását is ki lehet jelezni. Miután normál működés esetén a kitöltési tényező sem 0%, sem 100% nem lehet, akkor ezek az értékek csak készülékhibára utalhatnak. Az ábrán azonos kitöltési tényezőkhöz rendelt különböző szigetelési ellenállás határértékeket láthatunk, de ez nem tévedés, hiszen a PWM kimenet vagy emitterkövetőként (bal oldali ábrarész) vagy földelt emitteres (fázisfordító) erősítőként (jobb oldali ábrarész) működhet.

A szigetelési ellenállás folyamatos, üzem közben történő mérésének elvi megoldására és a mérőkészülék működésének elemzésére azért helyeztünk nagyobb súlyt, mert valóban egy különleges innovációról van szó, amely a jövő járművezetőit, járműjavítóit és magát az értékes járművet is képes a villamos áram okozta balesetektől – a kellő időben kiadott figyelmeztető jelzést követő átvizsgálás és javítás eredményeként – biztonságga megvédeni.

CSÚRI GYÖRGY



11. ábra

www.autoszerszam.hu

...minden, amire a szakmának szüksége lehet.