

Spontán antennák sugárzott emissziójának alternatív, költséghatékony csökkentése

Alternative, cost-effective reduction of radiated emissions from spontaneous antennas

HEGYI Gábor¹, Dr. BODOLAI Tamás²

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.
Energetikai Divízió
3519 Miskolc, Iglói utca 2.
¹gabor.hegyi@bayzoltan.hu, ²tamas.bodolai@bayzoltan.hu

Abstract

Ensuring compliance with EMC directives from the beginning of the design process is one of the basic principles of modern product compliance procedures. The cost and time required for retrofitting increases exponentially with each step of the product's time to market. However, once a product is in production, some modifications may already be required. A common example is the placement of a ferrite ring or clamp on a power or signal line to prevent interference. Although the solution is simple and can be quickly incorporated into an existing process, the cost is relatively high. The aim of this article is to present a solution that in some cases provides a cost effective alternative.

Keywords: Electromagnetic compatibility, EMC, radiated emission, interference emission, interference mitigation

Kivonat

A modern termékmegfelelőségi eljárások egyik alapelve az EMC direktíváknak való megfelelés biztosítása már a tervezési folyamatok kezdetén. Az utólagos módosítások ára és időráfordítása a termék piacra jutásának lépéseit tekintve exponenciálisan emelkednek. Ennek ellenére előfordul, hogy már a gyártásban lévő terméken valamilyen módosítás szükséges. Gyakori példa egy ferritgyűrű vagy bilincs elhelyezése egy hálózati vagy jelvezetékre az interferencia elkerülése érdekében. Habár a megoldás egyszerű és gyorsan beilleszthető egy már működő folyamatba, a költsége viszonylag magas. A cikk célja, hogy bemutasson egy olyan megoldást, amely bizonyos esetekben költséghatékony alternatívát biztosít.

Kulcsszavak: Elektromágneses összeférhetőség, EMC, sugárzott emisszió, zavarkibocsátás, zavarcsökkentés

1. AZ ELEKTROMÁGNESES ÖSSZEFÉRHETŐSÉG

Az elektromágneses összeférhetőség (EMC) direktíváit annak érdekében hozták létre, hogy a folyamatosan fejlődő világban biztosítható legyen az, hogy az elektronikai berendezések zavartalanul tudjanak egymás közelében működni. A fogalmát az MSZ IEC 1000-1-1 szabvány írja le, mely szerint az EMC „Valamely berendezésnek vagy rendszernek azon képessége, hogy elektromágneses környezetében kielégítően működjék anélkül, hogy a környezetében bármi számára elviselhetetlen zavarást idézne elő.” [1]

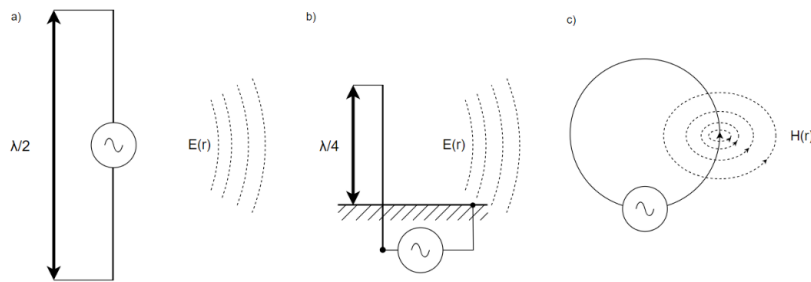
A fogalom magában tartalmazza, hogy egy adott berendezésnek el kell viselnie azokat a zavarhatásokat, amelyek normál használat közben a környezetében megjelennek, vagyis megfelelő zavartűrővel vagy immunitással kell rendelkeznie, továbbá nem bocsájthat ki a normál működése során környezetében tartózkodó berendezések számára elviselhetetlen zavarjeleket, vagyis a zavarkibocsátása vagy emissziója nem léphet át egy megengedett szintet. A megengedett legalacsonyabb zavartűrési és legnagyobb zavarkibocsátási szinteket az EMC szabványai tartalmazzák termékkategóriákra osztva. Ilyenek lehetnek az orvostechikai, az autópári, a hadipári berendezések, de külön direktívák vannak a kézi szerszámokra, vagy akár világítástechnikára is. A szabványok továbbá tartalmazzák azt, hogy ezek a zavarjelenségek milyen módszerekkel mérhetőek. Általánosságában mindkét vizsgálati csoportnál beszélhetünk vezetett, illetve sugárzott zavarokról. A vezetett zavarok a berendezés táp vagy

kommunikációs vezetékén jelennek meg, a sugárzott zavarok pedig elektromágneses hullámok formájában a levegőben terjednek.

A kutatómunka, amely alapján a cikk íródott a sugárzott emisszió mérések témakörében, ezen belül pedig az akkumulátoros kézi és kerti szerszámok területén készült.

2. AKKUMULÁTOROS KÉZI ÉS KERTI SZERSZÁMOK

Általánosságában megfigyelhető, hogy a modern kézi szerszámok fő komponensei (akkumulátor, motor, elektronika) általában közel helyezkednek el egymáshoz. Ez nem csak a kompakt kialakításra való törekvés eredménye, hanem az EMC szemléletű tervezés egyik alapelve. A komponenseket összekötő vezetékek komoly hatást jelentenek a termék sugárzott emissziójára. Az ilyen módon kialakuló sugárzót spontán vagy természetes antennának nevezzük, mely lehet bot vagy lineáris antenna, vagyis villamos monopól vagy dipól, illetve keretantenna, másnéven mágneses dipól. [2]



1. ábra. a) Villamos dipól, b) Villamos monopól, c) Mágneses dipól [2]

A villamos monopól vagy dipól egyik, vagy mindkét vége nyitott, egyenáram szempontjából az impedanciája végtelennek tekinthető. Azonban váltóáramú gerjesztés esetén megjelenik az Ampère-Maxwell-törvényben leírt eltolási áram, amely szerint meg fog jelenni valamilyen áramlás még akkor is, ha nincsenek jelen töltések és fizikailag nem folyik áram. A jelenségnek köszönhetően a frekvencia növelésével az antenna áramerőssége növekszik, így az impedanciája csökken. [3] Fontos tényező továbbá, hogy a villamos antennák hossza meghatározza, hogy mely hullámhosszú zavarjeleket képesek leghatékonyabban továbbítani, ami nagyon fontos információ a hibakeresésnél és a megfelelő zavarzűrő tervezésénél. Ez a villamos dipól esetén

$$D = \lambda/2$$

és monopól esetén

$$D = \lambda/4$$

Ahol D az antenna hossza és λ a zavarjel hullámhossza.

Amennyiben a hurok zárt, akkor elenyésző feszültség hatására jelentős áramok indulhatnak el a vezetőkön. A hurok impedanciája a frekvencia növelésével a nullához közelít és a közelében mágneses teret indukál. [2]

Ennek fényében a szerszámgépek, illetve minden elektronikai berendezés tervezése során fokozott figyelmet igényel az, hogy elkerüljük az ilyen spontán antennákat. Ezek elektromágneses emissziójának utólagos csillapítása nagy mértékben növelheti a termék gyártási költségeit.

3. ZAVARCSILLAPÍTÁS

Gyakorlatban gyakran előfordul, hogy az előző fejezetben tárgyalt tervezői alapvetés nem teljesül, aminek az oka a termék biztonsági és kényelmi feltételeiben keresendő. Például egy hosszított nyelvű elektromos ágvágó esetében a működtető kapcsolónak a felhasználó kezéhez kell kerülnie annak érdekében, hogy biztonságosan működtetni tudja azt, az akkumulátornak pedig a keze alatt kell helyet kapnia, a megfelelő súlyelosztás miatt. Ez egy vagy két igen hosszú vezetékpárt jelent a szerszám két vége között attól függően, hogy a kapcsoló az akkumulátor feszültségét kapcsolja-e a szerszámban található motorra vagy a szerszámfejben elhelyezkedő elektronikának küld indító jelet. Ezekben az esetekben vagy olyan módot kell találni, amivel elérhető, hogy villamos vezeték nélkül is létrehozható legyen a szükséges kapcsolat vagy valamilyen zavarcsillapítást kell alkalmazni. A villamos vezetékek elhagyása tápellátásnál nem használható, viszont számos egyéb megoldás figyelhető meg a kapcsolók vezetékének megvalósítására. Tipikus példa, hogy annak érdekében, hogy a nyomógomb megnyomásakor a tápellátás a lehető legrövidebb úton csatlakozzon a szerszám motorjához, viszont megmaradjon a szerszám ergonómiája, egy kart illesztnek a gombra, ami így közvetlenül a gép hátuljában található kapcsolót működteti. Ez egy ismert szerszámgyártó által kiadott szabadalmában is megjelenik. [4]

Amennyiben a termék kialakítása nem teszi lehetővé azt, hogy ilyen és ehhez hasonló mechanikus kapcsolókat alkalmazzanak a gyártás során (biztonsági vagy dizájn megfontolások miatt) és mindenképpen elektromos vezeték csatlakoztatása szükséges, akkor valamilyen zavaroszűrőt szükséges alkalmazni. Gyakorlatban többféle szűrőáramkört ismerünk, melyekből a kapacitív vagy az induktív impedancia növelésével alul vagy felül áteresztő szűrők készíthetők, illetve ezek kombinációjával sáv záró vagy áteresztő kapcsolások is megvalósíthatók. Az ilyen módosítások a már gyártásban lévő vagy ahhoz közel álló termék esetében mindig idővel és költséggel jár. Sok esetben jóval egyszerűbb egy ferritgyűrűt helyezni a vezetékre, amely ezáltal megnöveli annak impedanciáját, csillapítva a nagy frekvenciás zavarokat, így elkerülve a vezetékből kilépő emissziót. A megoldás előnye, hogy minimális változtatás történik a gyártási folyamatban, viszont az alkatrész maga viszonylag drágának számít, így növeli a termék anyagköltségét.

Általában a kialakuló természetes antennák oka vagy a tápellátás, ami lehet egyen- vagy váltóáram, illetve valamilyen kommunikációs vonal. Ezeknél minden esetben van egy vagy több jellemző frekvencia, amelyen működnek. A szűrőket mindig úgy kell méretezni, hogy ezekre a jellemző frekvenciákra ne legyen hatással, ne csökkentsék azok amplitúdóját, így csak olyan elektronikai komponensek alkalmazhatók, amelyek jellemzően vagy kapacitív vagy induktívak és az ohmos ellenállásuk elhanyagolható. Az ohm-os ellenállás a teljes frekvencia spektrumra hatással van, így zavaroszűrés esetén kerülendő.

A kutatómunka alapja egy kereskedelmi forgalomban lévő akkumulátoros kerti berendezés, amelynek indító kapcsolója a gép testétől biztonsági okokból nagyjából 1,5m-re helyezkedik el, ezáltal egy antenna jön létre, amin keresztül a berendezés villanymotorja által keltett sugárzott emisszió mérhető. Megvizsgálva a terméket észrevehető volt, hogy a kapcsoló nem az akkumulátor feszültségét szakítja meg, hanem a vezérlő elektronika határozza meg, hogy az éppen zárt vagy nyitott pozícióban van. Ez arra enged következtetni, hogy az ilyen elektronikai kapcsolat kivételt jelent a korábban említett gyártói gyakorlatok alól és lehetséges, hogy az ohm-os ellenállása növelése egyrészt nem akadályozza a terméket a működésében, továbbá csökkenteni annak sugárzott emisszióját. A következő fejezetben az ezen a kerti gépen végzett kísérletek kerülnek bemutatásra.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

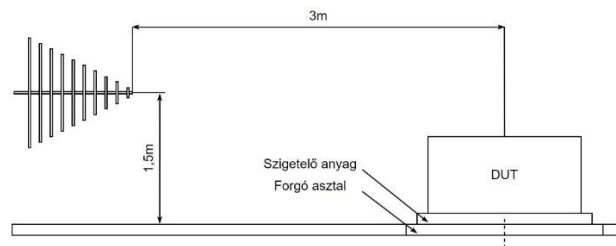
A cikkben szereplő kutatómunka egy valós EMC megfelelőségi vizsgálat eredményei alapján indult el. A megrendelő nevét és a termék típusát titoktartási nyilatkozat védi, így csak a kutatás szempontjából releváns mélységig történik meg ennek részletezése.

Vizsgálat célja

A termék egy akkumulátoros kerti gép. Az EMC vizsgálatok célja a gyártási költségek csökkentése. Az ehhez hasonló akkumulátoros gépek sugárzott zavarkibocsátás mérésére vonatkozó szabvány az MSZ EN 55014-1[5]. A vizsgálat tárgyát képező berendezés a kutatás szempontjából releváns részei egy akkumulátor, egy villanymotor, egy vezérlő, és a hozzá kapcsolt indítógomb, ami nagyjából másfél méterre helyezkedik el a gép testétől, így egy hosszú vezetékkel csatlakozik az elektronikához. A költségcsökkentés tárgya az ezen a vezetéken elhelyezett ferritgyűrű, amelyet a vezeték által keltett zavarkibocsátás miatt helyeztek a termékbe. A tesztekhez 3 darab ismeretlen típusú ferritgyűrűt biztosított a megrendelő, melyeket egyesével a termékbe helyezve és külön-külön tesztelve, a gyártó a mérési jegyzőkönyvek alapján el tudja dönteni, hogy mely gyűrű felel meg számára. A vizsgálatok után a gyártó engedélyt adott arra, hogy a vezeték módosításával további tesztek legyenek elvégezhetőek a terméken.

Tesztelrendezés

Az EMC mérések a Miskolci Egyetem Rejtő Ferenc EMC laboratóriumában történtek. A labor egy SAC-3-as EMC kamrával rendelkezik, ami lehetővé teszi autóiipari és általános kereskedelmi forgalomba kerülő elektronikai eszközök sugárzott zavarkibocsátás vizsgálatát 3 méteres távolsáig. A termék az általános elektronikai eszközökre vonatkozó szabvány alapján egy forgó asztalra került. Az alapelv a sugárzott zavarkibocsátás mérések esetében a legrosszabb eshetőség („worst case scenario”) megkeresése a forgó asztal és egy állítható magasságú antenna árbócra szerelt HL562E Ultralog antenna használatával. Az antenna és a vizsgálat tárgyát képező berendezés között 3 méter mérhető.

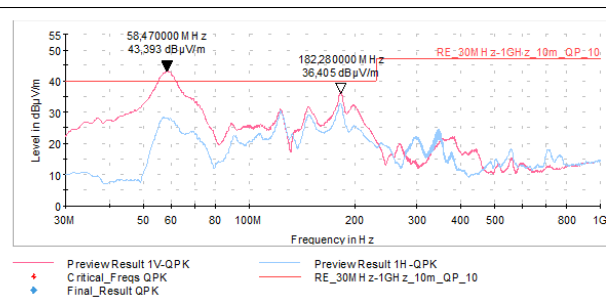


2. ábra. Tesztelrendezés

A teszt kezdetén az antenna 1,5m magasságban helyezkedett el és 6 mérés történt a forgó asztal 0°-os, 45°-os és 90°-os forgatásával az antenna függőleges és vízszintes orientációjában. A mérésekhez használt mérő-vevő minden mérésnél 50ms-os mérési idővel quasi-peak detektort alkalmazva gyors méréseket végzett 120kHz-es felbontással. A szabványok lehetővé teszik azt, hogy az előmérések rövidebb mérési idővel történjenek, mindaddig, amíg a végső mérések az előírtaknak megfelelően, jelen esetben 1s-os mérési idővel végzik. Ez azért kifejezetten fontos, mivel az akkumulátoros gépek üzemideje limitált. A 6 mérési eredmény összegzésre került a maximális értékek alapján az antenna polarizációja szerint, így 2 görbe jött létre az előmérés eredményeként. A következő lépésben a két görbén csúcskeresés történik. Olyan csúcsok kerülnek kiválasztásra, amelyek átléplik vagy megközelítik a termék kategóriára vonatkozó zavarkibocsátási limitet vagy EMC szempontjából érdekes karakterisztikát mutatnak. A vizsgálat során 6 pont került kiválasztásra. A harmadik lépésben a termék körül forgatása történik 15°-os lépésközökkel. Minden orientációban mérés történik mind a 6, korábban kijelölt kritikus frekvencián. A mérés célja a legmagasabb elektromágneses zavarkibocsátás irányának meghatározása. A végső lépésben mind a 6 orientációban a termék $\pm 15^\circ$ -os lassú forgatásával folyamatos mérést végez a mérő rendszer. Amikor megtalálja a kritikus frekvenciához tartozó kritikus orientációt, úgy az antenna magasságát kezdi el lassan változtatni 1m-től 4m-ig. A végső finomítások elvégzése után már ismert mind a 6 kritikus frekvencia, orientáció, antenna magasság és polaritás, így a végső mérés elvégezhető.

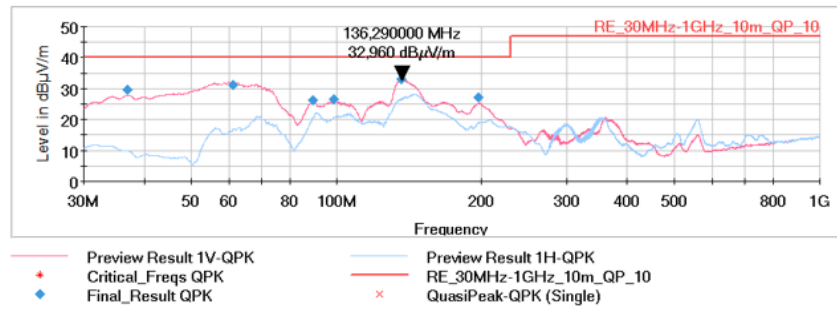
Mérési eredmények

A teszt eljárás első lépése az alap zavarkibocsátási szintek felvétele. Ez magába foglalja a ferrit nélküli állapotot, a vezeték nélküli állapotot és azon ferrittel történt mérést, amelyik a legkedvezőbb eredményeket hozta összehasonlítási alapként. A ferrit nélküli mérés várható módon elfogadhatatlan mértékű zavarjelet mutatott 60MHz környékén. A maximum értéke 58,47MHz, ahol a mért villamos térerősség 43,39dB μ V/m. A megengedhető limit ezen a vonatkozó frekvencia tartományon 40dB μ V/m, így indokolt a zavarcsökkentés.



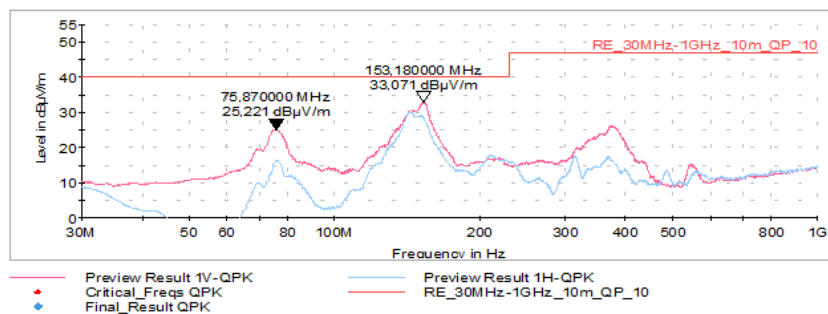
3. ábra. Teszt eredmény ferritgyűrű nélkül

A következő ábra azt a teszt eredményt mutatja, amely során ferritgyűrű volt elhelyezve az indító kapcsoló vezetékén. Mivel a cikknek nem célja a vizsgálat során használt ferritek értékelése, ezért ezen mérések közül csak a legkedvezőbb eredményeket szolgáltatott lett bemutatva összehasonlítási alapként. Jól látható, hogy az előző vizsgálathoz képest a zavarkibocsátás maximális mértéke 32,96dB μ V/m-re csökkent, ami pozitív eredménynek számít. A sugárzott emisszió tesztek esetén a megengedett legnagyobb mérési bizonytalanság ± 6 dB. Ez azt jelenti, hogy a megfelelőségi limit és a vizsgált berendezés sugárzott emissziójának maximuma legfeljebb 6dB lehet, így 40dB μ V/m esetén a maximális megengedett érték 36dB μ V/m. Az általános kereskedelmi forgalomba kerülő elektronikai termékek, mint a kézi vagy kerti szerszámok esetén a szabvány statisztikai alapon engedményt tesz. Ez azt jelenti, hogy nagyobb mintaszám esetén akár 3dB is megengedhető a megfelelőségi limittől.



4. ábra. Teszt eredmény ferritgyűrűvel

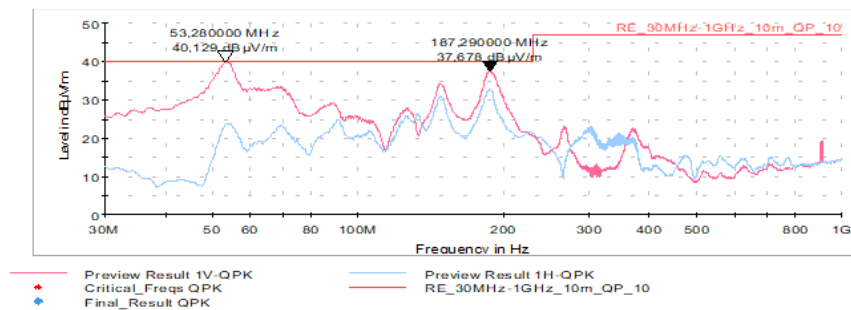
A harmadik teszt az indítógomb-hoz tartozó vezeték kikötésével történt. A szükséges biztonsági óvintézkedéseket betartva. A vezeték elvágása után, a lehető legközelebb a motorvezérlőhöz, a két vég összeforrasztásával a kerti gép indíthatóvá vált a hosszú vezeték nélkül. Összehasonlítva a 4. ábra és az 5. ábra eredményeit, jól látható, hogy a vezeték elhagyásával jóval kedvezőbb a sugárzott emisszió mértéke.



5. ábra. Vezeték nélküli vizsgálat

A zavarkibocsátás mértékének csillapítása céljából alkalmazott ohmos ellenállás hatékonyságának vizsgálatára két kísérlet került kidolgozásra. Az első kísérlet a kapcsolóba helyezett ellenállást vizsgálta.

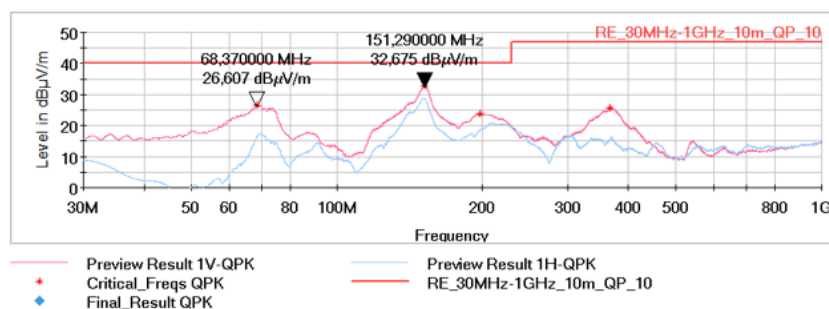
A berendezés indító kapcsolója lényegében két kapcsoló egymással párhuzamosan, melyek egyszerre kapcsolnak. A gyártási folyamat során a kapcsoló jelét közvetítő két vezeték a két kapcsolóba kerülnek bekötésre és a túloldalon egy rövid vezetékkel történik az összekötésük. Ennek az elrendezésnek az előnye, hogy nem igényel forrasztást, illetve semmilyen egyéb speciális csatlakozást, csak egy darab vezetékot kell kicserélni egy darab ellenállásra. A kísérlet során 1 db 1,2kOhm-os ellenállás került beépítésre. A mérési eredmények hasonlóságot mutatnak a 3.ábrához, amikor semmilyen zavarcsillapítási eljárás nincs alkalmazva. Ennek oka, hogy a természetes antenna nem szűnt meg, hanem ketté vágásra került és kis túlzással két spontán bot antenna jött létre. Ez azt jelenti, hogy ez a módszer nem alkalmas a ferrit kiváltására.



6. ábra. Kísérleti eredmények 1 db ellenállás alkalmazásával

A másik lehetőség az, hogy hasonlóan ferrit elhelyezkedéséhez, az ellenállás minél közelebb kerül a vezérlő elektronikához. Az előző kísérlet megmutatta, hogy az egyik oldal csillapítása önmagában nem elegendő, ugyanis a másik ágon a visszaverődő zavarok továbbra is bocsájtanának ki zavarokat, így mindkét oldal csillapítására szükség van.

A teszt elvégzése előtt, minél közelebb az elektronikához, egy-egy 1,2kOhm-os ellenállás került beszerelésre a vezeték mindkét oldalán. A mérési eredmények ebben az esetben már nagyon ígéretes eredményeket mutatnak. Amellett, hogy a kerti gép megfelelően működött a teszt teljes ideje alatt, a zavarkibocsátásának mértéke összehasonlítható a 6.ábrán látható eredményekkel.



7. ábra Kísérleti eredmények 2 db ellenállás alkalmazásával

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatásra került egy olyan, a hétköznapi életben előforduló sugárzott elektromágneses zavar csökkentési probléma, amelyre a bevett eljárások, ugyan egyszerű és hatékony, de költséges megoldást kínálnak. Látható, hogy a termék komponenseit összekötő vezetékek, mint spontán antennák, képesek zavarkibocsátásra, így az azokon megjelenő zajokat csökkenteni kell. Erre a zavarás típusától és a vezetéken futó feszültség, illetve áramerősség szintektől függően többféle megoldás létezik, mint például ferritek, interferencia szűrők vagy esetleg különleges elnyelők alkalmazása. A cikk bemutatott egy olyan eljárást, amely során a vezetékre ohmos ellenállást helyezve a zavarkibocsátás hatékonyan csökkenthető a termék működésének akadályozása nélkül. Fontos megjegyezni, hogy ez csak nagyon speciális esetekben elérhető, mivel a vezeték ellenállásának növelése gyakran káros eredményhez vezethet, viszont a költsége nagyságrendekkel alacsonyabb, mint egy ferritgyűrű ára, ami tömeggyártásban elengedhetetlen szempont.

6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Magyar Szabványügyi Hivatal, MSZ IEC 1000-1-1 Elektromágneses összeférhetőség (EMC) 1. rész: Általános előírások, 1. főfejezet: Az alapfogalmak és meghatározások alkalmazása és értelmezése, 1995
- [2] Rejtő F., *EMC Alapok*, Magyar Elektronikai Egyesület, Budapest, 2006
- [3] D. Fleisch, *Útmutató a Maxwell egyenletekhez*, Typotex Kiadó, Budapest, 2019
- [4] W. F. Gallagher, M. C. Doyle, E. E. Hatfield, D. C. Tomayko, D. L. Krout, T. Malloy, *Angle grinder*, United States Patent, Patent No.: US 8,087,977 B2, 2012
- [5] Magyar Szabványügyi Hivatal, *Elektromágneses összeférhetőség. Háztartási készülékek, villamos szerszámok és hasonló eszközök követelményei. 1. rész: Zavarkibocsátás*, 2020