

Elektromagnetické zbraně, hrozba pro industriální společnost

Libor DRAŽAN

Katedra radiolokace, Univerzita obrany

Kounicova 65, 662 10 Brno

libor.drazan@unob.cz

Abstrakt: - Příspěvek se zabývá problematikou zbraní se směřovanou energií. V příspěvku je provedena klasifikace zbraní se směřovanou energií. Podrobněji je rozebrána problematika zbraní se směřovanou energií pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln. Dále je rozebrána podstata působení zbraní se směřovanou energií na elektronická zařízení a jsou popsány technologie využívané při konstrukci zbraní se směřovanou energií. V závěru jsou uvedeny možné scénáře použití zbraní se směřovanou energií proti industriálně vyspělé společnosti.

Klíčová slova: - Zbraně se směřovanou energií, High Power Microwave, Ultra Wide Band, Magnetokumulativní generátor.

1 Úvod

Koncem minulého století byl pozorován obrovský nárůst využití a nasazení výpočetní techniky a elektroniky prakticky ve všech možných druzích odvětví lidské činnosti, ve sféře civilní, tak ve sféře vojenské. Se stále většími požadavky na rychlost přenosu informací při současném snižování spotřeby energie dochází k miniaturizaci systémů. Důsledkem je pak zvyšování citlivosti elektronických systémů na úmyslné i neúmyslné působení vnějšího elektromagnetického pole. Elektronické systémy tvoří nedílnou součást komplikovaných systémů, jejichž funkčnost je přímo podmíněna spolehlivostí použitých elektronických komponentů.

Do nedávné doby byl největší hrozbou pro tyto systémy přírodní elektrický výboj (blesk), zkoumaný Benjaminem Franklinem kolem roku 1752. Výboj atmosférické elektřiny (LEMP), doprovází světelný záblesk (emise světla) a zahříváním okolního vzduchu vzniká hrom (charakteristický zvuk). Běžně dochází k výboji, při dosažení hodnoty intenzity elektrického pole kolem 100kV/m.

Další hrozbou může být nukleární elektromagnetický impulz způsobený výbuchem nukleární nálože ve velké výšce nad povrchem země. Pro zajímavost lze uvést, že hodnota nukleárního elektromagnetického impulzu (NEMP) pozemního jaderného výbuchu běžné tonáže dosahuje intenzity elektrické složky pole řádově kolem 100kV/m a 1000A/m u magnetické složky.

Dnes jsou však již známy funkční technologie a systémy schopné vyřadit například řídicí či velitelské stanoviště směrovým působením elektromagnetické energie. Jde o takzvané zbraně se

směřovanou energií (Directed Energy Weapons - DEW). V současnosti se výzkumem v této oblasti zabývá většina vyspělých států, mezi které patří i Česká republika zejména v oblasti zkoumání ochrany proti jejich účinkům. Pozorovatelnými trendy ve vojenství je mimo jiné výrazná elektronizace a digitalizace zbraňových systémů a v nynější době i vývoj a zavádění neletálních elektromagnetických zbraní. Do této kategorie patří zbraně se směřovanou energií pracující v pásmu rádiových vln a mikrovln. Tyto zbraně, které jsou primárně určeny k narušování spolehlivé činnosti vysoce sofistikovaných, elektronikou vybavených zařízení, výzbroje a systémů, využívají k destrukčním účinkům převážně impulzní výkonové elektromagnetické vlny.

Tak jako u jiných zbraní a vojenských technologií lze očekávat i u těchto zbraní jejich zneužití při teroristických útocích. Z tohoto důvodu nabývá na významu zabezpečení ochrany důležitých vojenských, ale i pro chod státu nezbytných elektronických a digitalizovaných systémů před možným napadením pomocí prostředků využívajících k destrukci výkonovou elektromagnetickou energii v kmitočtovém pásmu od stovek MHz do desítek GHz. Zabezpečení ochrany se týká vojenských stacionárních i mobilních objektů a prostorů využívající techniku s citlivými elektronickými a digitalizovanými systémy. Za citlivé elektronické a digitalizované systémy je třeba považovat veškerou techniku citlivou na narušení jejich funkcí nebo trvalé zničení vlivem účinků silných elektromagnetických polí (komunikační a informační systémy, řídicí a palebné systémy, systémy navigace, průzkumné systémy apod.). V civilním sektoru se pak jedná zejména o

instituce důležité pro chod státu (průmyslová centra, jaderné elektrárny, chemické provozy, telekomunikační ústředny apod.).

2 Elektromagnetický impuls

Jev elektromagnetického impulsu a jeho značný vliv na činnost elektronických zařízení byl z tohoto hlediska poprvé pozorován při pokusech s jadernými výbuchy ve velkých výškách. Důsledkem vzdušného jaderného výbuchu bylo dočasné nebo trvalé narušení činnosti citlivých elektronických zařízení i ve značných vzdálenostech od epicentra výbuchu. V počátcích výzkumu jaderných zbraní byl elektromagnetický impuls generovaný jaderným výbuchem považován jako jeho vedlejší produkt, přesto však byly jeho účinky podrobně zkoumány a byly hledány způsoby jak dosáhnout stejných účinků bez jaderné exploze. Velká pozornost byla také věnována návrhům a konstrukci simulátorů elektromagnetického impulsu, které sloužily především k testování odolnosti zbraní a zbraňových systémů. Příkladem takového simulátoru může být zařízení TEMPS, které je schopné přivést do antény impulsy s napětím až 6,7 MV. Podrobněji je toto zařízení popsáno v literatuře [1], obdobné zařízení je popsáno v literatuře [2].

S rozvojem polovodičových technologií, zejména technologií MOS, dochází k masovému používání informačních, komunikačních a senzorových systémů, které se uplatňují ve vojenských i civilních systémech. Jedná se zejména o informační systémy státních řídicích struktur, prvky ekonomické infrastruktury, prvky přepravní a komunikační infrastruktury, informační a komunikační systémy využívané populací a v neposlední řadě i armádní zbraňové, informační a komunikační systémy.

Výše uvedené systémy jsou velmi citlivé na účinky elektromagnetického impulsu, což vedlo k vytvoření nové strategické doktríny elektromagnetických zbraní fungujících bez nutnosti použití jaderného výbuchu. Elektronické systémy jsou také značně citlivé nejen k elektromagnetickému impulsu, ale i k elektromagnetickému rušení, které je produkováno jinými elektrickými a elektronickými obvody.

3 Klasifikace elektromagnetických zbraní

Konvenční zbraně využívají ke zničení určeného cíle chemickou energii výbuchu nebo kinetickou energii projektilu. Naproti tomu elektromagnetické zbraně využívají k transformaci energie určené k

destrukci vybraného cíle subatomové částice nebo elektromagnetické vlny. Elektromagnetické zbraně jsou v anglosaské literatuře označovány jako zbraně se směrovanou energií (DEW – Directed Energy Weapons). Elektromagnetické zbraně lze rozdělit do čtyř základních skupin:

- Laserové zbraně (DEWL - Directed Energy Weapons Lasers),
- Částicové zbraně (PBW – Particle Beam Weapons),
- Zbraně pracující v pásmu rádiových vln (DEWRF - Directed Energy Weapons-Radio Frequency, pracovní kmitočty se mohou vyskytovat v pásmu – stovek kHz až 1 GHz),
- Zbraně pracující v pásmu mikrovln (DEWM - Directed Energy Weapons-Microwave, pracovní kmitočty se mohou vyskytovat v pásmu – 1GHz až 300 GHz).

Oblast elektromagnetických zbraní je velice rozsáhlá, a proto bude v dalším textu této práce věnována pozornost elektromagnetickým zbraním pracujícím v pásmu rádiových vln a mikrovln.

4 Klasifikace elektromagnetických zbraní pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln

Elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln a v pásmu mikrovln (DEWM a DEWRF) využívají ke své činnosti velmi intenzivního elektromagnetického pole, obvykle impulsního, schopného dočasně nebo trvale poškodit objekt nebo cíl, na nějž nebo v němž působí. Tento jev je nazýván elektromagnetickým impulsem (EMP). Pro generování výkonem postačujícího elektromagnetického pole se z hlediska šířky pásma generovaného signálu při návrhu a konstrukci DEWM a DEWRF používají dvě třídy generátorů:

- **úzkopásmové (HPM – High Power Microwave)** - podobné koncepce jako vysílače radiolokátorů vytvářející harmonický signál obvykle amplitudově impulsně modulovaný.
- **širokopásmové (UWB – Ultra Wide Band)** - vytvářející videoimpuls velkého výkonu. Generátory s dobou trvání impulsu větší než 1 ns lze považovat za DEWRF a generátory s dobou trvání impulsu menší než 1 ns za DEWM.

Jiným hlediskem klasifikace elektromagnetických zbraní pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln může být určení zbraně. Z tohoto hlediska lze tyto zbraně klasifikovat jako:

- zbraně pro ochranu objektů proti zbraňovým systémům, které jsou vybaveny elektronickým naváděcím, řídicím nebo iniciačním systémem,
- elektromagnetickou municí ve formě leteckých pum, raket, křídlatých raket, min a dělostřelecké munice.

5 Způsoby akumulace energie

Pro generování elektromagnetického impulsu je nutné mít k dispozici zdroj energie, který je schopen ve velmi krátkém čase předat dostatečné množství energie do zátěže. Při výzkumu elektromagnetických zbraní jsou využívány následující zdroje energie:

- točivé elektrické stroje,
- baterie akumulátorů napájející indukční cívky,
- kapacitorové banky,
- chemická energie výbušniny.

V elektromagnetických zbraních je energie pro generování elektromagnetického impulsu téměř výhradně získávána vybíjením kapacitorových bank nebo z chemické energie explodující výbušniny, která komprimuje magnetický tok vytvářený indukční cívkou. Tyto dva způsoby umožňují nejlépe ze všech generovat impulsy s dostatečnou energií v krátkém čase. Ostatní způsoby získávání energie byly používány převážně v počátcích výzkumu elektromagnetických zbraní v laboratorních podmínkách. Podrobněji jsou způsoby získávání energie popsány v literatuře [3], [4].

6 Režimy činnosti elektromagnetické zbraně

Elektromagnetické zbraně mohou být konstruovány pro:

- jednorázovou činnost,
- opakovanou činnost.

Režim činnosti elektromagnetické zbraně je úzce spojen s jejím určením. Z tohoto hlediska pracuje elektromagnetická munice jednorázově a zbraně pro ochranu objektů obvykle opakovaně. Opakovací kmitočet DEWM a DEWRF s opakovanou činností dosahuje hodnoty až 10000 imp/s a existuje tendence jej zvyšovat. Parametry některých typů

generátorů pro DEWRF a DEWM jsou popsány v literatuře [5], [6] a [7].

7 Výkonové prvky používané v DEWM a DEWRF

Elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln nebo mikrovln lze také klasifikovat podle použitých výkonových prvků. Úzkopásmové i širokopásmové zbraně používají obvykle rozdílné výkonové prvky.

a) Úzkopásmové DEWRF a DEWM – jako generátory rádiových vln a mikrovln využívají speciální výkonové elektronky. Tyto elektronky pracují s třemi základními typy interakcí elektronů a elektromagnetického pole. Při těchto interakcích dochází ke generování mikrovlnného záření Čerenkovova nebo Smith-Purcellova typu, tranzitního typu a brzděného typu.

- Záření Čerenkovova nebo Smith-Purcellova typu:

Tento typ vyzařování vzniká v případě, že je rychlost elektronů ve struktuře větší než fázová rychlost elektromagnetické vlny. Mezi generátory založené na tomto principu patří generátory s postupnou vlnou (permaktrony – TWT), se zpětnou vlnou (karcinotrony – BWO), orotrony, vícevlonné Čerenkovovy generátory (MWCG), dielektrické Čerenkovovy masery (DCM), relativistické difrakční generátory (RDG) a jiné.

- Tranzitní vyzařování:

Tranzitní vyzařování je podobné jako Čerenkovovo vyzařování, ale místo průchodu periodickými strukturami nebo v jejich blízkosti, interaguje svazek s polem vodivých mřížek, desek nebo mezer mezi vodivými plochami. Představiteli těchto generátorů jsou klystrony (jednosvazkové i vícesvazkové) a twystrony.

- Brzděné vyzařování:

Vzniká v případě, kdy má pohyb elektronů v externích elektromagnetických polích oscilační charakter. Kmitočet emitovaných vln, které obsahují Dopplerův posuv, koincidují s frekvencemi oscilací elektronů nebo s jejich harmonickými. Příkladem generátorů tohoto typu je maser s cyklotronovou rezonancí (CRM), ve kterém elektrony oscilují v magnetickém poli. Dalším generátorem je laser s volnými elektrony (FEL), kde elektrony oscilují v periodických externích polích. Do této třídy patří i generátory, ve kterých elektrony oscilují v konstantních statických elektrických polích. Příkladem jsou vircatory, orbitrony a jiné.

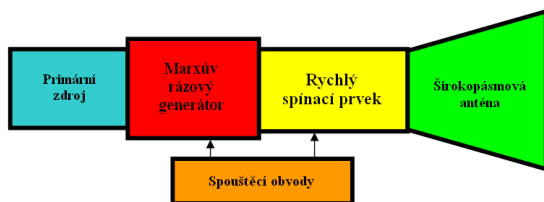
b) Širokopásmové DEWRF a DEWM – jako výkonové prvky jsou použity speciální rychlé spínače nebo vypínače, které umožní v krátkém čase převést energii ve formě videoimpulsu z akumulárního prvku do zátěže tvořené širokopásmovou anténou. V této kategorii zbraní se téměř výhradně používají tři následující druhy spínačů a vypínačů:

- Speciální jiskřiště s krátkou dobou sepnutí
- Laserem aktivované polovodičové spínače
- Polovodičové vypínače pro rozpojování obvodů s indukčnostmi

Podrobnější popis výkonových prvků použitelných v DEWRF a DEWM je proveden v literatuře [5], [6] a [7].

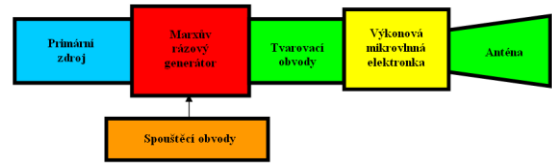
8 Funkční schéma DEWRF a DEWM

Na základě klasifikace elektromagnetických zbraní pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln provedené v předchozích podkapitolách lze sestavit celou řadu funkčních schémat, podle kterých tyto zbraně mohou pracovat. Pro praktické použití však lze uvažovat pouze se čtyřmi základními funkčními schématy, které jsou při konstrukci DEWM a DEWRF využívány. Na obr.1 je znázorněno funkční schéma širokopásmové DEWRF nebo DEWM a na obr.2 je znázorněno funkční schéma úzkopásmové DEWRF nebo DEWM. Uvedená zapojení jsou obvykle používána ve zbraňových systémech pro ochranu objektů.



Obr. 1: Funkční schéma širokopásmové DEWM nebo DEWRF.

Ve výše uvedeném schématu slouží primární zdroj k nabíjení paralelně zapojených kapacitorů, které jsou součástí Marxova rázového generátoru. Součástí rázového generátoru jsou také spínaná jiskřiště, která v okamžiku příchodu spouštěcího impulsu zapojí nabitě kapacitory do série, čímž vznikne impuls vysokého napětí. Toto napětí je připojeno prostřednictvím rychlého spínače k širokopásmové anténě, která slouží k vyzáření energie do prostoru.



Obr. 2: Funkční schéma úzkopásmové DEWM nebo DEWRF.

Obdobně jako ve schématu na obr. 1 slouží Marxův rázový generátor ke generování impulsu vysokého napětí. Vysokonapěťový impuls je veden do tvarovacích obvodů, tvořených obvykle tvarovacím vedením, které vygeneruje napětí potřebné pro fungování výkonové elektronky. Elektromagnetické vlny vygenerované výkonovou elektronkou jsou vyzářeny do prostoru anténou, nejčastěji trychtýřového typu. Jako elektronky mohou být použity všechny typy uvedené v kapitole 7.

Schématy na obr. 1 a 2 lze modifikovat pro použití ve formě elektromagnetické munice, kdy je Marxův rázový generátor nahrazen explozivním magnetokumulativním generátorem. Pod pojmem elektromagnetická munice jsou chápány elektromagnetické zbraně pracující v pásmu mikrovln (DEWM) umístěné v leteckých pumách, raketách, střelách s plochou dráhou letu, minách a v dělostřelecké munici. Vzhledem k tomu, že jsou na elektromagnetickou munici kladeny přísné požadavky na minimální rozměry a hmotnost, pracuje tato munice až na výjimky v pásmu mikrovln a jako zdroj energie je použita některá z verzí generátoru s kompresí magnetického toku (Flux Compression Generator – FCG), nazývaný také magnetokumulativní generátor (Magnetocumulative Generator – MCG). Magnetokumulativní generátor přeměňuje chemickou energii explodující výbušniny na energii elektrickou a vyznačuje se vysokou hodnotou měrné energie připadající na jednotku objemu. V důsledku použití výbušniny generuje elektromagnetická munice elektromagnetický impuls jednorázově, čemuž odpovídají i použité prvky. Elektromagnetická munice má obvykle menší výkon než zbraně stacionární a je dopravována k cíli, na který má působit, obdobně jako konvenční munice. Činnost MCG je podrobně popsána v [4].

9 Módy vazby elektromagnetické energie

Při hodnocení způsobu vazby mikrovlnného výkonu na cíle jsou v literatuře uváděny dva základní módy vazby.

- Vazba předními dveřmi

Typicky nastává v případě, kdy je výkon vázán do antény připojené k radiolokátoru nebo spojovacímu zařízení. Podsystem antény je navržen k převodu výkonu do a ze zařízení a zajišťuje tedy účinnou cestu pro tok výkonu z elektromagnetické zbraně ke vstupu do zařízení a způsobení poškození.

- Vazba zadními dveřmi

Nastává, když elektromagnetické pole ze zbraně produkuje velká přechodová napětí nebo elektrické stojaté vlny na pevné elektrické spoje a kabely propojující zařízení nebo zajišťující propojení na zdroje nebo telefonní síť. Zařízení připojené k vystaveným kabelům či spojům bude pod vlivem špiček přechodového vysokého napětí nebo stojatých vln, které mohou zničit napájecí zdroje a interface spojení, jestliže tyto komponenty nebudou z odolné.

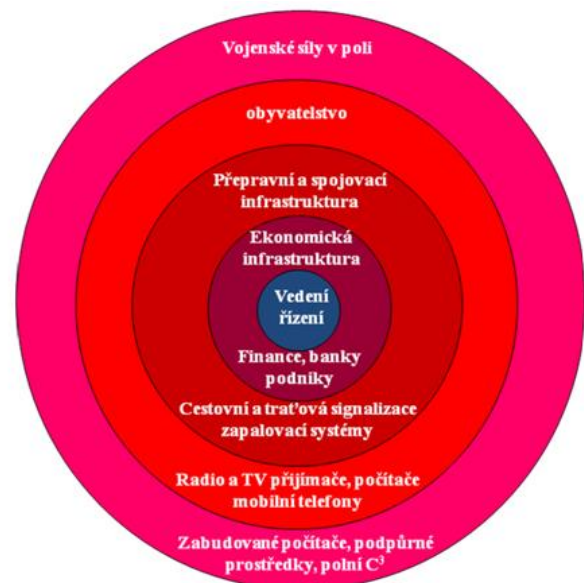
Zbraň pracující v pásmu rádiových vln se může dobře vázat na typickou infrastrukturu propojení, jako jsou telefonní linky, kabely sítí a uliční napájecí vedení i rozvody v budovách.

Elektromagnetické zbraně pracující v cm a mm pásmech nabízejí dodatečný mechanismus vazby „zadními dveřmi“. Tato kategorie zbraní má schopnost přímé vazby do zařízení přes ventilační otvory, díry mezi panely a špatně stínícími interface. Za těchto podmínek se chová jakýkoliv otvor v zařízení jako štěrbin v mikrovlnné dutině a dovoluje mikrovlnnému záření přímo vstupovat či vystupovat z dutiny. Mikrovlnné záření bude formovat prostorovou stojatou vlnu uvnitř zařízení. Prvky umístěné v místech maximální intenzity stojatého vlnění budou tedy vystaveny velkým elektromagnetickým polím. Mikrovlnné zbraně se mohou vázat na cíle lépe než zbraně pracující v pásmu rádiových vln a mohou v mnoha případech obejít ochranná opatření navržená pro zamezení výkonových elektromagnetických polí v pásmu rádiových vln.

10 Výběr cílů pro elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln a mikrovln

Aplikace elektromagnetických zbraní pracujících v pásmu rádiových vln a mikrovln

je velmi účinná proti industriálně vyspělým společnostem a státům. Pro dosažení vysoké účinnosti těchto zbraní je nezbytné volit cíle z kategorií znázorněných v kruhovém diagramu na obr. 3. Největší škody na infrastruktuře lze očekávat při aplikaci DEWM a DEWRF na cíle nacházející se blízko středu kruhového diagramu. Největší účinnost lze tedy očekávat při útoku na komunikační a informační systémy vládních institucí, bank a klíčových podniků.



Obr. 3: Model výběru cílů pro elektromagnetické zbraně pracující v pásmu rádiových vln a mikrovln

11 Závěr

Elektromagnetické zbraně jsou zbraně elektrického hromadného ničení s aplikacemi v širokém spektru cílů, jak strategických tak taktických. Jejich použití nabízí velký zisk při útoku na systémy zpracování informace a komunikační prostředky. Masová aplikace těchto zbraní způsobí podstatnou paralýzu komunikačních a informačních systémů, tzn., že zajistí rozhodující výhodu ve vedení elektronického boje. Elektromagnetické zbraně mohou způsobit zničení elektronických zařízení na větších plochách než konvenční výbušné zbraně stejné hmotnosti. Elektromagnetické zbraně patří do kategorie neletálních zbraní, tzn. zbraní bez smrtících účinků na živou sílu, což je staví do role méně politicky škodlivých zbraní na rozdíl od běžných konvenčních zbraní. Zásadním kvalitativním skokem v možnosti použití DEWRF a DEWM s opakovanou činností, je jejich umístění na bezpilotní letoun (UAV), což bylo demonstrováno ve úspěšném experimentu U.S. Air

Force Research Laboratory (AFRL) a firmy Boeing
rámcí projektu CHAMP v říjnu 2012.

Reference:

- [1] BOSTICK, W. H., NARDI, V., ZUCKER, O. S. F. *Energy Storage, Compression and Switching*. New York: Plenum Press, 1976.
- [2] GILMAN, CH., LAM, S.K., NAFF, J.T. Design and Performance of the FEMP-2000: a Fast Risetime, 2MV EMP Pulser. In *12th IEEE International Pulsed Power Conference*. Monterey, California: 1999..
- [3] KNOEPFEL, H. *Pulsed High Magnetic Fields*. Amsterdam: North-Holland Publishing, 1970.
- [4] ALGILBERS, L. L., GRISHNAEV, I., TKACH, Y. *Magnetocumulative Generators*. New York: Springer-Verlag, 2000.
- [5] GRANATSTEIN, V.L., ALEXEFF, I. *High Power Microwave Sources*. New York: Artech House, 1987.
- [6] PRATHER, W.D., BAUM, C.E., LEHR, J.M. Ultra-Wideband Source Research. In *12th IEEE International Pulsed Power Conference*. Monterey, California: 1999.
- [7] ZUTAVERN, F.J., LOUBRIEL, G.M., JALMARSON, H.P. Photoconductive Semiconductor Switch Technology for Short Pulse Electromagnetics and Lasers. In *12th IEEE International Pulsed Power Conference*. Monterey, California: 1999.