

Végvári Zsolt*

A szuperkondenzátorok és katonai alkalmazhatóságuk

A HAGYOMÁNYOS KONDENZÁTOROK ÉS JELLEMZŐIK ÖSSZEFOGLALÁSA

A hagyományos kondenzátorok már régről ismert elektrotechnikai alkatrészek. Az első ilyen szerkezet tulajdonképpen a közismert leideni-palack volt. Ezt 1745-ben egymástól függetlenül a német Ewald Georg von Kleist és a leideni egyetemen dolgozó holland fizikus, Pieter van Musschenbroek is megépítette [1]. Ez volt az első olyan eszköz, amely segítségével tárolni tudták a statikus úton előállított elektromosságot. Így ez a palack tekinthető minden villamos energiatároló őseinek. A modern kondenzátorok őse a papírkondenzátor¹, már az 1800-as évek végén megjelent. Az elektrotechnika, majd később az elektronika és mikroelektronika forradalmával a XX. századra a kondenzátorok már a mindennapok részévé váltak. Bár ennek nem nagyon vagyunk tudatában, de egy átlagos háztartásban százszámra megtalálhatóak ezek az eszközök akár diszkrét áramköri elemként, akár az áramköri lapokra integrálva.

A kondenzátorok felépítése igen egyszerű, két elektromos vezetőből, úgynevezett fegyverzetből és a köztük lévő dielektrikumából, azaz szigetelő-rétegből állnak [2, 141. o.]. Amennyiben a fegyverzetre egyenfeszültséget kapcsolunk², azok feltöltődnek, a fegyverzeteken összegyűlő elektromos töltések nagysága pedig arányos a feszültséggel. Az ezt leíró (egyenfeszültségű) egyenlet: $Q = CU$ [2, 140. o.], amelyből látható, hogy a kapacitás³ a legfőbb jellemzője minden ilyen eszköznek, egyfajta arányossági tényező a feszültség és a töltésmennyiség között. A kapacitás annál nagyobb, minél nagyobb töltésmennyiséget képes felvenni, minél kisebb feszültség mellett. Ha ezt a geometriai kialakítás szempontjából vizsgáljuk, akkor a kapacitásérték annál nagyobb, minél nagyobb a fegyverzetek felülete, illetve minél közelebb helyezkednek el egymáshoz úgy, hogy még nem jön létre átütés, azaz minél jobb a szigetelőréteg dielektromos állandója (azaz szigetelő-képessége). A kapacitás nagysága levezethető a $Q = CU$ egyenletből:

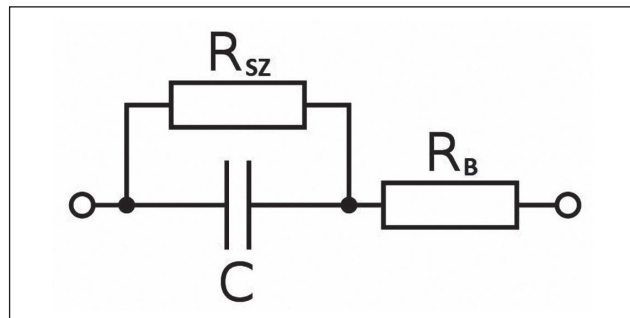
$$C = \frac{Q}{U}.$$

A gyakorlati elektronikában alkalmazott hagyományos, ún. „száraz” kondenzátorok kapacitása csupán pF és nF (10^{-12} és 10^{-9} farad) nagyságrendű. Bár már 1928-ban szabadalmaztatták [3], igazából csak az 1970-es években

terjedtek el az elektrolit kondenzátorok, ahol az egyik fegyverzet egy vezetőképes folyadék, azaz elektrolit. Az elektrolit miatt ezek az eszközök már polarizáltak, vagyis csak egyenfeszültségű áramkörökben alkalmazhatók, ugyanakkor a kapacitásuk nagyságrendileg meghaladja a szárazkondenzátorokét, és már a μF (10^{-6} farad) tartományba esik.

A kondenzátorok mindenkori energiája: $W = \frac{1}{2}CU^2$ [2, 143. o.], azaz nagy energiához nagy feszültség és kapacitás tartozik. Ebből sejthető, hogy az elektronikai célokra gyártott legnagyobb méretű és kapacitású eszközök által tárolt energia is csak néhány Joule, azaz kimondottan energetikai célokra (nagy mennyiségű munka végzéséhez szükséges energia biztosítására) nem alkalmasak.

A valós kondenzátorok teljes modellje természetesen komplexebb, de jelen cikk keretei között csak az egyenáramú energiaviszonyokat vizsgáljuk, egy viszonylag egyszerű modell segítségével:



1. ábra. A kondenzátor egyszerűsített egyenáramú energetikai modellje

A modellben az R_{SZ} a kondenzátor dielektrikumának tökéletlenségét szimbolizálja. Amennyiben egy feltöltött kondenzátort magára hagyunk, akkor a dielektrikumon elkezdnek átvivárogni a töltött részecskék. Az így létrejövő I_{SZ} szivárgási áram pedig lassan kisüti, lemeríti azt. Az R_B pedig azt az energiavesztést szimbolizálja, ami a kondenzátor szándékolt kisütésekor, illetve feltöltésekor jelentkező hőmérséklet-növekedés formájában tapasztalható.

ÖSSZEFOGLALÁS: A villamos energetikai berendezéseknek számos olyan fajtája van, amelyeket csak a szakmai körök ismernek. Ezek egyike a szuperkondenzátor, amely a képességeit tekintve igen érdekes eszköz. Több paraméterét tekintve is egyedinek tekinthető, így néhány különleges berendezésben elkerülhetetlen az alkalmazása. A villamosság térnyerésével a katonai eszközök között is több olyan lesz, ahol jelenleg nincs alternatívája a felhasználásának. Érdemes tehát egy kicsit jobban megismerni.

KULCSSZAVAK: szuperkondenzátor, akkumulátor, villamosenergia-tárolás

ABSTRACT: There are several types of electrical energy equipment that are hardly known in non-professional circles. One of them is a supercapacitor, it is a very interesting tool thanks to its capabilities. By its parameters it can be considered to be unique, so it is indispensable to use some very special equipment. With the rise of electricity, there will be more and more military equipment, where there is currently no alternative to its use. It is therefore worth knowing a little better more about that.

KEY WORDS: supercapacitor, battery, electrical energy storage

* Mk. alezredes, MH Modernizációs Intézet, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, vegvari.zsolt@hm.gov.hu.
ORCID: 0000-0003-2543-6049

A SZUPERKONDENZÁTOROK⁴ TÖRTÉNETE ÉS FIZIKÁJA

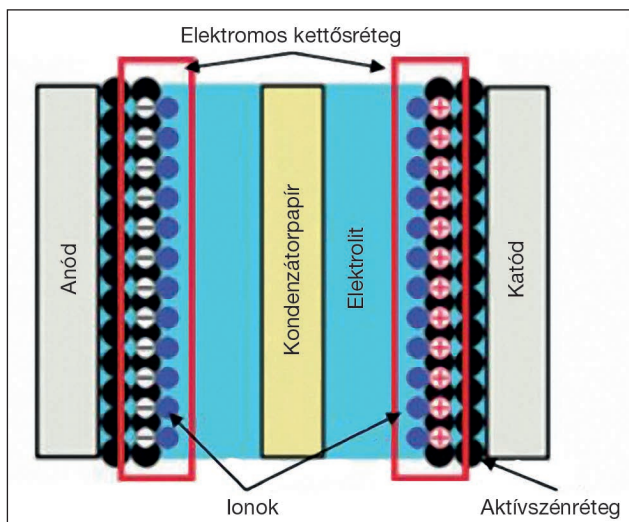
Először 1950-es években a General Electric kísérletezett porózus szénelektrodákkal, a hagyományos kondenzátorok, akkumulátorok és üzemanyagcellák fejlesztése érdekében, ugyanis a szénelektrodák tördelt felszíne rendkívül nagy felületet képezett, ami igen előnyös volt ezekben az eszközökben. Egy bizonyos kettős rétegű konstellációban rendkívüli módon megnövekedett kapacitást észleltek. 1957-ben még szabadalom is született belőle, de igazi jelentőségét nem ismerték fel, és nem is kísérleteztek tovább [4]. 1966-ban a Standard Oil of Ohio munkatársai folytatták a munkát, és bár ők is üzemanyagcellákat kívántak fejleszteni, már észrevették a technológiában rejlő energiatároló potenciált [4]. Végül az első laboratóriumi eszközök az 1970-es években jelentek meg, de a gyártástechnológia csak az ezredfordulóra érte el azt a szintet, hogy kereskedelmi mennyiségben is elérhetővé váltak.



2. ábra. Egy kereskedelemben kapható szuperkondenzátor (lerablog.org)

A ma kereskedelmi forgalomban beszerezhető szuperkondenzátorok mintegy 80-90%-a ún. kettős rétegű villamos kondenzátor, azaz EDLC⁵. Az elektrodákra felvitt aktív szénréteg és az elektrolit viszonylag kompakt méretek

3. ábra. Az EDLC felépítése (Forrás: RS Components Magyarország)



mellett nyújt a hagyományos kondenzátoroknál jóval nagyobb teljesítményt [5, 14. o.]. Fontos megjegyezni, hogy bár az EDLC-ben ez vegyi anyagok segítségével valósul meg, de a töltések tárolása fizikai. Vagyis a fegyverzeteken ténylegesen töltések helyezkednek el, és az akkumulátorokkal ellentétben, itt nincsenek vegyi átalakulások. Ezt azért kell kiemelni, mert a szuperkondenzátorok egy ritkább megvalósítási módjánál a beszédes nevű ún. pszeudo-kondenzátoroknál (pseudocapacitor) ez már nem ennyire egyértelmű. Ebben az esetben már a szénréteg felszínén létrejövő redoxidációs folyamatok is segítik a töltések megkötését [5, 15. o.].

Egyes szakértők úgy látják, hogy a közeljövő fejlesztésével lehetséges a szuperkondenzátorok kedvező tulajdonságainak megtartása mellett az akkumulátorokra jellemző alacsony önkisülés, illetve nagy energiasűrűség elérése is [6]. A továbbiakban csak a már jelenleg is elérhető szuperkondenzátorok által nyújtott lehetőségeket vizsgáljuk.

A SZUPERKONDENZÁTOROK ÉS AZ AKKUMULÁTOROK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Annak érdekében, hogy a szuperkapacitásokat el tudjuk helyezni a villamos energiatárolási módok között, össze kell hasonlítanunk a ma leggyakoribb technológiával, az akkumulátorokkal. Ahogy azt korábban említettük, az akkumulátoroknál⁶ a feltöltés és a kisütés során vegyi reakciók zajlanak le. Ezek a folyamatok viszont sosem 100%-osak, azaz az elektrodák „kopnak”, az akkumulátor „öregszik”, és így minden töltés-kisütés ciklus során veszít a kapacitásából [7, 87. o.] Egy akkumulátort akkor tekintünk „előregedettnek”, ha a kapacitása a névleges érték 80%-a alá esett. Ez a számtalan akkumulátor-technológia esetében igen eltérő, de általánosságban nagyságrendileg 10^3 ciklus után következik be. Eközben a csak fizikai folyamatokkal operáló kondenzátorok öregedése minimális, élettartamuk legkevesebb 10^6 ciklus. A fizikai folyamatokkal ellentétben a vegyiek erősen függenek a környezeti hőmérséklettől is. Ismert tény, hogy az akkumulátorok paramétereire a hőmérséklet csökkenésével drasztikus módon romlanak, addig a kondenzátorok erre lényegesen kevésbé érzékenyek, egyes típusok hőmérséklet/kapacitás görbéje lényegében egy vízszintest közelítő egyenes.

Az említett, nem túl előnyös tulajdonságaik ellenére a villamosenergia-tároló eszközök piacát mégis az akkumulátorok uralják. Ennek két fő oka van. Az egyik, hogy az akkumulátorok energiasűrűsége, vagyis az egységnyi tömegben vagy térfogatban tárolható energia, jóval meghaladja a szuperkondenzátorokét. A másik ok az önkisülés. Ennek magyarázata az 1. ábrán látható modellről is leolvasható, amely az elektrokémiai tárolóeszközökre, így az akkumulátorokra is alkalmazható. A szivárgási áram (I_{sz}) nagysága, mind az akkumulátorok, mind a szuperkondenzátorok esetében egy feszültség- és hőmérsékletfüggő görbe mentén alakul, de míg az akkumulátorok esetében hónapok kérdése, hogy a töltöttség 80% alá essen, addig ez a szuperkondenzátorok esetében csupán órákban mérhető [8, 67. o.].

Amiben a szuperkondenzátorok nagyon jól teljesítenek, az a teljesítménysűrűség, vagyis, hogy egy adott pillanatban mekkora teljesítményt képesek leadni. Ennek megértéséhez ismét az 1. ábrán bemutatott modellt hívjuk segítségül. Töltéskor és kisütéskor egy úgynevezett belső ellenállása van az eszköznek (az ábrán R_B), bár talán kifejezőbb az angolszász ekvivalens soros ellenállás (ESR⁷) megnevezés. Ezt az ellenállást kell a töltő- vagy kisütőáramnak le-



1. táblázat. Hődisszipáció különböző kisütő áramok esetében akkumulátornál és EDLC-nél*

	R_B	Kisütő áram	0,1 A	1 A	10 A	100 A
Akkumulátor	100 mΩ	hődisszipáció	1 mW	100 mW	10 W	1 kW
EDLC	1 mΩ		10 μW	1 mW	100 mW	10 W

*A cikkben közölt táblázatokat a szerző szerkesztette

2. táblázat. A beső ellenállásra eső feszültség különböző kisütő áramok esetében akkumulátornál és EDLC-nél

	R_B	Kisütő áram	0,1 A	1 A	10 A	100 A
Akkumulátor	100 mΩ	belső ellenállásra eső feszültség	10 mV	100 mV	1 V	-
EDLC	1 mΩ		100 μV	1 mV	10 mV	100 mV

küzdenie. Ez az érték az akkumulátoroknál jellemzően 100 mΩ körüli érték, míg a szuperkondenzátoroknál 100 μΩ – 1 mΩ között alakul (most csak számoljunk a kedvezőtlenebb 1 mΩ-al). Tegyük fel, hogy az eszközeink (egy akkumulátor és egy szuperkondenzátor) feltöltöttsége azonos (legyen ez most 2 V) és 0,1 A-rel, majd 1, 10 és 100 A-rel sűjtjük ki őket.

Az Ohm-törvényt alkalmazva kiszámolhatjuk a belső ellenálláson eső feszültséget: $U = IR$, és az ellenálláson disszipáló hőteljesítmény: $P = IU$. Ha ez utóbbiba behelyettesítjük az $U = IR$ összefüggést, akkor ezt kapjuk: $P = I^2R$. Ha egy táblázatba beírjuk a létrejövő hőteljesítményt, akkor az alábbiakat látjuk:

Még érdekesebb, ha megnézzük, hogy az eszköz 2 V-os névleges feszültségéből mennyi esik a belső ellenállásra és mennyi a fogyasztóra.

Látható, hogy amennyiben nagyobb teljesítményt akarunk kivenni az adott eszközből, az akkumulátor drasztikusan melegedni kezd, és egyre kevesebb feszültség jut a fogyasztóra. Ebben az esetben a 2 V-os cellából 100 A már elméletileg sem nyerhető ki (bár ez a fajta alkalmazás egyébként sem életszerű), miközben a szuperkondenzátor tolerálható hőveszteség mellett még mindig 1,9 V-ot juttatna a fogyasztóra. A teljes igazsághoz azonban az is hozzátartozik, hogy az akkumulátor 1 A terhelés mellett gyakorlatilag majdnem a teljes kisülésig csaknem konstans tartja az 1,9 V-ot, addig a szuperkondenzátor feszültsége folyamatosan csökken.

Mi a helyzet, akkor, amikor az eszközeinket fel kívánjuk tölteni? Minél gyorsabban akarunk egy eszközt feltölteni, annál nagyobb töltőáramot használunk. Ám míg az akkumulátornál a nagy belső ellenállás miatt a névlegesnél jóval

nagyobb feszültséget kell rákapcsolni, addig a szuperkondenzátor gyakorlatilag a névleges feszültséggel tölthető. Az akkumulátor töltőáram- és feszültség-emelésének gátat szab, hogy a disszipáció nyomán létrejövő magas hőmérséklet károsítja az eszközt. Ennek következtében az akkumulátorok töltése elég időigényes folyamat.

A szuperkondenzátor töltettségét a disszipáció alig korlátozza, a csekély belső ellenállás miatt csaknem li-

neáris töltési görbével számolhatunk, és az alábbi képletel: $I = C \cdot \frac{dU}{dt}$ [8., 284. o]. Feltételezve, hogy a szuperkondenzátorunk 100 farados és 10 A-rel töltjük, a feszültsége másodperenként 100 mV-ot emelkedik, vagyis 20 másodperc alatt feltölthető. 100 A-es töltőáram mellett a töltési idő mindössze 2 másodperc.

A SZUPERKONDEZÁTOROK KATONAI ALKALMAZÁSA

A korábban leírtakból következik, hogy az akkumulátorokat ott érdemes alkalmazni, ahol tartósan nincs lehetőség a töltésre, és mindemellett fontos, hogy kisebb tömeg és térfogat mellett tudjuk tárolni az energiát. Katonai alkalmazásokat tekintve ilyen a rádiókészülék, a lámpa, illetve általában a legtöbb ma használt villamos működtetésű eszköz.

A szuperkondenzátorokat olyan eszközökben célszerű alkalmazni, ahol a töltés többé-kevésbé folyamatosan biztosítható, de időnként viszonylag nagyobb mennyiségű energiát szeretnénk nagyon rövid idő alatt, impulzusszerűen kinyerni. Mára a legkorszerűbb (olykor kísérleti) rendszereknél már léteznek ilyen alkalmazási területek, így bár ritkán esik erről szó, de a szuperkondenzátorokat már a haditechnikában is alkalmazzák. Lássuk, melyek ezek a rendszerek!

LÉZERFEGYVEREK

A lézerfegyverek már nem tartoznak a tudományos fantasztikum világába. Az Egyesült Államok, Oroszország és vélhetően Kína is rendelkezik olyan rendszerekkel, ahol el-

3. táblázat. A legáltalánosabb akkumulátor- és EDLC technológiák összehasonlítása

Eszköz		Térfogatarányos energiasűrűség	Tömegarányos energiasűrűség	Teljesítménysűrűség	Hőmérséklet-függőség	Élettartam	Önkisülés
Akkumulátor	Ólomsavas	100–150 kJ/l	90–100 kJ/kg	150–200 W/kg	nagy	500 ciklus	havonta 4–6%
	NiCd, NiMH	500–1000 kJ/l	30–500 kJ/kg	200–1000 W/kg	rendkívül nagy	1–2000 ciklus	havonta 20–30%
	Li-ion	2000–2500 kJ/l	800–1000 kJ/kg	300–350 W/kg	rendkívül nagy	500–1500 ciklus	havonta 2–3%
	LiFePO ₄	6–700 kJ/l	3–400 kJ/kg	150–200 W/kg	nagy	2–4000 ciklus	havonta 3–4%
EDLC	porózus grafén	5–700 kJ/l	30–40 kJ/kg	10–15 kW/kg	minimális	10 ⁵ –10 ⁶ ciklus ⁸	óránként 5–25%
	grafitoxid ⁹	800–1000 kJ/l	40–50 kJ/kg	15–20 kW/kg			



4. ábra. A San Antonio osztályba tartozó USS PORTLAND-ot már biztosan felszerelik a képen látható vízfelszíni rakéták ellen kifejlesztett lézerrel [10]

lenséges repülőgépeket, ballisztikus rakétákat, illetve hajó elleni rakétákat lézertárcsával semmisítenek meg [9, 45–49. o.]. Az a jelenség könnyen érthető, hogy a szükséges energiát a repülőgép turbinájával vagy a hajó motorjával megforgatott generátor képes előállítani, de hogyan kerül az energia a fegyverbe? Egy nagy távolságban gyorsan mozgó céltárgy esetében (ilyen a repülőgép is, valamint a rakéta) nincs lehetőség a célon tartani a lézernyalábot, egyetlen néhány milliszekundumos besugárzásban kell azt az energiát rávinni, ami képes megsemmisíteni. Egy ilyen ún. „átégető” típusú lézer, ami nemcsak a céltárgy navigációját zavarja, hanem ténylegesen megsemmisíti azt, kb. 10–100 kW impulzus-teljesítményt feltételez. Ekkora villamos energia néhány másodperces összegyűjtésére és néhány milliszekundumos leadására jelenleg csak a szuperkondenzátorok képesek.

ELEKTROMÁGNESESEN GYORSÍTOTT LÖVEDÉKEK, AZAZ A RAILGUN

A lézerhez hasonló a helyzet a railgun-nal. A fegyver érdekessége, hogy amíg a lézer csak repülőeszközök ellen hatékony (a repülőgépek többsége és a rakéták nincsenek páncélozva és egy nagy sebességgel mozgó tárgyat viszonylag kis sérülés is „röpképtelenné” tehet), addig a railgun bunkerek és harckocsik ellen is hatékony. A többszörös hangsebességgel becsapódó 12,7 kg-os lövedék mozgási energiája több kg TNT-nek felel meg [11].

5. ábra. A railgun egyik első kísérleti lövése (Bae Systems)



A railgun rendszeresítését az utolsó pillanatban – vélhetően anyagi megfontolások után – elhalasztották, de a fegyver már jelen állapotában is bevethető és összemérhető a hasonló rendeltetésű hagyományos hajóágyúkkal. „Az eddig publikált eredmények szerint a kész railgun elméletben percnként 10 HVP típusú lövedéket képes indítani, mintegy 7,5-szeres hangsebességgel (7,5 Mach). Ez közel 40 MJ-nyi torkolati energiát jelent, amihez a veszteségeket nem is számolva, legalább egy 200 MW-nyi villamos teljesítmény leadására képes kondenzátor szükséges. A tervezett tűzgyorsaságot figyelembe véve egy feltöltésre kb. 5-6 másodperc jut, az ehhez szükséges 40-50 MW villamos energiaigény mindenképpen jelentős terhet ró a hordozó platform villamos rendszerére. Összehasonlításképpen megemlíthetjük, hogy ha egy átlagos háztartás összes villamos gépét egyszerre kapcsoljuk be, az 3-6 kW terhelést ró a hálózatra, tehát nem túlzás azt állítani, hogy a railgun energiaigénye vetekszik egy kisebb városéval” [12].

REPÜLŐGÉP-HORDOZÓ HAJÓK KATAPULTJA

Azon kevés ország szakértői, amelyek rendszerben tartanak repülőgép-hordozókat, már régóta várják az elektromágneses katapultot, ugyanis a jelenleg alkalmazott gőzkatapultoknak számos gyenge pontja van. A gőzkatapult rendkívül nagy méretű, nehéz és bonyolult szerkezet. Mivel a tengervíz rendkívül agresszív korrodáló anyag, a szükséges gőzt sótalanított vízből fejlesztik, a sótalanítás pedig igencsak energiaigényes. A rendszer a turbinákból nyeri a gőzt, ezért nem kell külön kazánt fűteni, de a készenlét miatt a rendszert állandóan nyomáson kell tartani, illetve két start között is elég hosszú idő telik el a megfelelő gőznyomás újbóli eléréséhez. Az eltérő tömegű repülőgépekhez szükséges energia csak durván szabályozható, és az óriási rántás nagy igénybevételt jelent a gépek szerkezetére számára. Mindezen túl a nagynyomású forró gőz fokozottan balesetveszélyes és a rendszernek nagy a karbantartás-igénye is [13].

Az Egyesült Államok legújabb superhordozója, a most próbaútját teljesítő USS GERARD FORD-on (CVN-78) a gőzkatapult helyett már elektromágneses indító egységek vagy rendszerek (EMALU vagy EMALS¹⁰) teljesítenek szolgálatot. Bár még tökéletesítésre szorulnak, elvben a gőzkatapult minden fent említett hibájától mentesek. Történetesen itt az indításhoz szükséges energiát még kinetikusán, óriási forgó rotorokban tárolják, de nyilvánvaló, hogy a jövő fejlesztése a hely- és karbantartás-igényes mechanikus elemek kiváltása [14, 331. o.].

6. ábra. A USS GERARD FORD hordozó az EMALS-szel (General Atomics)



GÉPJÁRMŰ HAJTÁSLÁNC

Egyre többen foglalkoznak hibrid, illetve tisztán elektromos hajtásláncú gépjárművekkel. A jelenlegi technológiai szinten az ezekben a járművekben szükséges energia tárolására még csupán az akkumulátorok alkalmasak, de a szuperkondenzátorok képesek javítani a rendszer számos paraméterén. Ahogy azt korábban tárgyaltuk, az akkumulátorok vesztesége nagyobb terhelésnél jelentősen megnő, így elvben egy pufferként működő szuperkondenzátor jótékony hatással lehet a rendszer hatásfokára [15].

Mivel az akkumulátoroknak nagy hidegben nem csak az energiasűrűsége, hanem a teljesítménysűrűsége is romlik, egy puffer szuperkondenzátor segíthet a hagyományos dízelmotorok hidegindításakor szükséges nagy indítóáram biztosításában is. A kimondottan ilyen céllal gyártott ún. hibrid akkumulátorok már jelenleg is elérhetőek [16].

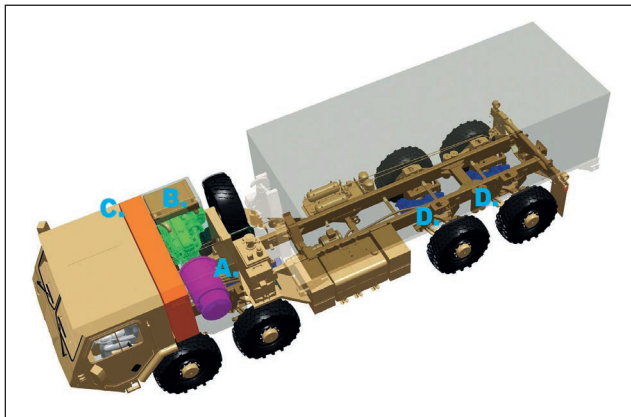


7. ábra. A jól bevált Oshkosh HEMTT már villamos hajtással is elérhető (TruckTrend)

A katonai járműveiről jól ismert amerikai Oshkosh még ennél is tovább lépett. A cég 2011-től felvette a kínálatába a már 35 éve gyártott HEMTT¹¹ nehéz teherjármű legújabb – elektromos hajtású változatát is. Az A3 verzióban egy 470 LE-s Cummins dízelmotor található, amely nem a kerekeket, hanem egy 340 kW-os generátort hajt. Ez folyamatosan tölt egy 1,9 MJ névleges kapacitású szuperkondenzátor-csoportot és egy inverteren keresztül erről hajtják a tengelyenként elhelyezett 4 db 480 V-os váltóáramú motort [17]. A ProPulse-nak nevezett megoldás a cég állítása szerint 20%-kal kevesebb üzemanyagot fogyaszt, mint a hasonló teljesítményű egyszerű dízel változat, ám a rendszernek mégsem ez a legfontosabb újdonsága. A szuperkon-

8. ábra. A HEMTT ProPulse felépítése.

A – generátor, B – dízelmotor, C – szuperkondenzátorok, D – AC motorok (TruckTrend)



denzátoron keresztül a ProPulse alkalmas közepes fogyasztású katonai objektumok, kommunikációs állomások, tábori kórházak stb. tartós kiszolgálására, de a szuperkondenzátor akár 120 kW villamos teljesítmény-impulzus leadására is képes, így ideális platformja lehet lokátoroknak, szárazföldi telepítésű lézer, vagy railgun fegyver-rendszereknek is.

KÖVETKEZTETÉS

Napjainkra már nem minden esetben a haditechnikai kutatás-fejlesztés képezi az innováció élvonalát. Gondoljunk csak az okoseszközökre, IoT-re (Internet of Things) vagy épp az elektromobilitásra. A villamos energia iránti növekvő igény és a mobilitás utáni vágy a társadalom részéről sokkal erőteljesebb, mint a hadseregek igénye. Ennek eredményeként jelenleg a világ egyik legintenzívebben kutatott területe a villamos energia tárolása. Mindenki olyan tárolót szeretne, amelynek óriási a kapacitása, nagyon nagy teljesítmény leadására képes és jól bírja a hideget is. Most még nem látszik, hogy vajon egyszer majd lesznek-e olyan akkumulátorok, amelyek képesek a szuperkondenzátorokéhoz hasonló áramerősség leadására, vagy lesznek-e olyan szuperkondenzátorok, amelyek a mostaninál sokkal nagyobb kapacitásúak és hónapokig megőrzik a töltésüket. Esetleg elterjednek a hibrid akkumulátorok. Annyi bizonyos, hogy a szuperkondenzátorok már itt vannak, és egyes speciális katonai igények kielégítésére más technológia jelenleg nem is alkalmas. Mindemellett az is valószínűsíthető, hogy a jövőben csak nőni fog az alkalmazásuk gyakorisága a hadseregek eszközeiben.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Young, Grace. Leyden jar”, *Encyclopedia Britannica (online)*, 16-máj-2013, <https://www.britannica.com/technology/Leyden-jar>. (Letöltés 2018. jan. 19);
- [2] Gergely István. *Elektrotechnika*. Budapest: General Press, 2006.;
- [3] Dubilier, William. „Electric Condenser”, US Patent no. 468787.;
- [4] Katsuhiko, Naoi és Simon, Patrice. „New Materials and New Configurations for Advanced Electrochemical Capacitors”, *Electrochem. Soc. Interface*, 17, évf. 2008/1, 34–37, o.;
- [5] Zhong, Cheng. *Electrolytes for electrochemical supercapacitors*. Boca Raton: CRC Press, 2016. <https://doi.org/10.1201/b21497>;
- [6] Guerra, Maria. „Can Supercapacitors Surpass Batteries for Energy Storage?” *Electronic Design*, <http://www.electronicdesign.com/power/can-supercapacitors-surpass-batteries-energy-storage> (Letöltés: 2018.01.22);
- [7] Végvári Zsolt. „Akkumulátorok a gyalogos lövészkatónák felszerelésében, a fejlesztés lehetséges irányai”, *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. évf. 2016/2, 85–101. o.;
- [8] Yu, Aiping, Chabot, Victor és Zhang, Jiujun. *Electrochemical supercapacitors for energy storage and delivery: fundamentals and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013. <https://doi.org/10.1201/b14671>;
- [9] Ványa László. *Irányított energiájú fegyverek*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013;
- [10] Insinna, Valerie. US Navy’s next amphibious warship to get laser weapon”, *Defense News (online)*,

- 11-2018, <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/surface-navy-association/2018/01/10/navys-next-amphibious-warship-to-get-laser-weapon/>. (Letöltés: 2018.01.20);
- [11] Végvári Zsolt. „Elektromágnesesen gyorsított lövedékek a tüzérség eszköztárában, A Bae Systems EM railgun-ja 1. rész”, *Haditechnika*, 51. évf. 2017/1, 28–31. o. DOI: 10.23713/HT.51.1.06;
- [12] Végvári Zsolt. „Elektromágnesesen gyorsított lövedékek a tüzérség eszköztárában, A Bae Systems EM railgun-ja 2. rész”, *Haditechnika*, 51. évf. 2017/2, 18–22. o. <https://doi.org/10.23713/HT.51.2.04>;
- [13] Allamadani, Ramh és Chen, Feng. „Electromagnetic Aircraft Launching Unit (EMALU)”, előadás, ASEE 2014 Zone, Bridgeport, 2014;
- [14] Yu, Aiping, Chabot, Victor és Zhang, Jiujun. *Electrochemical supercapacitors for energy storage and delivery: fundamentals and applications*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2013. <https://doi.org/10.1201/b14671>;
- [15] Mihalczuk, Marek, Grzesiak, Lech M., és Ufnalski, Bartłomiej. „A lithium battery and ultracapacitor hybrid energy source for an urban electric vehicle”, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88. évf. 2012/4, 158–162. o. http://ufnalski.edu.pl/zne/papers/29_PE_04b_12_158-162_michalczuk.pdf Letöltve: 2018.09.26.;
- [16] „Maxwell Technologies Engine Starting Module”, *Maxwell Technologies*. (online). <http://www.maxwell.com/esm/default.aspx>. [Letöltés: 2018.01.22.];
- [17] Thompson, Jason. „The Diesel-Electric Hybrid HEMTT A3 Lean by OSHKOSH - Diesel Power Magazine”, *Truck Trend*, (online), 01-júl-2011, <http://www.trucktrend.com/cool-trucks/1107dp-diesel-electric-hybrid-hemtt-oskosh-a3/>, Letöltve: 2017.11.28.

JEGYZETEK

- 1 A két fegyverzetet és az azokat elválasztó papír dielektrikumot a kisebb méret miatt felcsévélték.
- 2 A jelenség váltakozó feszültséggel is működik, de ebben az esetben egy differenciálegyenlet írja azt le, amelyet e cikk keretében nem tárgyalunk. A továbbiakban kizárólag az energiatárolás szempontjából releváns egyenfeszültségű alkalmazásokkal foglalkozunk.
- 3 A kapacitás angol neve a „capacity”, amelyről az eszköz angol neve, a „capacitor” is származik.
- 4 Az angol irodalomban a szuperkondenzátornak megfelelő „supercapacitor” kifejezésen kívül még használatos az „ultracapacitor”, illetve „supercap” és „goldcap” is.
- 5 Electric Double Layer Capacitor.
- 6 Elektrokémiai tárolóeszköz a szárazelem is, de mivel itt mindössze egy ciklusról beszélhetünk, ez a technológia nem tekinthető a szuperkondenzátorok közvetlen riválisának.
- 7 Equivalent Serial Resistance.
- 8 Mivel az egymillió már egy ciklus, így nehezen értelmezhető, illetve a ciklusok gyorsasága miatt a használatuk lényegében folyamatos, a szuperkondenzátorok élettartamát a gyakorlatban inkább órában szokták megadni, ami legkevesebb 10 000 óra körüli.
- 9 A megnevezésnél egyszerűsített, a technológia teljes angol neve: activated microwave exfoliated graphite oxide (a-MEGO)/1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide.
- 10 Electromagnetic Launch Unit/System.
- 11 Heavy Expanded Mobility Tactical Truck – Kiterjesztett mobilitású nehéz taktikai tehergépjármű.

(Illusztrációk a szerző gyűjteményéből.)

HM ZRÍNYI TÉRKÉPESZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

Telephely: 1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • ✉ 1276 Budapest 22, Pf. 85 • ☎ +36 (1) 336-2030 • www.topomap.hu • hm.terkepzeset@topomap.hu



- Topográfiai térképek
- Faksimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Egyéb digitális termékek
- Légifilmári szolgáltatások

- PrePress – Nyomdai előkészítés
 - szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
 - ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítás
 - bel- és kültéri tablók, bannerek nyomtatása
 - hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
 - nyomóformák előállítása nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával
- Gyorsokszorosítás
 - színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 350 x 487 mm méretig
- Press – Nyomtatás
 - ofszetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig
- PostPress – Kötészetű feldolgozás
 - felületnemesítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
 - hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
 - összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
 - kasírozás, táblakészítés, aranyozás
 - szortiment könyvkötészet
- Vákuumformázás
 - vákuumformázó szerszámok, terepasztalok előállítása CNC-technológiával
 - vákuumformázás

ÜGYFÉLSZOLGÁLAT ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

☎ +36 (1) 212-4540 • ugyfelszolgalat@topomap.hu

Nyitva tartás: hétfő–péntek 9.00–15.00

NYOMDAI GYÁRTÁSELŐKÉSZÍTÉS: ☎ +36 (1) 336-2035