



**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Bolyai János Katonai Műszaki Kar
Repülő és Légvédelmi Intézet**



**Fedélzeti Rendszerek Tanszék
Repülőfedélzeti Fegyvertechnikai szakirány**

REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁKON ALKALMAZOTT KÖZELSÉGI GYÚJTÓK

SZAKDOLGOZAT

**Készítette:
NAGY NORBERT HALLGATÓ**

**Konzulens:
Szilvássy László okl. mk. alez.**

**SZOLNOK
2008.**

ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

J ó v á h a g y o m !
Szolnok, 2007. május 31.

.....
tanszékvezető

SZAKDOLGOZATI FELADAT

Nagy Norbert
repülőfedélzeti fegyvertechnikai szakos
hallgató részére

1. Feladat:

Repülőfedélzeti rakéták alkalmazott közelségi gyújtók

2. Elkészítendő:

- A közelségi gyújtók kialakulás;
- A repülőfedélzeti rakéták közelségi gyújtóinak rendszerezése;
- A repülőfedélzeti rakéták közelségi gyújtóinak működési elve, általános felépítése;
- A repülőfedélzeti rakéták közelségi gyújtói működési tartománya és a működési tartomány hangolása.

3. A szakdolgozatot konzultálja: Szilvássy László okl. mk. alez.

4. Beadási határidő: 2008. április 30.

5. A kidolgozáshoz javasolt eszközök és irodalom:

- A repülőfedélzeti fegyverberendezések működésének és üzemeltetésének alapjai I. könyv (920/531 szabályzat)
- Zsilák András mk. alez.: Repülőgép-fedélzeti fegyverek megsemmisítő eszközei, 598/479, KGyRMF, 1984,
- Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök (Id/16 szabályzat)
- A repülőfegyverzet üzemeltetésének elméleti alapjai IV. Repülőlőszerek (Re/997)
- Gunston, B. Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó 1995
- Dr. Ábrahám György Optika, Panem – McGraw-Hill, Budapest, 1998
- A témával foglalkozó szakdolgozatok, tanulmányok, doktori dolgozatok és Internetes oldalak.

6. A szakdolgozat elkészítésének ütemterve:

Ssz.	Feladat megnevezése	Határidő	Megjegyzés
		Aláírás	
1.	A megadott irodalom tanulmányozása, rendszerezése, egyéb források felkutatás	2007. 09. 30.	
2.	Önálló kutatás	2007. 10. 31.	
3.	A szakdolgozat vázlatának elkészítése	2007. 11. 30.	
4.	A szakdolgozat kéziratának elkészítése	2008. 02. 28.	
5.	Ábrák, fényképek fóliák, stb. elkészítése	2008. 03. 31.	
6.	A szakdolgozat bemutatása a konzulensnek	2008. 03. 31.	
7.	A szakdolgozat végleges formába öntése és bekötetése	2008. 04. 15.	
8.	A szakdolgozat leadása	2008. 04. 30.	

Szolnok, 2008. hó-n

.....
hallgató

Egyetértek!

.....
konzulens

7. A konzulens javaslata:

A szakdolgozat a formai és tartalmi követelményeknek

megfelel	nem felel meg
ezért elbírálását	
javaslom	nem javaslom

Szolnok, 2008. hó-n

.....
konzulens

A szakdolgozat értékelés

8. Összefoglaló bírálat:

Javasolt osztályzat:

2008. hó-n

.....

bíráló

9. A záróvizsga bizottság döntése:

A szakdolgozatot eredményűnek minősítjük.

Szolnok, 2008. hó-n

.....

ZV bizottság elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

1. A KÖZELSÉGI GYÚJTÓK KORAI TÖRTÉNELME (1937-40).....	8
1.1. Történelmi háttér:	11
1.1.1. A német Luftwaffe felemelkedése	11
1.1.2. A brit légvédelem.....	12
1.2. A korabeli közelségi gyűjtők	15
1.2.1. Akusztikus közelségi gyűjtők	15
1.2.2. Fotoelektromos közelségi gyűjtő	16
1.2.3. A brit fotoelektromos közelségi gyűjtő	17
1.2.4. A fotoelektromos közelségi gyűjtő	20
2. A REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁK KÖZELSÉGI GYÚJTÓINAK RENDSZEREZÉSE	27
3. A KÖZELSÉGI GYÚJTÓK MŰKÖDÉSE	30
3.1. Elektrosztatikus gyűjtők	30
3.2. Mágneses gyűjtők.....	33
3.2.1. Statikus mágneses közelségi gyűjtők	34
3.2.2. Dinamikus mágneses közelségi gyűjtők.....	34
3.3. Akusztikai gyűjtők.....	37
3.4. Rádiógyűjtők	41
3.4.1. A Doppler-rádiógyűjtők	42
3.4.2. Az impulzus és az impulzus-Doppler rádiógyűjtők.....	46
3.4.3. Félaktív rádiógyűjtők	50
3.5. Optikai gyűjtők.....	53
3.5.1. Passzív típusú optikai gyűjtők	53
3.5.2. Aktív optikai gyűjtők	57
3.5.3. Lézer közelségi gyűjtő.....	59
4. A KÖZELSÉGI GYÚJTÓK MŰKÖDÉSI TARTOMÁNYA ÉS A MŰKÖDÉSI TARTOMÁNY HANGOLÁSA.....	61

4.1. A rádiógyűjtő működési tartománya	65
4.2 A passzív típusú optikai gyűjtő működési felülete.....	68
4.3. A működési tartomány hangolása	71
5. IRODALOMJEGYZÉK.....	75

„Axiómának számít a kijelentés, hogy az emberi történelmet a háború hajtotta és formálta. Ennek az igazságnak egyik következményét azonban jóval kevésbé szoktuk állítani: a háborút a fegyverek mozgatták, és azok határozták meg a formáját. Fontos konfliktusok álltak vagy buktak az alkalmazott fegyverek sikerén vagy kudarcán, valamint egész stratégiai rendszereket kreáltak bizonyos fegyverek megléte köré.” (Robert L. O'Connell – *A kard lelke*)

Az alábbi idézetből kiindulva először szeretném tárgyalni a közelségi gyűjtők kifejlődésének történetét, illetve megjelenésének fontosságát.

Amióta az embernek sikerült saját szerkezeteikkel a levegőbe emelkedni, azóta foglalkozik azzal, hogyan lője le ezeket az égről. Technikailag az első ilyen eset



1. ábra Balloon-Abwehr-Kanone [27]

1871-ben történ meg Párizsban, amikor a város helyőrsége léghajóval akart utasokat átvinni a porosz vonalak fölött, azonban a határnál lelőtték a lassú és könnyű célpontnak számító

léghajót. A támadást egy erre a célra kifejlesztett fegyverrel vitték végbe, az úgynevezett „Balloon-Abwehr-Kanone”-val (1. ábra), ami magyarul ballon elhárító ágyút jelent. Ez egy 36 mm-es nagy függőleges kitérésű szöggel rendelkező, hátultöltő ágyú, amit egy 360°-ban körbe forgatható kocsira rögzítettek. Ez volt az első légvédelmi fegyver.

A párizsi támadás és a repülőgép 1914-es bemutatkozása, illetve annak harci alkalmazása közt eltelt évek alatt a repülés technikai eszközei hatalmas fejlődésen estek át. A légi hadviselés területén, azonban az 1871-ben létrehozott Krupp-féle ágyún és más egyéb légvédelmi fegyvereken kívül nem történt meg az ilyenkor szokványosnak, illetve kötelezőnek tekinthető evolúció. A légi eszközök alkalmazása az első világháborúban ráébresztette az egymással szemben álló mérnököket, hogy egy új dimenzióval bővült a hadszíntér, ami azt követeli meg, hogy merőben új fejlesztéseket kell véghezvinni.

Elképesztő volt a fejlődés üteme. A repülés kezdetén áttörő siker volt a La Manche-csatorna átrepülése, később az Atlanti-óceán levegőben történő átszelése sem volt nagyobb kihívás.

Ezek után felvette a versenyt a légvédelmi fegyverek fejlődése is. A repülőgépek gyors fejlődésével párhuzamosan és ugyan olyan lázas iramban indult meg ezen eszközök fejlődése is.[9]

1. KÖZELSÉGI GYÚJTÓK KORAI TÖRTÉNELME (1937-40)

A közelségi gyújtóra azt mondhatjuk, hogy alapvetően angol találmány, majd az évek során más nemzetek is megkezdték elkészíteni a saját fejlesztéseiket.

A közelségi gyújtó történelme a RAF¹ 1936/37-es levegőgyakorlatán kezdődött. A gyakorlaton egy új problémával kellett szembenézniük: a technika fejlődésének köszönhetően képtelenné vált az RAF megvédeni saját hazáját. Mivel az elavult kétfedelű vadászgépekkel nem voltak képesek elfogni a modernebb, gyorsabb, egyfedelű bombázókat. Kitaláltak egy taktikai húzást, amivel megpróbálták ezt a hiányosságot felszámolni: ezt akkoriban úgy hívták, hogy „bombing the bomber” vagyis „bombázni a bombázót”.

Az ötlettel mindenki egyetértett. Tehát a pilótáknak bombákat kellett volna az ellenséges bombázókra ejteni, amelyek a repülőgépbe csapódva, vagy a repülőgép közelében robbantak volna fel.

Az addig létező kontaktgyújtókkal és időzítő-gyújtóval szerelt a bombák alkalmatlanok voltak a feladat végrehajtására, ezért egy olyan gyújtót kellett kifejleszteni, ami automatikusan működésbe lép, amikor a bomba a célnak egy meghatározott közelségébe ér.

A második világháború kitörése előtt már léteztek akusztikai és képalkotó közelségi gyújtók és futószalagon már gyártották is őket, azonban a korai gyújtók megbízhatósága nem volt kielégítő és mindkét gyújtótípusnak jellemző korlátjai vol-

¹ Angol Királyi Légierő

tak. A közelségi gyújtók fejlesztése és alkalmazási körük az 1939-40-es években rengeteget fejlődött.

A második világháború során több mint 22 millió rádió közelségi gyújtót gyártottak. Az ilyen gyújtókkal szerelt gránátokat\ lövedékeket használták elsöprő erővel a London elleni V1 támadás során, 1944. decemberében Antwerpennél, a második világháború utolsó német nyugati arcvonalon vívott offenzívájánál, és a japán kamikázé repülőek ellen az amerikai csendes-óceáni haditengerészeti flotta egységeinél.

Londont elpusztítani kívánó német repülőbomba (V1) offenzíva 1944. június 13-án kezdődött és egészen 1944 kora szeptemberéig tartott. Összesen 8564 V1-est lőttek ki Angliára és átlagosan 100 darabot naponként a 80 napos periódusban, egészen augusztus végéig. Széleskörű védelmi rendszert építettek ki Dél-Anglia partvonalán. Ez magába foglalta a hozzávetőlegesen 2000 léggömbből álló légi zárat, 500 fényszórót, 1100 lövegéből álló repülőgép elleni ágyúzarat, radar álló-



2. ábra V1-es repülőbomba [28]

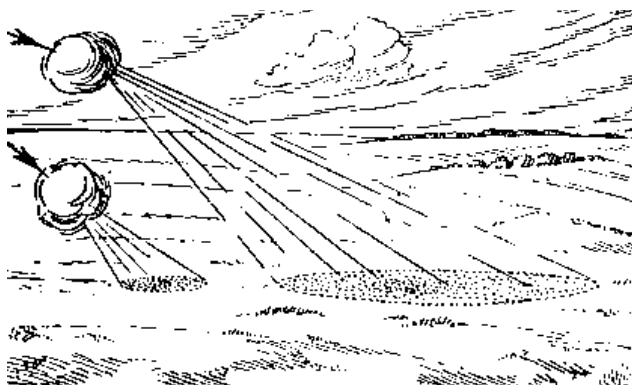
másokat és 20000 védelemben résztvevő személyt. A kilőtt 8564 V1-ből, 1006 darab nem sokkal a kilövés után megsemmisült,

279 darabot a ballo-

nokkal semmisítették meg és a többi 1900 darabot a vadászipülő, vagy légvédelmi fegyverek semmisítették meg. Mindez illusztrálta a légvédelmi ágyúk tűznek hatékonyságát a V1rakétákkal szemben. Feljegyzett adatok alapján augusztus 28-án 94 darab V1-est lőttek ki Londonra, ebből 23 db-ot a vadászipű, 2 db-ot a ballonok és 65 db-ot a légvédelmi tüzérség semmisített meg, szám szerint négy V1-es jutott célba. A légvédelem hatékonyságát három elektronikus rendszernek köszönhették: a közelségi gyújtónak, SCR 584 (US) lokátor állomásnak és 10BTL löelemképző berendezésnek. A jelentések alapján a gyújtó segítségével 100 lövés alá csökkent egy V1-es rakéta eltalálásához szükséges lövéseknek a száma, illetve a legjobb egységeknek ezt 40 lövésből sikerült véghezvinniük. Tükrözvén a különbséget: az első világháborúban egy lassan repülő, ellenséges repülő eltalálása-

hoz nappali támadás esetén átlagosan 2335, éjszakai támadásnál 14540 lövésre volt szükség.

A németek utolsó offenzívája a nyugati arcvonalon 1944. december 16-án kezdődött meg Belgiumban. Mikor az Ardenneknben Rundstedt tábornok támadó csapatai megpróbáltak áttörni a szövetséges harcvonalon, egy új fegyverrel találták szemben magukat, amelynek köszönhetően úlys veszteségeket szenvedtek el. Ez a szárazföldi tüzérség által kilőtt időzítetű gyújtós gránát, a shrapnelgránát volt (3. ábra). A tüzérség zárótüze által egy olyan pusztítási zónát hoztak létre, amit a közelségi gyújtóval szerelt, 9,114 méterrel a föld felett szétrobbant repeszgránátok repeszei alkottak. A shrapnel gránát repeszei nagy hatékonysággal tudták pusztítani a fedezékekben meghúzódó élő erő, sokkal hatékonyabb volt, az akkoriban használt gránátok bármelyikénél is. A gránát ma is vitathatatlan előnye, hogy nagy mélységi hatásuk volt és ezt irányítottan fejtették ki.



3. ábra A Shrapnelgránát működés közben [29]

Az Egyesült Államok csendes-óceáni haditengerészeti flottájának a japán légierő elleni hatékony légvédelmét is a közelségi gyújtóval szerelt gránátoknak köszönhetette. A Fülöp-szigeteki tengernél vívott csata alatt például egy nap alatt 373 japán gépet lőttek le, legnagyobbbrészt hajótüzérségi tüzze. Hussey tengernagy, az Egyesült Államok Haditengerészet Tüzérségi Hivatalának a vezetője azt nyilatkozta, hogy: „Ha erről a titkos fegyverről bebizonyosodik, hogy valóban hatékony, és ha ezt sikerül teljes titokban is tartani; akkor a haditengerészet időzítetű-, vagy közelségi gyújtója lehetne a háború egyik legjobb titkos fegyvere. Ez nemcsak egy hihetetlen légvédelmi fegyver, hanem a szárazföldi hadviselésben is hatékonynak bizonyul.” Erre a titoktartásra nagy gondot fordítottak.

Csak egyetlen könyvet publikáltak a közelségi gyűjtőkről, Dr. R.B. Baldwi által 1980-ban írt „The deadly fuze, secret weapon of World War II” , magyarul „A halálos gyűjtő, a második világháború titkos fegyvere” . A könyv elsősorban a rádió közelségi gyűjtők megjelenésével foglalkozik és főleg amerikai fejlesztéseket mutat be. A szerző 1977-ben megpróbálta a brit szárazföldi közelségi gyűjtőket bemutatni, de az anyag, amit kutatásai során a brit állami levéltár a rendelkezésére adott túlságosan szórványos volt ahhoz, hogy használni lehessen. Egy évvel később, hogy lecsillapítsák az író, kapott bizonyos okiratokat, amik a brit fejlesztésekről szóltak, azonban ez is oly csekély mennyiségű információ volt, hogy csak egy rövid fejezet kiindulási alapját képezte.

A közelségi gyűjtő brit találmány, aminek feltalálását 1936-37-re datálhatjuk. Úgy fejlesztették ki, hogy segédeszköz legyen a „bombázók bombázásában”. [9]

1.1. Történelmi háttér:

1.1.1. A német Luftwaffe felemelkedése

1933. január 30-án Adolf Hitlert kinevezték a Harmadik Birodalom kancellárjává.

Bizalmasát és barátját, Hermann Göringet jutalmul a lojalitásáért, amit az inséges 1920-as években tanúsított, négy posztot adományozott az új igazgatási rendszerben. Ezek közül az egyik a légügyi miniszteri volt. Munkásságának köszönhetően újraéledt a német légierő. Habár a 1919 júniusában aláírt versailles-i békeszerződés arra törekedett, hogy a német repülést örökre megszüntesse, amit ennek ellenére is meg lehetett találni a Német Honvédelemi Minisztériumban. Kijátszották a békeszerződésben lefektetett limitációkat. 1921 decemberében követeket küldtek Oroszországba, hogy megtárgyalják a német utánpótlás számára történő manufakturális oktatás és katonai repülési kiképzés részleteit.

1923 decemberében aláírt titkos megállapodásnak köszönhetően létrejött egy repülőiskola, a Moszkvától kb. 320 kilométerrel délkeletre fekvő Lipezk városában. Ahol az iskola 9 éves fennállásáig több száz különböző kiszolgáló személyzetet, szerelőt és szakembert képeztek ki. Továbbá számos repülőgép és berendezés fejlesztése ment végbe a titkos német és szovjet együttműködésnek köszönhetően. Az 1926-os párizsi légi egyezmény lekorlátozta a Honvédelmi Minisztérium terveit,

melyben leszűkítették a hajózók létszámát. A németek ismét megtalálták a módját ennek a korlátozásnak a kijátszására; a Lufthansa repülőiskolaiban „speciális” szakot indítottak, ami tulajdonképpen a katonai pilótaképzést jelentette, illetve rengeteg fiatal csatlakozott vitorlázó klubokhoz, ahol megtanulták a repülés alapjait.

Köszönhetően ezeknek a burkolt tevékenységeknek a Német Légierő 1935. február 26-i felállásakor 20 000 fős állománnyal rendelkezett. 1933-ban a német repülőipar közel 3500 munkást foglalkoztatott, akik havonta átlagosan 31 repülőgépet állítottak elő. A Honvédelmi Minisztérium az 1933-as évet megelőző időszakban tanúsított titkolózó politikájának eredményeként a német repülőmérnökök teljesen naprakészek maradtak, és nagyon rövid idő leforgása alatt képesek voltak arra, hogy különböző kiképző, vadász, szállító és bombázó gépek terveit készítsék el. A harci repülő gyártás gyorsan kiszélesedett az 1934-es és 1935-ös havi átlagtermelés 164 majd 235 darabszámra növekedett. Németországban 1933-ig semmiféle harci repülő nem épült, 1934 végére 840 darabot termelt ki a repülőipar, majd 1935-re ez a szám elérte az 1923-at.

1935. március 1-én Berlin hivatalosan is bejelentette a világnak, hogy felállt a Luftwaffe. A 20 000 fős állományával és az 1888 repülőeszközzel ez az új szervezet potenciális veszélyforrása volt a világbékének.[9]

1.1.2. A brit légvédelem

1936. március 7-én Hitler a Rajna-vidékre rendelte csapatait. 35 000 ember hatolt be a demilitarizált zónába és elfoglalták a főbb városait. Ugyanabban a hónapban egy titkos brit jelentés a felhívta a figyelmet a szembenálló Németország becsült helyzetére, illetve taglalta a német csapatokkal szembeni erőviszonyokat, ami egy esetleges háború folyamán állna fenn. A jelentés megállapította, hogy meglévő hét repülő századból a mozgósítások után, kettő a megfelelő berendezések híján alkalmatlan éjszakai feladatok ellátására, három pedig olyan elavulóban lévő repülőtechnikával rendelkezik, hogy nem volna képes a feladatok ellátására. Szerencsére Winston Churchill és támogatói időben figyelmeztették a parlamentet és a lakosságot a náci párt felemelkedésében és Németország újrafegyverkezésében rejlő veszélyekre. Churchill sokáig csak egy magányos hang volt, ami próbálta felhívni a figyelmet a német katonai hatalom növekedésére. 1933-ban a brit Lég-

ügyi miniszternek, Sir Phillip Cunliffe-Liste-nek sikerült meggyőznie Lord Londonderry-t, hogy növeljék meg a RAF erejét. 1936. július 6-án létrehozták a RAF vadászgép-különítményt Sir Hugh Dowding repülő altábornagy vezetésével. Az első feladatai közé tartozott, hogy megállapítsa a szükséges erőket, amelyek tökéletesek lennének az Egyesült Királyság megvédésére. Miután kikalkulálta a védelemi feladatok ellátásához szükséges légvédelmi ágyúk, géppuskák és a keresőreflektorok számát, a számítások azt mutatták, hogy a feladat végrehajtásához nagyjából 45 repülőszázad lett volna szükséges. Ezek a számok nem voltak túl nagyok, azonban 1936-ban nem számoltak előre azzal a lehetőséggel, hogy Franciaország elesik, és a britek az ellenséges vadászrepülőök lőtávolságán belülre kerülnek.

Dowding fáradhatatlanul dolgozott azon, hogy az egyre növekvő számú állományt, reptereket, repülőket, radarokat, ballonokat, a parancsnokságokat és a híradást egy egységes és hatékony szerezetté olvassza össze. 1937 nyarán volt az első gyakorlat, amin a feladat az volt, hogy az „ellenséges” Bristol Blenheim bombázókat a RAF vadászgépeinek el kellett volna fogniuk.

Megállapították, hogy egyetlen egy kétfedelű gépnek sem sikerült az elfogás az új, gyors, kétmotoros Blenheimekkel szemben és még kedvező pozícióba sem tudtak velük szemben kerülni. Még annak ellenére sem sikerült, hogy a vadászpilóták precízen kiszámolták az alábukás időpontját, azonban mikorra odaértek volna, a Blenheimek addigra már túlságosan eltávolodtak. Ezeket a manővereket addig tudták így folytatni, míg a vadászgépeknek ki nem fogyott az üzemanyaguk és fel kellett adniuk a légi küzdelmet.

Dowding azt jelentette a gyakorlatról, hogy a most már nyilvánvaló, hogy a bombázók elleni vadászgépek teljesen hasznavehetetlenek. Miután kielemezték a gyakorlat eredményeit, arra a végkövetkeztetésre jutottak, hogy a Blenheimeknek az egyik legnagyobb előnye a sebességük, ami képessé teszi őket arra, hogy csupán a gázkar kezelésével visszaverjenek egy támadást.

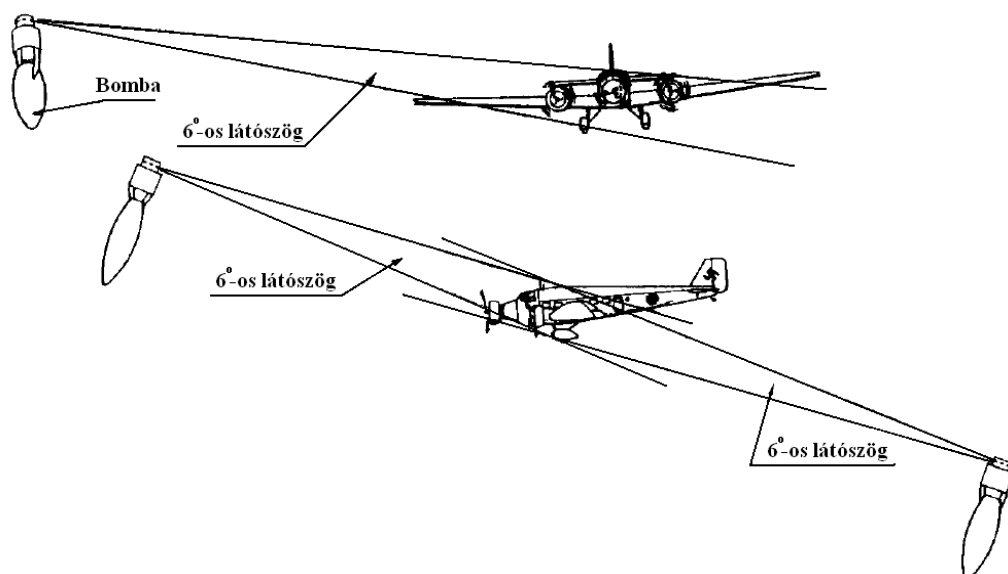
1938-ban az angolok 759 vadászgéppel rendelkeztek, ezekből 93 volt Hurricane típusú. Akkoriban még nem volt szolgálatban a Spitfire, és a Hurricane-ok nem

voltak képesek 4500 méter fölött harcolni, még nyáron sem, mivel nem volt a gépágyújukban fűtés és azon a magasságon befagytak a fegyverek.

Egy évvel a háború kitörése előtt a RAF vadászgép-különítményének ereje 666 idejétmúlt kétfedeles vadászgépből állt, név szerint a Gloucester Gladiatorokból. A német Luftwaffe ezzel szemben 1200 modern bombázóval rendelkezett. Felmerült a kérdés, hogy milyen módszert kellene alkalmazniuk, hogy a biplán vadászgépekkel legyőzhessék a modern bombázókat. Kitalálták a „bombázni a bombázót”, ez azonban különböző problémákba ütköztek ennek az ötletnek a megvalósításban, ami főleg a megfelelő technika hiányából adódott:

- a kontakt-gyújtóval szerelt bombák csak kontakt találatkor működnek, és a kontakt találat esélye rendkívül alacsony,
- illetve, egy támadó vadászgép fedélzetén lehetetlen úgy beállítani egy időzíthető-gyújtóval szerelt bombát, hogy az akkor robbanjon, mikor az ellenséges cél mellé ér

Ebből adódóan a mérnököknek ki kellett fejleszteni egy olyan automatikusan működő gyújtót, ami akkor detonálja a bomba harcirészét, amikor az a cél közelébe kerül. Kezdetekben a közelségi gyújtóknak két fajtáját találták fel: az akusztikus és a fotoelektromos közelségi gyújtót.[9]



4. ábra A bombák akkor robbannak, amikor a repülőgép a repeszek maximális pusztító zónájába kerül [9]

1.2. A korabeli közelségi gyújtók

1.2.1. Akusztikus közelségi gyújtók

Az akusztikus gyújtót a Légvédelmi Kutató Intézet alkalmazottja P. Rothwell találta fel.

Két típusú gyújtót gyártottak, egy kis-, és egy nagyfrekvenciásat.

1.2.1.1. Kisfrekvenciájú akusztikus bomba

Ezt a típusú bombát egy 250 lb GP Mark IV (250 lb körülbelül 113 kilogramm) bombából alakították ki. Levágták az orrkúpját és a helyébe szerelték a 250-1000 Hz-es tartományban működő gyújtót, amelyben kisméretű piezoelektromos mikrofon és egy membrán helyezkedett el. Különböző kísérleteket hajtottak végre a gyújtón. Egy töltetlen bombát helyeztek a földre, amely felett egy repülőgép körülbelül 45 méter magasan átrepült, a gyújtó működött, amit egy beszerelt indikátor lámpa jelzett. Hogy megbizonyosodjanak arról, hogy a bomba nem robban fel a repülés során létrejövő háttérzajtól, amit a levegő torló nyomása hoz létre; először 1300 méter magasból dobták le egy hőléggallon fedélzetéről, majd egy 1000 méter magasan 320 km/h-s sebességgel repülő Blenheimből oldották a bombát. Mind a két esetben sikerrel jártak, a háttérzaj nem hozta működésbe a bomba robbantószerkezetét.[9]

1.2.1.2. Nagyfrekvenciájú akusztikus bomba

A bomba, illetve a gyújtó felépítése hasonló elrendezésű volt, mint a kisfrekvenciájú akusztikus bombában. A fentiekben leírt tesztek ezen a gyújtón is elvégezték 1938 szeptemberében és 1939 augusztusában. Ezen kísérletek után is elégedettek voltak, a szerkezet 5 kHz feletti hangforrásból érkező jelekre volt érzékeny. Azonban a későbbi kutatások megmutatták a gyújtó hátrányát is, a háttér zaja, a szárazföldi- és a légi forgalom vibrációt keltett a gyújtóban.

1940. július és szeptember között a Lövedék Kutató Intézet kipróbált egy, a rakétákban alkalmazható akusztikus közelségi gyújtót. A 18 kilótt sorozatból az első két próbálkozásnál, 10 túlságosan korán robbant fel, öt nem működött el, és csupán három működött tökéletesen. A 18 sorozatból 15-öt mikrofon adóval ellátott gyújtóval próbálták ki. A gyújtó csak a rakétatesten belüli zajokat érzékelte, de az

önmegsemmítéshez szükséges impulzus egyszer sem jutott el a gyújtó erősítőjébe. A másik három sorozatot pedig egy ballonnól lelógatott szirénára lőttek ki, ami a megfelelő hangfrekvenciákat bocsátott ki magából.

A különböző környezetben véghezvitt kísérletek alapján a következőket állapították meg:

- a rakéta 1,5 másodperces élesítési ideje, plusz a gyújtóműködési ideje alatt a rakéta 381 métert tesz meg – tehát a hatótávolságának ez a minimuma
- az élesítés után, a rakéta biztosító szélkerekeinek zajára sokszor elműködött a gyújtó
- a gyújtó érzékeny volt a tüzérség lövedékeinek robbanásaira, alacsonyfrekvenciaszűrők alkalmazásával 600 méter távolságon belül, magasfrekvenciaszűrők esetén pedig 1000 méteren belül

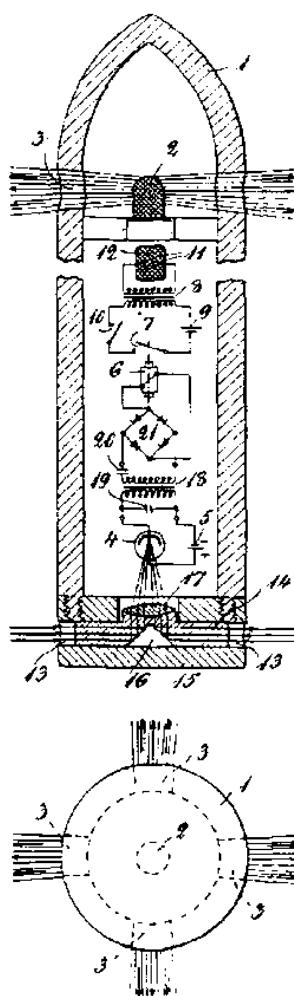
Ezek az észrevételek rávilágítottak arra, hogy a rakétákban nem lehet felhasználni a z akusztikai gyújtókat, és a további fejlesztéseket megszakították.

Mikor mind a két gyújtótípuson, az akusztikus és a fotoelektromos közelségi gyújtókon elkezdtek a fejlesztési munkákat, úgy gondolták, hogy az előbbinek nagyobb sikere lesz, mivel az nem függ a napfénytől.[9]

1.2.2. Fotoelektromos közelségi gyújtó

A fotoelektromos közelségi gyújtó legkorábbi ötletének a körvonalai egy 1935-ös svéd szabadalomban illetve egy hasonló 1936-os brit szabadalomban látszanak kibontakozni.

L.M. Ericsson egy olyan harckocsi elleni gránátot hozott létre, amiben ilyen gyújtót helyezett el. A gránát tartalmazott egy fényforrást (nagy fényintenzitással égő magnézium és alumínium por keverék), egy fotocellát (amire a célról visszatükröződő, prizmák és lencsék által fókuszált fény esett), egy relét és egy elektromos vezérlésű detonátort (5. ábra).



5. ábra

- 1. Test
- 2. Fényforrás
- 4. Fotocella
- 6. Relé
- 12. Detonátor
- 16. Prizma
- 17. Lencse
- 18, 19, 20 Szűrő hálózat [9]

Az elemek ilyenfajta elrendezésben a célról rőzödő fény kiválóan megkülönböztethető volt a háttérsugárzástól. A gránát forgásának köszönhetően a cél váltakozó fénnel volt megvilágítva.

A célról visszavert jelet a fotoelektromos szűrőhálózat érzékelt, és ha megegyezett a kibocsátott fény változásának a frekvenciájával, akkor a relé rövidre zárta a detonátor körét. A találmány elméleti síkon működött, azonban semmilyen bizonyíték sincs rá, hogy ezt gyakorlatban használták volna.

1.2.3. A brit fotoelektromos közelségi gyújtó

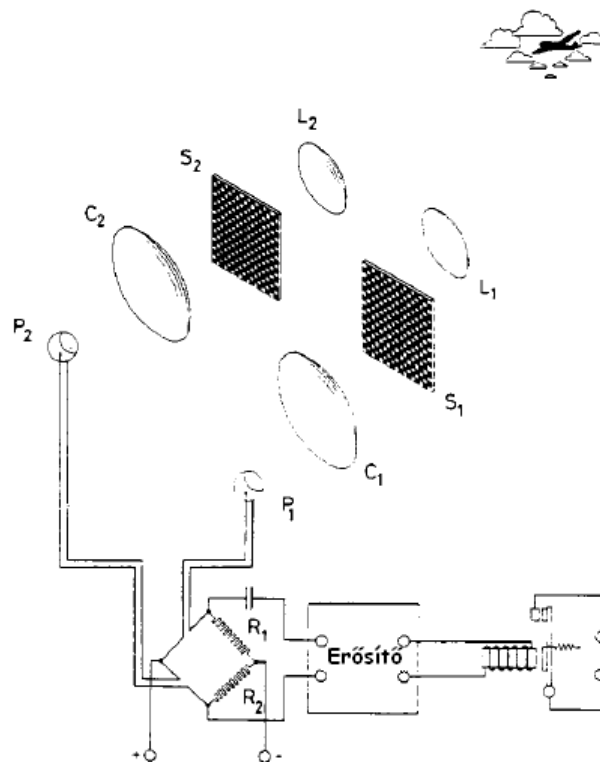
A gyújtó programja Prof. P.M.S. Blackett művéből ered, amiben azt taglalja, hogy milyen lehetőségei vannak fényelektromos gyújtóval szerelt bombáknak a repülőgépek ellen.

1934 elején a Brit Légvédelmi Minisztérium Tudományos Kutatóintézetének a vezetője, H. E. Wimperis tanulmányai során kiemelte Ericsson a találmányának a jelentőségét, illetve azt, hogy ezt akár a légvédelem is tudná alkalmazni. Összesen 53 cikket adott ki légügyi témakörökben, azonban egy sem tartalmazott életképes ötleteket, amikre egy modern légvédelmi rendszert alapozni lehetett volna. Azonban Wimperis úgy gondolta,

hogy figyelmeztetni kell a Légügyi Minisztériumot az akkor létrejött helyzetben rejlő veszélyekre. Wimperis közreműködésének köszönhetően a légügyi miniszter, létrehozott egy tudományos bizottságot, azzal a célzattal, hogy megvitassák, hogy mennyire tudják felhasználni az akkori tudományos fejlesztéseket és a technikai tudományt, a meglévő ellenséges gépek elleni légvédelmi rendszer megerősítésében. Az első ülés 1935. január 28-án volt, és nemsokára megállapodtak abban, hogy ki kell építeni egy radarrendszert, ami korai riasztást tud adni a közeledő ellenséges gépekről. 1936 nyarára kiépült a radarrendszer, és az előrejelzések

nagyon biztatóak voltak, a földi személyzet folyamatosan tudott információt adni a repülőgépek magasságáról és távolságáról. Ennek a technikának köszönhető, hogy képessé váltak légi gyakorlatok megtartására - amik meg is történtek 1936. és 1937. között. illetve azt, hogy rengeteg információt kaptak a repülésekről, amik segítettek felhívni a figyelmet a biplán vadászgépek hiányosságaira is.

Blackett szerint a fotoelektromos közelségi gyűjtő nem teljesen egy egyedi, az egész találmány A.S. Fitzgerald 1936-os „petoszkópján” alapszik, ami egy olyan készülék, amely érzékeny a mozgó tárgyakra. Az L_1 és L_2 lencsék a saját fókusz-síkjaikban képet alkotnak a környezetben lévő optikai mezőről, és ezek a síkokat az S_1 és S_2 szűrőkre fókuszálják. (6.ábra) S_1 szűrő optikai átviteli sajátossági fordítottak az S_2 szűrőével. Az S_1 és S_2 szűrőkből továbbított fény fluxust a C_1 és C_2 gyűjtőlencséken keresztül P_1 és P_2 fotocellákba koncentráltan jutnak.

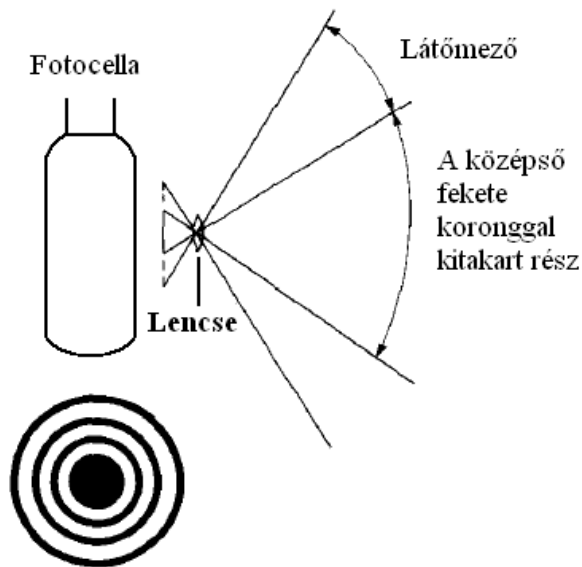


6. ábra Fotoelektromos közelségi gyűjtő elvi felépítése [9]

Ha egy mozgó tárgy elhalad az optikai mező előtt, és a tárgy képe összehasonlíthatóvá válik az S_1 és S_2 szűrőn megjelenő sötét illetve világos részek alapján, a szűrőkön folyó áramok fázisszöge megváltozik, ami azonban a szűrők kialakítása miatt mindig 180° -os irányváltást jelent. Egy hídkapcsolás alkalmazásával fel le-

het erősíteni a mozgó tárgy által kiváltott jelenséget, illetve a környezet fény fluxusainak változásaitól függővé tehetjük a működést.

Fitzgerald mérései szerint a berendezés kb. 1000 méter magasan és horizontálisan legalább 800 méterre lévő repülőgép estén működik. Blackett jegyzeteiben leírta, hogy a berendezés egy egyszerűbb felépítéssel hogyan működhetne tökéletesen egy bombában.



7. ábra A fotoelektromos gyújtó szűrőjének kialakítása [9]

A bomba orrában elhelyezett nagy látószögű fényképeszeti lencse vetítette a képet a szűrőre, ami középen egy fekete korongból, és a rong körül koncentrikusan elhelyezkedő gyűrűkből állt (7. ábra). A szűrő mögött egy fotocella helyezkedett el. A másik fotocellába egy ugyanolyan lencsén és szűrőn keresztül jutott el a fény.

A két fotocella egymást egyensúlyozta ki, illetve ezek egy erősítőre voltak kötve, ami egy bizonyos V_0 feszültség érték alatt nem erősítette fel a jeleket. A V_0 értéke függött: a szűrő finomságától – milyen távolságra helyezkedtek el egymástól a gyűrűk -, a bomba esési sebességétől és az előre beállított távolságtól.

Blackett jegyzeteit a Légügyi Minisztérium eljuttatta a Királyi Repülő Intézetbe (RAE), hogy vizsgálják be a berendezést, illetve térjenek ki arra is, hogy az akusztikus robbanások milyen hatást fejtenek ki a gyújtóra. Az intézet ilyesmifajta problémával nem találkozott, azonban voltak fenntartásai. Válaszukban azt írták, hogy nem találnak semmiféle gyakorlati akadályt egy fotoelektromos „szem” létrehozásában, azonban nem értették, hogyan lehet elkerülni az idő előtti robbanást, amit a Nap idézne elő, illetve kételkedtek abban, hogy hogyan fog működni a „szem”, mikor az egy repülőgép felé néz, aminek háttérében ott van a föld látképe.

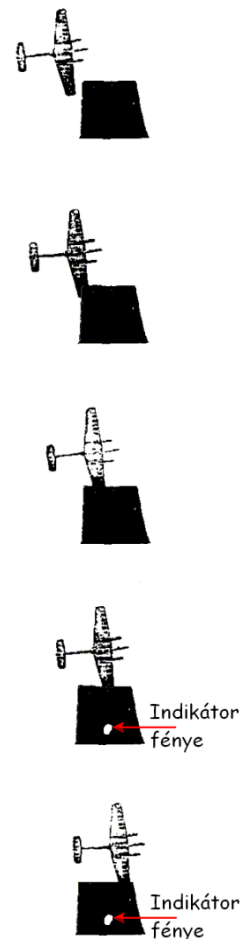
Ezzel a nehézséggel foglalkozott Blackett egy további feljegyzése során és a problémát úgy oldotta meg, hogy a lencse látószögét 90° -ról 40° -ra csökkentette, így az ég egyetlen része sem került bele bomba láthatárába 50° -nál kisebb szögben.

1937. október 22-én Blackett ötleteit megvitatták a RAE által tartott konferencián. Azt ajánlották, hogy vigyenek végbe fotoelektromos méréseket, október 29-én a RAE megkérte a Légügyi Minisztériumot, hogy hagyja jóvá a kísérletekre tett javasokat.

A Légügyi Minisztérium egyetértett a javaslattal és elkezdtek dolgozni fotoelektromos közelségi gyújtón. Ezen kísérletek alatt volt az első alkalom, hogy bárhol is közelségi gyújtót alkalmaztak volna.

1938 májusában nagyon jó eredmények születtek a tesztek során. 21 tesztet hajtottak végre, egy Whitley bombázó 30 és 200 méter között különböző magasságokban kb. 320 km/h sebességgel repült egy földre telepített fotoelektromos egység fölött. A körülmények hasonlítottak egy 600 méteres magasságból, 320 km/h-val mozgó cél bombázására.

A 8. ábrán egy képsorozatot lehet látni, amik az akkori tesztek során készültek. Az utolsó két képen a lámpa világítása jelzi a gyújtó működését.



8. ábra
A gyújtó tesztelése [9]
[Nagy Norbert – MS
Paint]

Az eredmények azonban a fényviszonyok változásával megváltoztak. Nappali fénynél a gyújtó minimális hatósugara 90 méter körül volt, a maximális pedig 160 méter körül. Azonban a gyújtó működési távolságát 90 méterre dolgozták ki, mert a bomba repeszei a célra csak 90 méteren belül tudtak pusztító hatást kifejteni. [9]

1.2.4. A fotoelektromos közelségi gyújtó

A henger alakú gyújtótestben helyezkedett el a lencserendszer, a fotocella, az erősítő és a relé, a végrehajtó és biztosító eszközök és az elektromos gyújtószerkezet.

A gyújtó akkor lépet működésbe, amikor a gyújtó látószögének hetvennegyedik és nyolcvanadik fokai közé egy repülőgép repült.

A gyújtó látószögét úgy állították be, hogy a bomba megfelelő késleltetési idővel úgy robbanjon fel, hogy a repülőgép maximális sűrűségű repeszfelhőbe kerüljön; kiszámították a cél érzékelésétől kezdve a fotocella-erősítő-relé rendszer működésének és a szétrepülő repeszek a célba való becsapódásig eltelt idejét.

Kétfajta fotocellát alkalmaztak a korai kísérletek során, egy kis fáziskésésű akár – 60°C-ban is működő szelénből készült, illetve egy gázzal töltött fotocellát, a későbbi kísérletek eredményei alapján az utóbbit gondolták hasznosnak.

Az erősítőbe szerelt szűrőkkel különböztették meg a magas illetve az alacsony frekvenciájú jeleket. A nagy-frekvenciás szűrőt - mintegy 300Hz-ig - arra használták, hogy a fotocella által létrehozott zajt csökkentsék. A kisfrekvenciás szűrőt - 25Hz felett engedte át a jelet - arra használták, hogy megelőzzék a bomba egy távoli céltól való felrobbanását. Egy távoli cél, akár egy felhő is, amit egy nagy-hullámhosszú fényimpulzus jelenít meg az erősítőben.

A gyújtó feladata az volt, hogy a megfelelő időpillanatban robbantsa a bomba harci részét, napsütéses és felhős időjárás esetén is. Azonban előfordult, hogy a napsugárzás intenzitása olyan nagymértékű volt, hogy a gyújtóba beérkező jel mennyisége elegendő volt ahhoz, hogy korai detonációt okozzon. Ennek a valószínűsége 9%-ra becsülték.

Az idő előtti működés abban az esetben is bekövetkezhetett, mikor a gyújtó a „földet nézte” a tőle 270 méter távolságban levő felhők közötti hasadékon keresztül. Ennek a hatásnak a valószínűségét nem tudták kiszámítani, mert mindez a cél-nak a felhőréteg fölötti magasságától és az ellenség harcászati eljárásától függött.[9]

1.2.4.1. Korai bombavetési tesztek

A kielégítő földi tesztek követően, kikötött léggömbök ellen G. P. Mark III-as bombákkal teljes értékű kísérleteket hajtottak végre.

A bombák közül néhányat puskaporral töltöttek meg, hogy a felrobbanó lőpor füstje jelezze a léggömb és a felrobbanó bomba közötti viszonylagos pozíciókat.

A többi robbanóanyaggal töltötték meg, hogy elpusztítsák a léggömböket. Abban reménykedtek, hogy ha nem gyullad meg a hidrogén töltésű ballon, akkor hasznos információkat tudnak szerezni a bomba repeszhatásáról, a ballon szövetébe becsapódott repeszek vizsgálatával.

Azonban 1938. december elején megtartott teszt kudarcba fulladt. A bombákat egy 1800 méteres magasságon lévő repülőgépből dobták le a 900 méter magasságban kikötött léggömbre. A bukás okát azzal magyarázták, hogy a csökkentett érzékenységgű berendezések a téli fényviszonyok között nem működtek jól az alumíniumborítású cél ellen, mivel a léggömb hol világosabb, hol sötétebb volt, mint a háttérben lévő ég.

1939 márciusában folytatták tovább a próbálkozásokat, az erősítőt tovább finomították és a léggömböt befújták sötét festékkel. Öt bombát vetettek be 1800 méter magasból egy 900 méter magas léggömbre.

Az első kettő a leoldás után 8 másodpercre felrobbant, valószínűleg a gyújtókör zárata miatt. A harmadik és a negyedik bomba felrobbant a léggömb szomszédságában, körülbelül 90-150 méter távolságra. Az ötödik bomba jóval a léggömb alatt robbant fel, azonban ez megfelelt a végrehajtó szerkezet működési idejének. A teszt után a második két bomba gyújtóját fejlesztették tovább.

További kísérleteket hajtottak végre, hogy meghatározzák azt a magasságot, melyen a közelségi gyújtóval szerelt bombát elműködtetné a felszín, és ez által meghatározzák a korlátozásokat, amit a fegyver éles használata közben kell bevezetni. Három bombát dobtak le a föld fölé és kettőt a tenger fölé 450 méteres magasságából, 260 km/h sebességgel. A bombák 5 másodperccel a kioldás után élesek voltak, akkor 335 méter magasban voltak. A föld felett 60 méter, a tenger esetén pedig 230 méter magasban robbantak fel.[9]

1.2.4.2. Kiterjesztett tesztek 1939-40.

Az 1939. márciusban a Légügy Minisztérium a korai sikerekben bizakodva kiadta az utasítást, hogy 500 bombát le kell gyártani hivatalos tesztelésekre. Ezekből 450-et füstjelzőkkel kellett megtölteni, amelyeket vontatott repülőgépek elleni

tesztekre használták; a fennmaradó 50-et robbanóanyaggal töltötték meg és pilóta nélküli repülőeszközök ellen használták.

Az 1935-ben létrehozott tudományos bizottság feje, Tizard azt tanácsolta, hogy olyan kísérleteket kellene véghezvinni, amelyben egy repülőgép orrába elhelyeznének egy fotoelektromos gyújtóval szerelt bombát, egy másik gép pedig a szomszédságában célként repülne; ezáltal is fejleszteni lehetne a szerkezet kialakítását. Egy Blenheimet alakították át a cél érdekében. A repülések alatt meghatározták:

- a szerkezet viselkedését egy célrepülőgép ellen az éggel vagy a földdel a háttérben,
- a szerkezetre gyakorolt hatásokat a felhőhatáron túl,
- a horizont hatását nagy magasságoknál,
- a tengerről visszavert napfény hatását, és
- magasság függvényében változó fényerősség hatását

A második világháború kitörésére a Légügy Minisztérium kijelenthette, hogy a fotoelektromos közelségi gyújtó bevált és alkalmazható.

Egy hónappal a háború megkezdődése után a Légügyi Minisztérium utasítására abbahagyták a vontatott célpontokkal és Queen Bees-ekkel (pilóta nélküli repülőgépekkel) folytatott teszteket. A minisztérium elrendelte, hogy a közelségi gyújtókkal kapcsolatos tapasztalatokat összegyűjtve és összeolvasztva, hozzanak létre bombákat az ellenséges gépek ellen. A légierő feje, Marshal Sir Hugh Dowding több ok miatt is kritizálta ezeket a döntéseket.

A bombák és a célzó berendezések elkészítésének határideje 1940. január 1. volt, de addigra hat célzókészülék és kettő Blenheim állt volna a rendelkezésükre, és a bombákból 50 füstjelzéset, 50 robbanóanyaggal töltöttet és 100 töltetlent gyártottak volna le.

Dowding azt nyilatkozta, hogy: „Nekem határozottan ki kell állnom a saját véleményem mellett, bármivel is fog próbálkozni az ellenség ebben az országban, a kísérletei eredménytelenek lesznek. Legelőször azt kell leszögezni, hogy az ellenség még soha nem érte el partjainkat. Erre való törekvésnek is csak két vagy három példája volt a háború kezdete óta...”

Keményen harcolt azért, hogy a Queen Bees-eket további kísérletekben alkalmaz-
zák a legyártott 50 füstjelzős bombával és azt ajánlotta, hogy a meglévő 100 üres
bombát is a lőporos keverékkel töltsék meg.

Azonban a Légügyi Minisztérium Kutatási és Fejlesztési Osztálya más vélemé-
nyen volt. 1940. júniusban Tangmere-nél tartott szolgálati kísérletek során szer-
zett tapasztalatok alapján azt jelentették, hogy a fotoelektromos gyújtóval szerelt
bombák alkalmazása kudarchoz fog vezetni. A Tangmere-i teszteken két hibát
észleltek: fenn állt a detonáció lehetősége a bomba kioldása után 6 méterrel a
bombázó repülőgép alatt, és nagy százalékban történetek detonációk bombázási
magasság elérése közben 180-300 méteres magasságokban.

Miután Churchill tudomást szerzett ezekről a tényekről, kiadott egy éles hangú
bíráló levelet a kutatást végzőknek a közelségi gyújtó kifejlesztésének fontosságá-
ról és a csalódottságát a fotoelektromos közelségi gyújtó programmal kapcsolatban.

„Nagyon elszomorít, hogy a közelségi gyújtó további késedelméről hallok. Te-
kintettel az ügy óriási fontosságára, a cél érdekében minden lehetséges támogatást
megadtam, úgy gondolom, hogy helyesen cselekedtem mikor úgy döntöttem,
hogy legyen két vagy három társaság, amelyek egyidejűleg a kísérletekkel foglal-
koztak, így ha az egyik elbukott a másik kettő tovább tudta folytatni.

Kérem jelentsék nekem az eddigi munkásságuk eredményeit...Ha összegyűjtjük
az összes embert, akik a közelségi gyújtó programjában érdekeltek és megkapjuk
az ő jelentéseiket, akkor jövő héttől nagyobb hatékonysággal tudunk dolgozni.”

Közben a fotoelektromos gyújtó fejlesztése során a gyújtó több alkalmazási lehe-
tőségét fedezték fel.[9]

1.2.4.3. További alkalmazási lehetőségek

1939 szeptemberében, a háború kezdetén nagy figyelmet szenteltek a
fotoelektromos közelségi gyújtók további használati lehetőségeire; és az össze-
csapások első 12 hónapjában négy javaslattal álltak elő. Ezek a repülőterek zuha-
nóbombázók elleni védelméről, a bombázó repülőgépekre hátulról támadó vadász-
repülők elleni védelemről, vegyi-bomba felhasználásáról és a légvédelemben
használt rakétákról szóltak.

Egy olyan vegyi bombára volt szükség, amely a föld felet körülbelül 1,5-7,5 méteres magasságban robbant volna fel. A közelségi gyújtós technika adott volt, csak a felhasználandó harci vegyi anyag hiányzott. Ezt a hiányosságot gyorsan pótolták, és 1940 elején három mustárgázzal töltött bombával hajtottak végre bombavetési tesztek. A körülbelül 450 méter magasságnál és 70 km/h-s sebességnél dobták le őket és körülbelül 45, 60 és 75 méteres magasságban robbantak fel. Megállapították, hogy a gyújtó működési magassága a ledobás sebességétől és magasságától; a földfelszín típusától és a gyújtó érzékenységétől függ. Ezen információk alapján már rendelkeztek annyi tudással, hogy létrehozzanak egy olyan vegyi bombát, ami a megadott magasságon robban. A véghezvitt módosítások után 1941-ben végrehajtott teszteken kitűnő minősítést kapott a megsemmisítő eszköz.

1936-ban felmerült a kérdés, hogy a rakétákban is ki kellene próbálni a közelségi gyújtókat, Churchill egyetértett a feltevessel, és elkezdte sürgetni a rakéták felhasználásának a tanulmányozását; főleg a repülőgép ellen alkalmazhatót. Kísérleti rakéták az 1940-es évek elejétől jelentek meg, először fotoelektromos gyújtókat használtak fel, majd évekkel később váltotta fel a rádió közelségi gyújtó. Azonban ezeknek a fejlesztése az amerikaiak kezébe került.

A második világháború óta a fejlődés ezen a területen is meggyorsult, ha a közelségi gyújtók legújabb típusainak leírását nem is hozzák mindig nyilvánosságra. Akkoriban a németek is kipróbáltak különböző olyan fizikai hatásokat, melyek közelségi gyújtók működtetésére alkalmasak. A kísérletekben a látható fényt a rossz jel-zaj viszony miatt nem tudták felhasználni, hiszen a napfény zavaró hatása kiküszöbölhetetlen volt. Ugyancsak hasonlókat tapasztaltak a hang esetében is. A repülőgépek és a különféle gépjárművek hangja ugyan igen nagy erősségű, s alkalmas lehetne a gyújtó működtetésére, a hangsebességnél gyorsabban haladó lövedék saját hangja azonban ezt még a cél közvetlen közelében is elnyomja, ezért az akusztikai elvű közelségi gyújtókat sem tudták használni.

Ma már teljesen más a helyzet: a láthatatlan infravörös sugarak mellett már a lézersugarak is felhasználhatóak a közelségi gyújtókban a cél és a gyújtó közötti távolság mérésére. Az infravörös sugarak passzív típusú gyújtók céljaira is megfelelnek, hiszen a repülőgépek hajtóműve is intenzíven bocsátja ki ezt a fajta sugárzást.

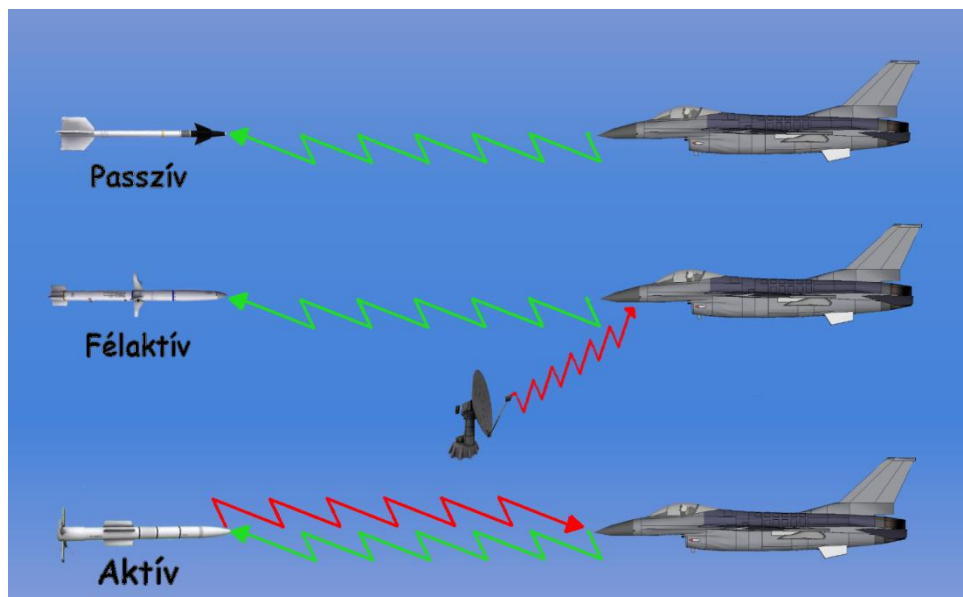
Az eddigiekből láthatjuk, hogy a közelségi gyújtók elsősorban a légvédelmi gránátokon és rakétákon válnak be. A közelségi gyújtókban a működési távolság automatikusan alkalmazkodik a cél felületéhez. Nagyobb felületű repülőgéptől tovább, kis felületű géphez pedig közelebb működik ugyanaz a beállítású közelségi gyújtó, így a célrepülőgépet érő hatásos repeszek száma nagyjából ugyanaz. A légvédelmi célra használt közelségi gyújtó működésének köszönhetően, a találati valószínűséget lényegesen 10-30-szorosára megnöveli.

Beláthatjuk, hogy a miniatúrtechnika hallatlan mértékű újabb fejlődése, a különféle félvezető eszközök elterjedése beláthatatlan jelentőségű a közelségi gyújtók szempontjából. A második világháborúban használt közelségi gyújtók miniatűr és szubminiatűr rádiócsövei probléma nélkül a kilövésakor fellépő hirtelen gyorsulást is elviselték, és beszerelhetők voltak már a közepes űrméretű légvédelmi gránátokba is. Nyilvánvaló, hogy a tranzisztorok ennél még többet tudnak és a velük készült közelségi gyújtók kiskaliberű lövedékekben is alkalmasak lehetnek. [9] [12]

2. A REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁK KÖZELSÉGI GYÚJTÓINAK RENDSZEREZÉSE

A közelségi gyújtók a cél által kisugárzott vagy a célról visszaverődő energia hatására dolgozzák ki a működtetési parancsot. Ez alapján három csoportba oszthatjuk a közelségi gyújtókat: passzív, félaktív és aktív (9. ábra)

- Passzív gyújtók: a célról érkező energiára reagálnak. Passzív működésű közelségi gyújtón csak jelfogó berendezés van, mely a célról kibocsátott valamilyen jelet veszi és azt alakítja át működtetési parancssá.
- Félaktív gyújtók: a repülőgépről vagy a földről a célra kisugárzott és arról visszaverődő jelet használják fel.
- Aktív gyújtók: saját energiaforrásukból, saját maguk állítják elő a kisugárzott energiát. Az aktív rendszerű gyújtóban egy jeladó és egy jelfogó berendezés van. Az előbbi valamilyen jelet bocsát ki magából; ez a célról visszaverődik és a jelfogóba jut. A gyújtó szerkezete összehasonlítja a kibocsátott és a visszavert jel jellemzőit, pl. intenzitását, frekvenciáját, stb. és ezzel méri, hogy a gyújtó és a cél között mekkora távolság van. Ha a visszavert jel jellemzői egy előre meghatározott értéket elérnek, (tehát a gyújtó a célnak egy előre megállapított közelségébe ér); akkor a gyújtó működteti a lövedék robbanótöltetét.

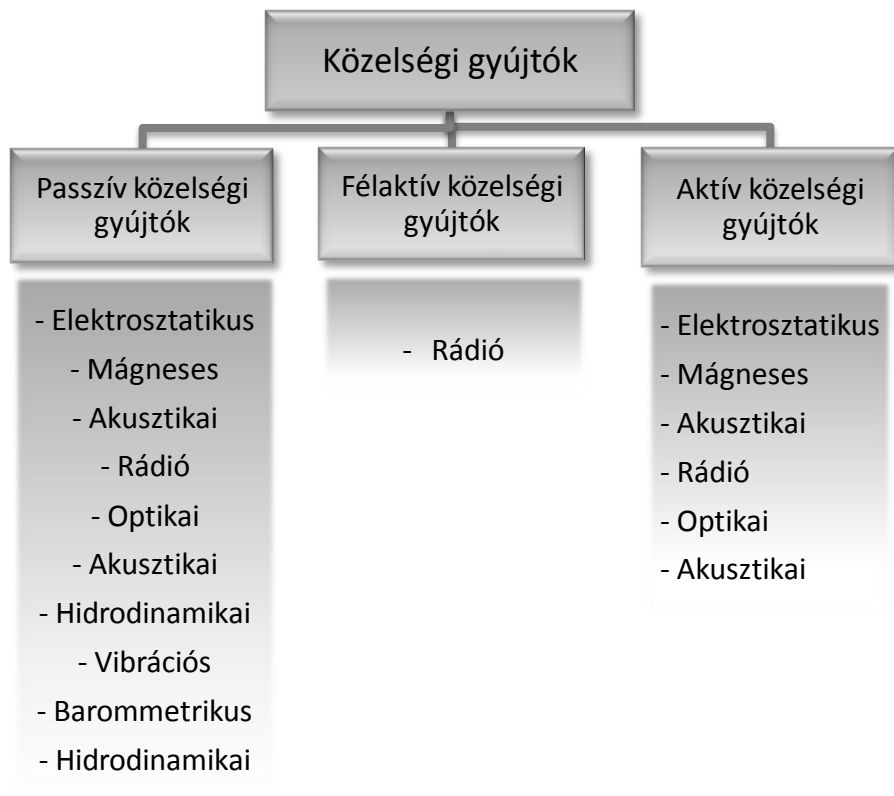


9. ábra A közelségi gyújtók csoportosítása [Nagy Norbert – MS Paint]

A közelségi gyújtó működésére különböző típusú energiát lehet felhasználni: elektromos teret; mágneses mezőt; elektromágneses mezőt, hangfrekvenciás rezgést; az atommag radioaktív energiáját stb. A felhasznált energia típusa meghatározza a gyújtó szerkezetét és tulajdonképpen ez a közelségi osztályozásának az alapelve. Ezen paraméterek alapján a közelségi gyújtókat működési elv alapján is feloszthatjuk a következőképpen:

- Elektrosztatikus közelségi gyújtók: működésük az elektrosztatikus indukció jelenségén alapul, az elektromos tér intenzitását érzékelik
- Mágneses közelségi gyújtók: a mágneses mező energiáját használják fel
- Rádió közelségi gyújtók: a rádióhullámok tartományában lévő elektromágneses energia felhasználásán alapul a működésük
- Optikai közelségi gyújtók: a célok által kisugárzott infravörös (hő-) sugarak felhasználásán alapul a működésük
- Akusztikai közelségi gyújtók: működésük a hangrezgések által keltett energián alapul
- Hidrodinamikai közelségi gyújtók: a hajók mozgásakor keletkezett víz hullámok energiáját használják fel
- Vibrációs: a talaj rezgésének energiáját használják fel, melyet előidézhethet a tankok, vonatok és más harci technika mozgása
- Barometrikus: a cél körzetének a hatására működnek el, a barometrikus gyújtók működését a cél (föld) felett lévő barometrikus nyomás határozza meg. Akkor működnek az adott magasságon, amikor a légköri nyomás a megfelelő értéket éri el.
- Hidrosztatikus: ugyancsak a cél körzetének hatására működik el. A hidrosztatikus gyújtókat a mélyvízű bombákban alkalmazzák, amikor a bombák a víz színe alatt meghatározott mélységben robbannak fel.

Ha összegezzük a közelségi gyújtók felosztását, a működési elveik szerint, akkor az alábbi felosztáshoz jutunk:

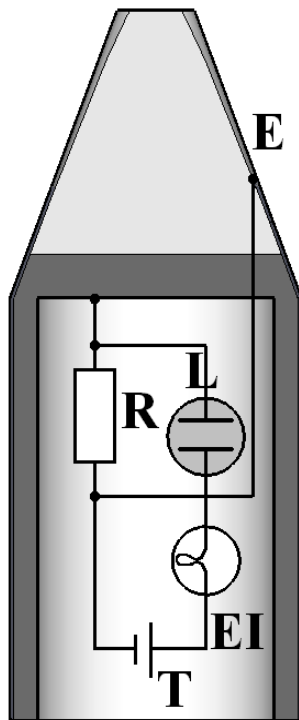


A működtetési parancsadókon kívül, a közelségi gyűjtőkben megtalálhatjuk a gyűjtőáramkört, a biztosító berendezést, önmegsemmisítő berendezést, távolsági élesítő berendezést, amelyek felépítésüket tekintve nem különböznek a csapódó vagy időzíthető gyűjtők azonos szerkezeti egységeitől. Ezeket a szerkezeti elemeket a közelségi gyűjtőkbe gyakran egy egységbe építik bele, az úgynevezett biztosító-végrehajtó szerkezetbe. [1][2]

3. A KÖZELSÉGI GYÚJTÓK MŰKÖDÉSE

3.1. Elektrosztatikus gyűjtők

Az elektrosztatikus közelségi gyűjtők lehetnek passzív vagy aktív típusúak. A passzív elektrosztatikus közelségi gyűjtők működési pillanatát a cél által létrehozott elektromos tér intenzitásának, változásának alapján határozzák meg. Az ilyen típusú gyűjtőkkel ellátott lövedékeket olyan légi célok ellen lehet felhasználni, amelyek a repülésük közben néhány ezer voltos elektromos töltésre töltődnek fel.



10. ábra
Az elektrosztatikus közelségi
gyűjtő
működési vázlata
[2] [Nagy Norbert – Google
SketchUp]

Ezek a töltések a repülőgép körül elektromos teret hoznak létre.

Az elektrosztatikus közelségi gyűjtők működése az elektrosztatikus indukció² elvén alapul. Az elektromos töltések az áramvezető testben a külső elektromos tér hatására átrendeződnek. A mi esetünkben az elektromos tér a cél elektromos tere és az áramvezető test a gyűjtő. Az elektrosztatikus közelségi gyűjtő egyszerű működési vázlata az 10. ábrán látható.

A gyűjtő szerkezete az alábbiakból áll:

- L - gáztöltésű elektroncső
- EI - elektromos gyűjtőszál vagy izzószál
- T tápforrás
- E - a gyűjtő testétől elszigetelt elektróda
- R – terhelő ellenállás

A tápforrás T feszültségét a gáztöltésű elektroncső nyitófeszültségénél kisebbre választják meg, így a

célközelítés idején az elektroncső „zár” és nem folyik áram az elektromos gyűjtőszálon keresztül.

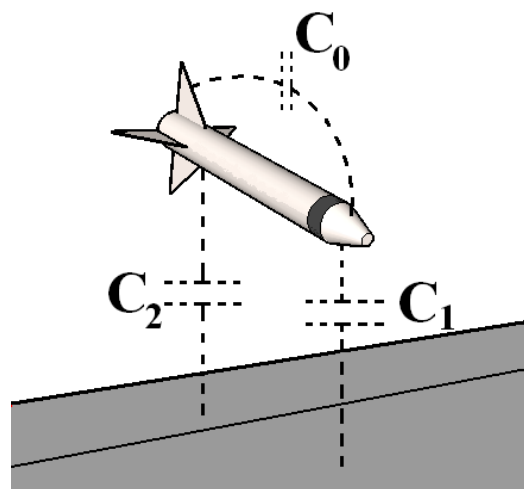
² Ha egy magányos elektromosan töltött vezető test (**A** test), előterébe nagy sebességgel beviszünk egy **B** semleges vezető testet. Mind a kettő testben léteznek pozitív és negatív elemi töltések. A **B** test felületén úgy fognak elrendeződni a különböző előjelű töltések, hogy erőterük fokozatosan megsemmisítsék az **A** test töltései által a **B** test pontjain generált villamos teret. Ez a folyamat addig folytatódik, míg a **B** test minden pontjában nullára nem csökken az elektromos térerősség. A **B** test töltései természetesen a testen kívül is létrehoznak elektromos teret, és ezért az **A** testen is megváltozik a töltéeloszlás. [15]

Amikor a lövedék (rakéta) a cél közelébe repül, annak az elektrosztatikus térerejének hatására a gyújtó teste és az elektróda között feszültségkülönbség (potenciálkülönbség) U keletkezik, amely az R ellenállásra kerül. Így az elektroncsőre kerülő feszültség értéke $T + \Delta U$ lesz. Minél közelebb ér a célhoz a gyújtó, a ΔU értéke annál nagyobb lesz. Bizonyos távolságon belül a $T + \Delta U$ értéke egyenlő lesz az elektroncső nyitó feszültségével, az elektroncső nyit és az áram el kezd folyni a tápforrástól a gyújtószálon keresztül és a gyújtó működik. Az elektrosztatikus közelségi gyújtó egyik nagy előnye szerkezetének egyszerűsége. Azonban a legfőbb hiányossága az, hogy nagyon érzékeny a természetes zavarokra, ilyen lehet akár egy elektrosztatikusan feltöltődött felhő is; ugyancsak a hiányosságai közé sorolható, hogy a működési sugara kicsi. A második világháború idején Németországban készítettek ilyen típusú gyújtót, melynek működési sugara 3-5 m volt.

Az elektrosztatikus közelségi gyújtó másik típusa a kapacitásgyújtó, amit aktív típusú elektrosztatikai gyújtónak is szoktak nevezni. A fentiektől eltérően az ilyen típusú gyújtó működése a gyújtó teste és a lövedék teste között létrejövő elektromos tér felhasználásán alapul. Ezek a gyújtók saját elektrosztatikus jelet hoznak létre, és ezt hasonlítják össze a környezettel. A gyújtó és a gyújtótól elszigetelt lövedék teste között (11. ábra) elektromos kapacitás C_0 keletkezik. A célt közelítve a kapacitás értéke változik, ennek következtében a lövedék körül levő elektromos tér megváltozik és átrendeződik.

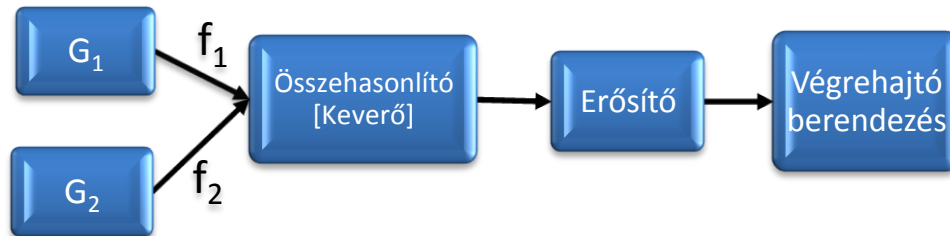
A cél közelében a lövedék és a gyújtó a céllal kiegészítő kapacitást alkot C_1 és C_2 , amelyek a C_0 kapacitáshoz viszonyítva párhuzamosan kapcsolnak. Ezért a teljes kapacitás az alábbi lesz:

$$C_{\Sigma} = C_0 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$



10. ábra Kapacitások kialakulása a gyújtó, a rakéta teste és a cél között [1]
[Nagy Norbert – Google SketchUp]

A C_1 és C_2 kapacitások értékei a közegetávolságtól függenek. Ezt a függvényt ismerve, a C_Σ kapacitás értékéből következtetni lehet a céltávolságra. A kapacitív közelségi gyújtó blokkvázlata a 12. ábrán látható.



11. ábra Kapacitív közelségi gyújtó blokkvázlata [1][Nagy Norbert – MS Paint]

A gyújtó a következő berendezésekből épül fel:

- két nagyfrekvenciás generátor, G_1 , G_2
- keverő
- alacsonyfrekvenciás erősítő
- végrehajtó berendezés

A G_1 generátor által kibocsátott frekvencia f_1 stabilizált, míg G_2 generátor f_2 frekvenciáját a rezgőkör paraméterei határozzák meg, melyben a C_Σ is megtalálható. A generátorok frekvenciái az összehasonlítóba, vagy más néven a keverőbe kerülnek. A keverő meghatározza a különbségi frekvenciát $F = f_1 - f_2$. Ezt a frekvenciát fogja az erősítő felerősíteni, és a felerősített jelet a végrehajtó berendezésbe továbbítani. A végrehajtó berendezés akkor kezd működni, amikor az erősítő kimenetén a jel meghatározott F_0 értéket ér el.

Az erősítő szűrőjének frekvencia áteresztő sávját nagyon keskenyre hangolják és ezért csak azokat a frekvenciákat képes felerősíteni, amelyek közel vannak az F_0 értékéhez. A gyújtó áramkörének a szabályozásakor az f_1 és f_2 frekvenciákat úgy kell megválasztani, hogy a különbségük ne essen bele az erősítő áteresztő sávjába.

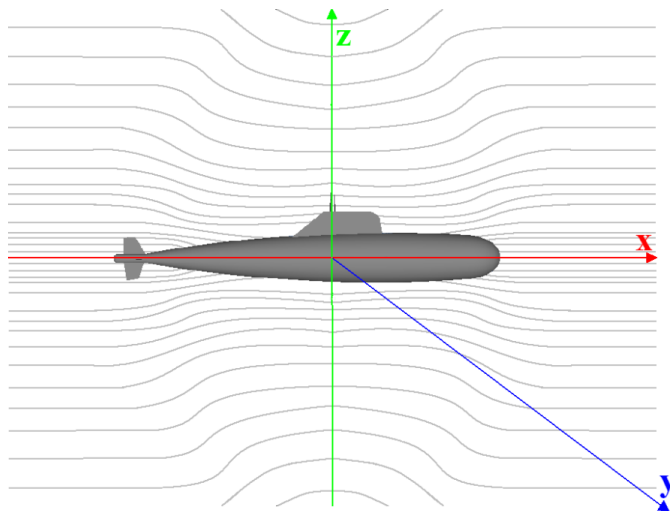
Minél közelebb kerül a rakéta a célhoz, a C_Σ kapacitás annál inkább növekszik, minek következtében a G_2 frekvenciája f_2 csökken, ennek következményeként változik F frekvencia különbség is. Mihelyt az F értéke megközelíti az F_0 értékét a keverő által felerősített jel működésbe hozza a gyújtót.

A kapacitás közelségi gyújtó egyetlen hiányossága az, hogy nagyon kicsi a működési sugara.[1][2]

3.2. Mágneses gyűjtők

A mágneses közelségi gyűjtők működési elve azon alapul, hogy a ferromágneses³ tulajdonsággal rendelkező cél bármely tartózkodási helyén deformálja a Föld mágneses mezejét. Azoknak a területeknek a határain belül, amelyekben a lövedékek repülnek a Föld mágneses mezejét egyneműnek tekinthetjük, vagyis a mágneses erővonalak egymással párhuzamosak. A ferromágneses célok (hajók, repülőgépek, tankok stb.) közelében a Föld mágneses mezejének egyneműsége felbomlik.

A mágneses mező erővonalai, mint ahogy a 13. ábrán látni lehet a cél felé közeledvén egyre sűrűbben helyezkednek el. A ferromágneses tulajdonsággal rendelkező testek mágneses vezetőképessége sokkal nagyobb, mint a levegőé, ezért a Föld mágneses mezejének hatására a cél körül saját mágneses mező keletkezik. A cél mágneses mezőjének térerőssége a Föld mágnes mező térerejével teljesen különböző és összehasonlítható.



13. ábra A mágneses erővonalak változása a cél körül [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ezt fel lehet használni a mágneses közelségi gyűjtő működési pillanatának a meghatározására azáltal, hogy a cél mágneses térerősségét, vagy a lövedék relatív

³ Ferromágneses anyagok (pl. vas, nikkelt, kobalt, gadolínium, diszprózium és sok ötvözet) tulajdonsága, a mágneses atomi részecskék hosszú távú rendeződésének következménye.

Ha az anyagot körülvevő elektromos tekercessel H mágneses teret hozunk létre, akkor a ferromágneses anyagokban igen nagy B mágneses indukció keletkezik. Ez a mező a külső tér megszüntetése után is fennmaradhat. Ekkor állandó mágnes jön létre.[11]

mozgása esetén a mágneses mező változásának sebességét összehasonlítjuk a Föld mágneses mezőjével.

Ennek megfelelően a mágneses gyűjtőket feloszthatjuk a következőkre:

- statikus mágneses közelségi gyűjtők
- dinamikus mágneses közelségi gyűjtők

3.2.1. Statikus mágneses közelségi gyűjtők

Azokat a mágneses közelségi gyűjtőket, amelyek a mágneses mező térerősségére reagálnak, már az első világháború idején is alkalmazták a tengeri aknáknál. Ezekben a gyűjtőkben az adó egy iránytű volt, amely akkor zárta a robbantó áramkört, hogyha az akna közelébe egy hajó érkezett és eltérítette az iránytűt.

A statikus mágneses gyűjtők legfőbb hiányossága az, hogy szerkezetük bonyolult és zavarérzékenyek. Az akna lerakási helyén a Föld mágneses mezejét kompenzálni kell és ezt csak nagy bonyolultságú szerkezeti egységekkel lehet elérni. Azonban a gyűjtő működésére az ilyen kialakítás mellett is nagy hatást gyakorolnak a mágneses viharok, amelyek kiválthatják a gyűjtő időelőtti működését. A mágneses viharok ellen csak úgy lehet védekezni, hogy a gyűjtő érzékenységet csökkentjük, ami azt eredményezi, hogy lecsökken a gyűjtő működési sugara.[1][2]

3.2.2. Dinamikus mágneses közelségi gyűjtők

A dinamikus mágneses gyűjtők - indukciós gyűjtőknek is szokták nevezni - a mágneses tér változásának hatására működnek. Az adó szerepét induktív tekercsek töltik be. Amikor a rakéta a célhoz viszonyítva mozog, a tekercs átszeli az időben változó mágneses erőteret, és ezért a tekercsben feszültség indukálódik. Az indukált feszültség egyenlő:

$$U = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.1)$$

ahol: n - a tekercs menetének száma

Φ - mágneses fluxus.

A fluxust az alábbi kifejezés határozza meg:

$$\Phi = \mu \cdot H \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (3.2)$$

ahol: μ - a tekercs vasmagjának mágneses permeabilitása

H - mágneses térerősség

S - a tekercs menetének területe

α - a tekercs normálisa és a térerő vektora közötti szög

A mágneses tér térerősség vektorát az 0xyz (13. ábra) derékszögű koordináta rendszerben található három mágneses térerősségi összetevő ($\bar{H}_x$, $\bar{H}_y$, $\bar{H}_z$) képeiben adják meg. Ha feltételezzük, hogy a lövedék mozgásakor a tekercs hossztengegye párhuzamos marad a z tengellyel, akkor az indukált feszültség létrehozására a mágneses térnek csak a függőleges összetevője $\bar{H}_z$ lesz felhasználva. Ilyen sajátos helyzet akkor alakul ki, mikor egy tengeralattjáró elhárító bomba függőlegesen mozog az álló helyzetben lévő tengeralattjáró mellett. Ekkor a tekercs tengelye egybeesik a bomba tengelyével vagy azzal párhuzamos.

Általános esetben az indukált feszültség létrehozásában a mágneses tér mind a három összetevője részt vesz. Ha csak a függőleges összetevőt használjuk fel akkor az (3.2) képletet az alábbi formában lehet felírni:

$$\phi = \mu \cdot H_z \cdot S \quad (3.3)$$

Helyettesítsük be a Φ értékét a 3.3 egyenletből a 3.1-be, és azt kapjuk, hogy:

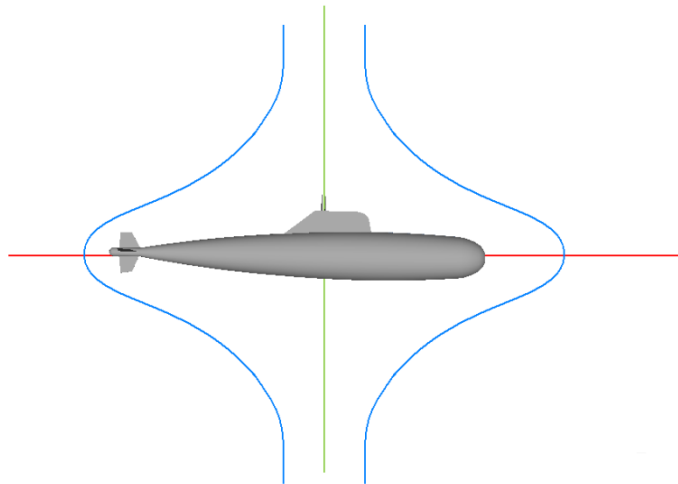
$$U = -k \frac{dH_z}{dt} \quad (3.4)$$

ahol: $k = n \cdot \mu \cdot S$

Ha a bomba sebességét a vízben „ v ”-vel jelöljük, akkor az (3.4) egyenletet az alábbi formában kapjuk;

$$U = -k \frac{dH_z}{dt} \cdot \frac{dz}{dt} = -kv \frac{dH_z}{dt} \quad (3.5)$$

Az 3.5 kifejezésből következik, hogy a bomba függőleges mozgásakor a tengeralattjáró közelében, a tekercsben indukált feszültség arányos a bomba sebességével és a mágneses tér változásának sebességével a z tengely mentén. A tengeralattjáró mágneses tér függőleges összetevőjének változási görbéje (14. ábra) egy harang alakú jelhez hasonlít.



14. ábra A mágneses tér függőleges összetevőjének változási görbéje [2]
[Nagy Norbert . Google SketchUp]

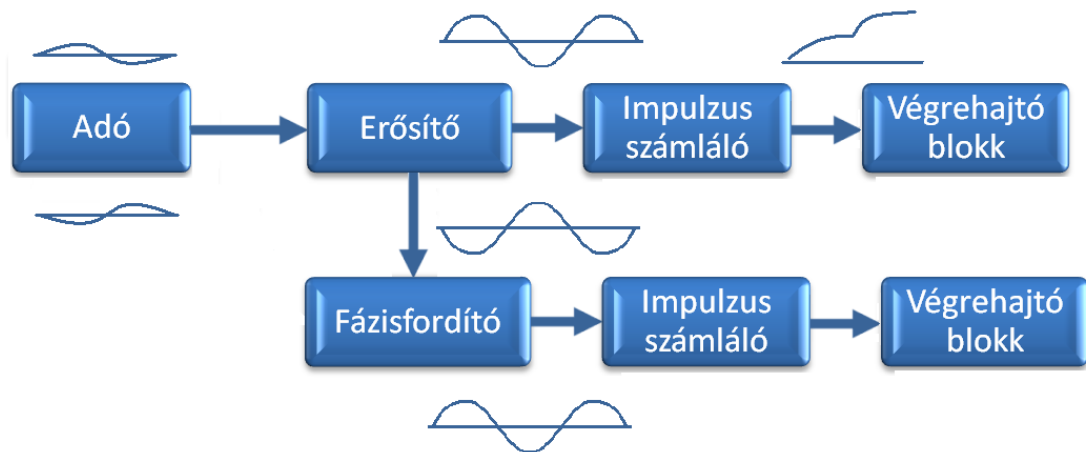
A $\bar{H}_z$ ilyen jellegű változásakor, mint ahogy az 3.5 képletből is következik, a tekercsben kétimpulzusú jel fog indukálódni. Az első jel előjele a mágneses tér fluxusának előjelétől függ és lehet pozitív vagy negatív. A jel hosszúsága, időtartama függ attól a távolságtól, amennyire a bomba a tengeralattjárótól elhalad és a bomba sebességétől. Reális körülmények között a jel hosszúsága a másodperc tört részétől néhány másodpercig tarthat. A kétimpulzusú jel ilyen hosszúsággal szinuszos indukált feszültségnek felel meg, melynek frekvenciája a $\bar{H}_z$ tört részétől néhány $\bar{H}_z$ -ig terjedhet. Egy egyszerű indukciós közelségi gyújtó blokk-sémáját láthatjuk a 15. ábrán, amely alkalmas a tengeralattjáró elhárító bomba felrobbantására.



12. ábra Indukciós közelségi gyújtó blokk-sémája [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

Az adón kívül alacsonyfrekvenciás erősítőt és végrehajtó berendezést is tartalmaz az ábra. A végrehajtó berendezés működéséhez az erősítő pozitív jele szükséges. Azok a gyújtók, amelyek egyetlen impulzus hatására működnek, nem rendelkeznek nagy zavarérzékenységgel. A zavarvédetség növelését úgy lehet elérni, hogy a kétimpulzusú jelet átalakítják háromimpulzusúvá és a gyújtó szerkezetébe

egy kiegészítő blokkot - impulzus számlálót is beépítenek. Az impulzus számlálóval ellátott elektrosztatikus gyújtó blokksémája az 16. ábrán látható.



16. ábra Elektrosztatikus gyújtó blokksémája [2][Nagy Norbert – MS Paint]

Az erősítő a kétimpulzusú jel felerősítésén kívül végrehajtja a jel háromimpulzusú jellé való átalakítását is, amely az erősítő kimenetéről a két csatornás végrehajtó fokozatra jut. A kétimpulzusú jel átalakítását háromimpulzusúvá, az erősítő végzi. A jel az erősítő kimenetéről a kétcsatornás végrehajtó berendezésbe kerül. A végrehajtó fokozat elé beépített impulzusszámlálók alakítják ki a működéshez szükséges feszültséget. Az első végrehajtó fokozat akkor lép működésbe, amikor az erősítő kimenetén két pozitív és egy negatív impulzus jelenik meg. A második végrehajtó fokozat akkor lép működésbe, amikor ez a jel egy pozitív és két negatív impulzusból áll. Az erősítő és a második végrehajtó blokk közé fázisfordító van bekötve, mely a jel fázisát 180°-ra változtatja meg és ilyen módon két negatív impulzusú jellé alakítja át.

. A mágneses gyújtók általános hiányossága az, hogy ellenük nagy sikerrel lehet védekezni úgy, hogy speciális berendezésekkel lecsökkentik a cél mágneses erőterének intenzitását és ez által a gyújtó működtetése nem következik be.[1][2]

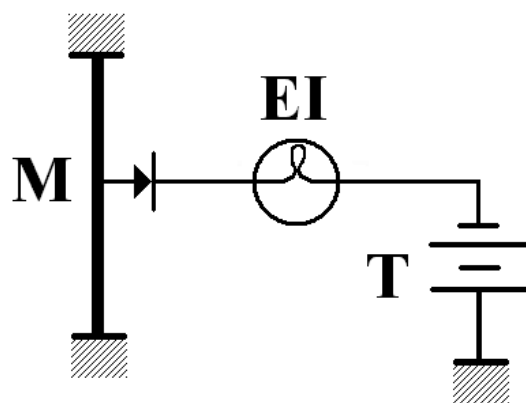
3.3. Akusztikai gyújtók

Amint a közelségi gyújtók kialakulásának bemutatásában említettem a passzív típusú akusztikai gyújtók azok voltak az első közelségi gyújtó típusok, amelyeket megpróbáltak felhasználni repülőgép fedélzeti fegyverek felrobbantására a légi

célokra végrehajtott lövéskor. Függetlenül attól a tényről, hogy felépítésük igen egyszerű, a gyakorlatban mégsem kerültek felhasználásra, ez azzal magyarázható, hogy igen érzékenyek a külső zavarokra. A hangnyomásra érzékeny akusztikai adók – melyekben rugalmas membránokat, kristályos mikrofonokat alkalmaztak – igen érzékenyek a lőszeres robbanásaira, valamint a lövedék röppályájának megtevéle közben fellépő rezgésekre és vibrációkra. Illetve az akusztikai gyűjtők másik hátránya, hogy a hangsebesség feletti repülés esetén nem alkalmazhatók.

Az akusztikai gyűjtőknél beszélhetünk aktív illetve passzív típusú gyűjtőkről. A membránadóval és a mikrofon adóval rendelkező gyűjtőket sorolhatjuk a passzív típusúak közé.

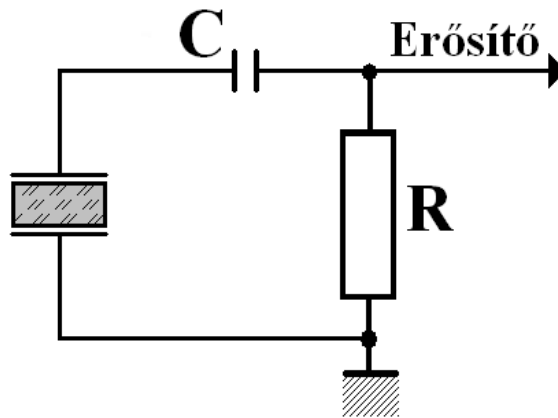
A 17. ábrán membránadóval ellátott gyűjtő kapcsolási vázlata látható. A membrán **M** a lövedék fejrésében helyezkedett el. A membrán közepére egy érintkezőt helyeztek el, az áramkör csak akkor záródott, hogyha az érintkező és a hangrezgésektől egyre jobban kilendülő membrán összeért. A cél hangfrekvenciája csak egy bizonyos távolságon belül volt olyan erős, hogy a membránt hozzáérintse az érintkezőhöz – ez általában 7 méter volt. Ebben az esetben záródott az áramkör a tápforrásból (**T**) elkezdett folyni az áram és az elektromos izzószálon (**EI**) keresztül és a gyűjtő működésbe lépett.



17. ábra Membránadós akusztikai gyűjtő kapcsolási vázlata [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

A mikrofon adóval ellátott gyűjtő elvi vázlata az 18. ábrán látható. Az adó fő része egy piezoelektromos tulajdonságokkal rendelkező lemez volt. Ez a lemez felfogta a hangnyomást és átalakította szinuszos elektromos jellé, mely a **C** kondenzátoron keresztül az erősítő bemenetén levő **R** ellenállásra kerül. A kondenzátor

megakadályozza, hogy az állandó feszültség, melyet a levegő torlónyomása hoz létre, az erősítő bemenetére kerüljön. Az erősítőbe érkezett megfelelő nagyságú jelek hatására elműködött a gyújtó. A német "Meise" gyújtó szerkezete is így volt kialakítva, melynek a repülőgépek elleni alkalmazásakor a működési távolsága 15 m volt.

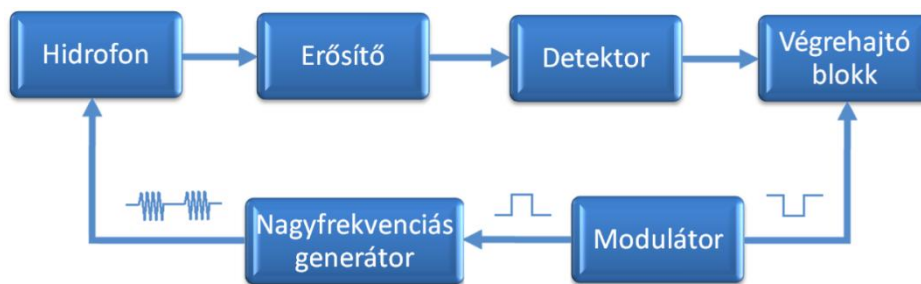


18. ábra Mikrofon adóval ellátott gyújtó kapcsolási vázlat [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

Az aktív típusú akusztikai gyújtók saját hangrezgésadóval rendelkeznek. Az ilyen típusú gyújtók egyik jellemzője, hogy nem lehet őket hangsebesség felett repülő lövedékekben alkalmazni. Éppen ezért a víz alatti eszközökön kerül alkalmazásra, ahol a hang terjedési sebessége ($c = 1450 \text{ m/s}$) sokkal nagyobb a lövedék (bomba, torpedó) mozgási sebességétől. A hang sebessége a levegőben ($c = 340 \text{ m/s}$) jelentősen kisebb, mint a vízben és ez nem haladja meg a lövedékek többségének a sebességét.

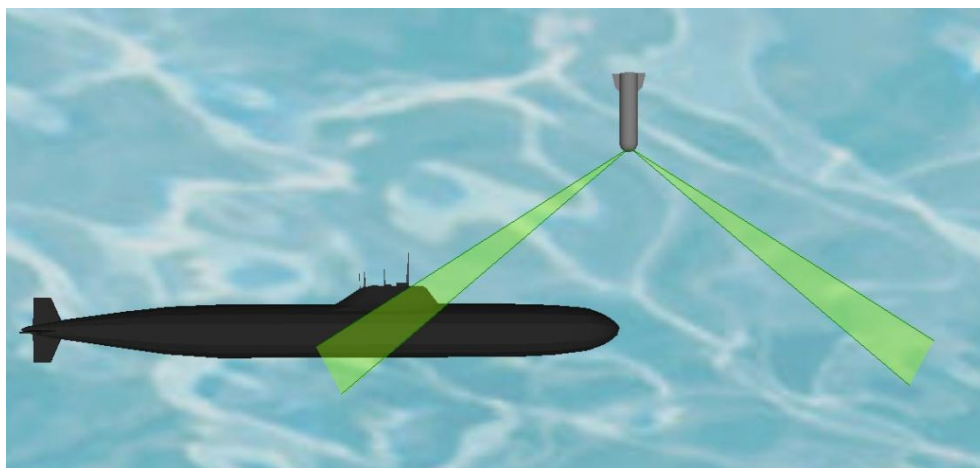
Az ilyen típusú gyújtókat a légierőben a hajók elleni lövedékekben (bombákban, torpedókban), ultrahangos kisugárzással lehet alkalmazni. Az ultrahangos frekvencia tartomány - a rezgés frekvenciája nagyobb, mint 20 MHz - használata azért indokolt, mert így a sugárzást irányítani tudjuk, még kisméretű kisugárzók esetében is. Az ultrahangok alkalmazásával rendkívül rövid hanghullámokat lehet kapni. Például a vízben a 20 MHz -es ultrahang hullámhossza⁴ $7,25 \text{ cm}$, míg 150 MHz -es frekvenciánál $0,96 \text{ cm}$. Az ultrahangos közelségi gyújtókat felhasználhatók a robbanási pillanat meghatározására a hidrolokációs módszerrel megfigyelt tengeralattjárók esetében. A hidrolokációs elven működő gyújtó blokkvázlat az 19. ábrán látható.

⁴ A λ hullámhosszt megkapjuk, ha a hullám sebességét (c) elosztjuk a frekvenciával, $\lambda = \frac{c}{f}$ [16]



19. ábra Hidrolokációs gyűjtő blokkvázlata [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

A nagyfrekvenciás generátor állandó amplitúdójú ultrahang frekvenciás elektromos rezgéseket állít elő. A generátor működését a modulátor irányítja, mely a generátor kimenő jelének impulzus modulációját végzi. A generátor üzemelését egy modulátor végzi, amely végrehajtja a gerjesztett rezgések impulzus modulációját. Az impulzus modulált jelek a hidrofonba kerülnek, mely átalakítja ezeket a jeleket ultrahangos rezgésekké és kisugározza a vízbe. A hidrofon piezoelektromos tulajdonsággal rendelkező anyagból készül. A hidrofon formája és mérete meghatározza a kisugárzás iránykarakterisztikáját, amely a hajók elleni lövedékek közelségi gyűjtője körkörös látószöggel kell rendelkeznie (20. ábra).



20. ábra Hajó elleni lövedékek közelségi gyűjtőjének körkörös látószöge [2]

[Nagy Norbert – Google Sketchup]

Ennek a követelménynek két kúpos felülettel határolt iránykarakterisztika tesz eleget, melyek csúcsából történik a kisugárzás és a tengelyük a bomba hossztengele. Ha a tengeralattjáró a hidrofon sugárzási zónájába kerül, akkor az ultrahang impulzusok visszaverődnek a tengeralattjáróról. A bomba és a tengeralattjáró közötti működési távolságon a visszaverődő impulzusok a generátor impulzusainak

a szünetében érkeznek a hidrofonra. Ezeket az ultrahang impulzusokat a hidrofon átalakítja elektromos jellé, amelyek felerősítés és egyenirányítás után közvetlenül a végrehajtó fokozatra kerülnek. A zavarvédetség fokozásának érdekében a végrehajtó blokk elé impulzusszámlálót lehet kötni, minek következtében a gyújtó csak akkor működik, ha megfelelő számú impulzus kerül a végrehajtó blokk bemenetére. A végrehajtó blokk bemenetére a modulátorról negatív előjelű impulzusok kerülnek, amelyek megóvják a gyújtót a generátor által keltett és az erősítőn keresztül bejutott impulzusok hatásától.[1][2]

3.4. Rádiógyújtók

A rádió közelségi gyújtók működési pillanatának meghatározása rádióhullámok tartományában lévő elektromágneses energia felhasználásán alapul. A rakétákban a leggyakrabban aktív rádiógyújtókat alkalmaznak, de előfordulhatnak még félaktív és passzív gyújtók is.

A rádiógyújtóknak a visszavert jel vételi és átalakítási módja szerint két csoportra lehet felosztani, heterodin és autodin.

A heterodin rádiógyújtókban az adónak két elkülönített antennája van. Az egyik antenna a kisugárzást végzi, a másik pedig a vételt biztosítja. A visszavert jel átalakítása a keverőben megy végbe, ahová a heterodin feszültséget a kisugárzási teljesítmény egy része biztosítja. A heterodin gyújtók előnye, hogy a vevő bemenetén jelentősen csökkenthető a zaj, mivel a vevőt leválasztjuk az adó csatornájáról.

Az autodin rádiógyújtókat egyszerű szerkezeti felépítésük, kis méretük miatt kisebb űrméretű lőszerknél alkalmazzák. Az autodin kapcsolású rádiógyújtók hátránya, hogy a működési távolságuk korlátozott.

A rádiógyújtókat feloszthatjuk működési elvük alapján Doppler-elvű, Doppler-elvű frekvenciamodulált, impulzus és impulzus-Doppler rádiógyújtókra. [1][2]

3.4.1. A Doppler-rádiógyűjtők

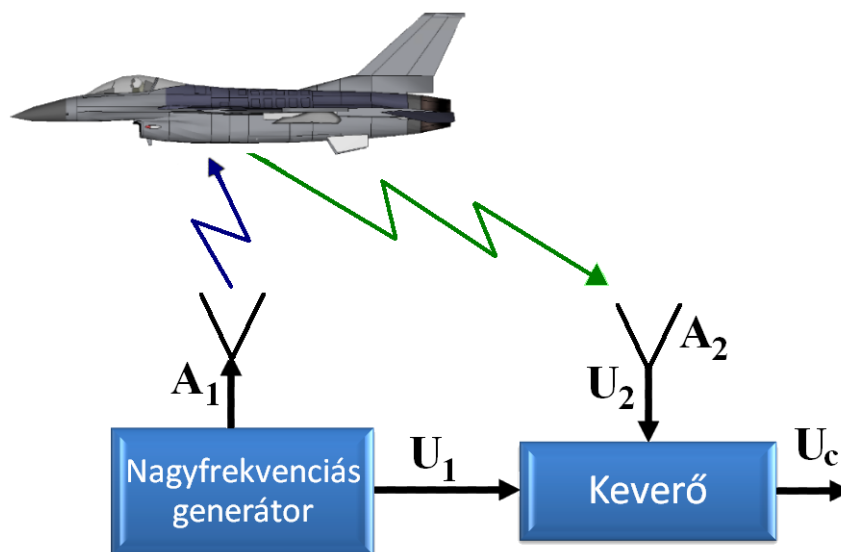
Azok a rádiógyűjtők, amelyek a vezérlő jel kiválasztásához a Doppler-elvet használják fel. A Doppler-elvű gyűjtők egyik sajátossága, hogy a gyűjtő adója folyamatosan nagyfrekvenciás jelet sugároz ki, állandó amplitúdóval és frekvenciával.

21. ábrán egy heterodin típusú Doppler-rádiógyűjtő működési blokk-sémája látható. A nagyfrekvenciás generátor állandó amplitúdójú nagyfrekvenciás jelet állít elő. Ez a jel az A_1 adó antennára kerül, amely kisugározza a rádióhullámokat. A rádióhullámok, miután elérték a célt, visszaverődnek, és az A_2 vevő antennára kerülnek. A visszavert hullámok a vevő antennában feszültséget indukálnak, mely feszültség a generátor feszültségének egy részével együtt a keverő blokkba kerül.

Ilyen módon, ha a cél az adó antenna kisugárzási zónájába kerül, a keverőben két jel fog megjelenni:

u_1 - a generátortól kerül a keverőbe

u_2 - a célról visszaverődött jel



21. ábra Heterodin Doppler-rádiógyűjtő működési blokk-sémája [2]
[Nagy Norbert –Google SketchUp, MS Paint]

A generátortól jövő jelet az alábbi formában lehet felírni:

$$u_1 = u_{1m} \cos \omega_1 t \quad (3.1.)$$

ahol: u_{1m} - a jel amplitúdója
 ω_1 - a jel körfrekvenciája

A visszavert jel amplitúdója és a körfrekvenciája is különbözik a generátor által előállított jeltől. A rádióhullámok szóródása miatt a visszavert jel amplitúdója sokkal kisebb, ennek nagysága a céltávolságtól függ. A visszavert jel körfrekvenciája a kisugárzott jel fázisához viszonyítva τ idővel késik. A τ idő a rádiójelnek a kisugárzási ponttól a célig és a céltól a vevő antennáig megtett útját jellemzi. Ezek szerint a visszavert jelet az alábbi módon írhatjuk fel:

$$u_2 = u_{2m} \cos \omega_1 / t - \tau / \quad (3.2)$$

ahol:

$$\tau = \frac{2D}{c}$$

D - céltávolság

c - a rádióhullámok terjedési sebessége, amely általában 300000 km/s

A visszavert jel körfrekvenciája:

$$\omega_2 = \frac{d}{dt} (\omega_1 (t - \tau)) = \omega_1 - \omega_1 \frac{d\tau}{dt} \quad (3.3)$$

Mivel a $\tau = \frac{2D}{c}$, úgy

$\omega_2 = \omega_1 - \frac{2\omega_1}{c} \frac{dD}{dt}$, ahol a $\frac{dD}{dt}$ - a rádiógyújtó és acél megközelítési sebessége.

A 3.3 képletből látható, hogy a visszavert jel ω_2 frekvenciája az ω_1 frekvenciától a következő értékben tér el:

$$\Omega = \frac{2\omega_1}{c} \left[\frac{dD}{dt} \right] \quad (3.4)$$

Ezt az eltérési frekvenciát Doppler-frekvenciának nevezzük. A cél megközelítésekor $\frac{dD}{dt} < 0$ és mint ez a 3.3 képletből is következik $\omega_2 > \omega_1$. A visszavert jelek frekvenciaváltozásának jelenségét, amely a cél és a rádiógyújtó viszonylagos mozgásából adódik a fizikában Doppler jelenségnek nevezzük.

A keverőben az u_1 és u_2 jelek összegződnek. Az eredő jel változásának törvényszerűségét az alábbiak alapján határozhatjuk meg.

$$u = u_1 + u_2 \quad (3.5)$$

A 3.1 és 3.2 kifejezések segítségével felírható:

$$u = u_{1m} \cos \omega_1 t + u_{2m} \cos \omega_1 / t - \tau / \quad (3.6)$$

Ezt a képletet a következő formában is felírhatjuk:

$$u = (u_{1m} + u_{2m} \cos \omega_1 \tau) \cos \omega_1 t + (u_{2m} \sin \omega_1 \tau) \sin \omega_1 t \quad (3.7)$$

Iktassunk be kisegítő jelöléseket:

$$A = u_{1m} + u_{2m} \cos \omega_1 \tau, B = u_{2m} \sin \omega_1 \tau$$

$$\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} = \cos \Psi \quad \frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}} = \sin \Psi \quad (3.8)$$

Ha a 3.7 képlet jobb oldalát beszorozzuk és elosztjuk $\sqrt{A^2+B^2}$ értékkel, és figyelembe véve a bevezetett jelöléseket, a 3.7 képlet a következő formát veszi fel. Ezek alapján felírhatjuk:

$$u = \sqrt{A^2+B^2} \cos(\omega_1 t - \Psi) \quad (3.9)$$

ahol: $\Psi = \arctg \frac{B}{A}$

Behelyettesítve a 3.9 egyenletbe A és B értékeit

$$u = \sqrt{A^2+B^2} \cos(\omega_1 t - \Psi) = \sqrt{(u_{1m} + u_{2m} \cos \omega_1 \tau)^2 + u_{2m}^2 \sin^2 \omega_1 \tau} = u_{1m} \sqrt{1 + 2 \frac{u_{2m}}{u_{1m}} \cos \omega_1 \tau + \left(\frac{u_{2m}}{u_{1m}}\right)^2} \cos(\omega_1 t - \Psi) \quad (3.10)$$

Figyelembe véve, hogy $\frac{u_{2m}}{u_{1m}} \ll 1$, a 3.10 kifejezést egyszerűsíteni lehet, helyettesítve a négyzetgyököt az első két tagjával

$$u = u_{1m} \left(1 + 2 \frac{u_{2m}}{u_{1m}} \cos \omega_1 \tau\right) \cos(\omega_1 \tau - \Psi) \quad (3.11)$$

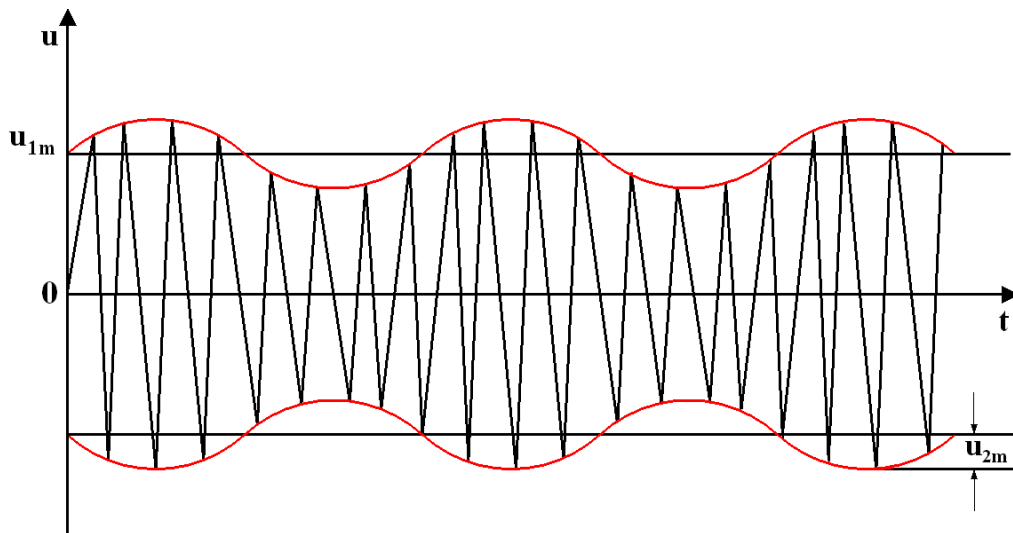
A fenti kifejezésből következik, hogy az eredő jel a keverőben olyan nagyfrekvenciás feszültség (22. ábra), amely amplitúdóban $\cos \omega_1 \tau$ függvény frekvenciája $\Omega = \frac{d}{dt}(\omega_1 \tau)$ lesz egyenlő, amely a Doppler-frekvenciával egyenlő. A keverő

kimenetén ennek a feszültségnek megjelenik a burkológörbéje, amely a gyújtó számára parancs jelként szolgál:

$$e = E \cos \omega_1 \quad (3.12)$$

ahol $E = k_c$ – állandó tényező, amely a keverő paraméterie jellemző

u_{2m} – a működtető jel amplitúdója



13. ábra A keverőben megjelenő Doppler-frekvencia [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

A működtető jel jel amplitúdója arányos a visszavert jel amplitúdójával és ebből következően a cél távolsággal. A Doppler-rádiógyújtó működtető jelje tartalmazza a céltávolság és a cél megközelítésének sebességének az információit is. A gyújtó erősítője után általában egy impulzusszámláló áramkört csatolnak, amely csak akkor fog működési jelet adni a rádiógyújtó beindítására, hogyha a számláló egy bizonyos feszültség értéket elér. Ezek az egységek a rádiógyújtó működésének késleltetését biztosítják, hogy a célhoz viszonyítva nagyjából optimális helyzetben robbanjon a harcírész.

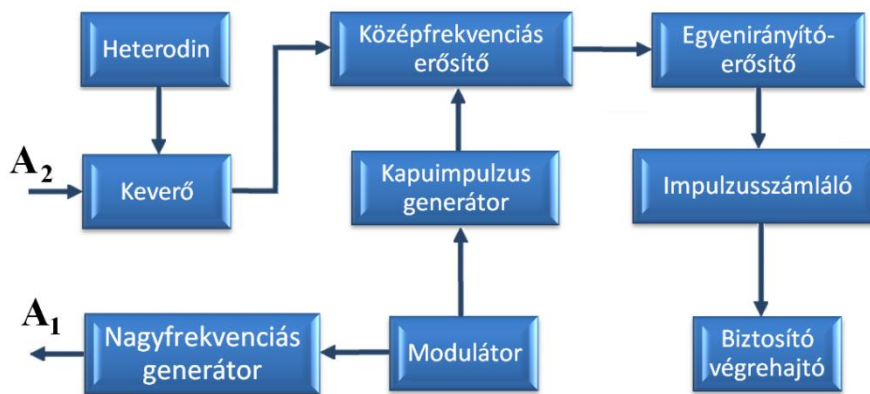
A frekvenciamodulált rádiógyújtók működése azon alapszik, hogy az adójuk frekvenciamodulált nagyfrekvenciás rezgéseket sugároznak ki. Működésük annyiban tér el a Doppler-rádiógyújtóktól, hogy a nagyfrekvenciás generátorban egy kiegészítő egység van beépítve, a frekvencia modulátor; amely elvégzi az adófrekvencia modulálását. [1][2]

3.4.2 Az impulzus és az impulzus-Doppler rádiógyűjtők

Az impulzus rádiógyűjtőket működési elvüket tekintve az impulzus üzemmódban működő rádiolokátorok működéséhez hasonlíthatjuk, amelyek különböző objektumok távolságmérésére alkalmasak.

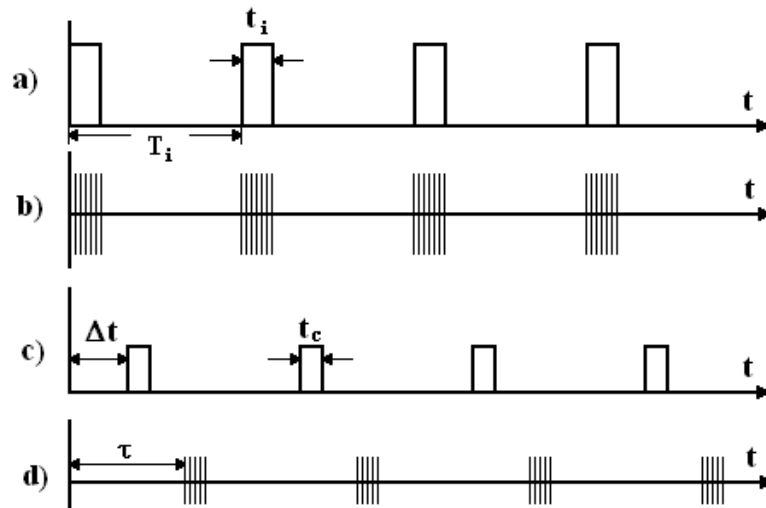
3.4.2.1. Impulzus rádiógyűjtő

A 23. ábrán egy olyan heterodin típusú impulzus rádiógyűjtő működési vázlata látható, amely a céltól egy meghatározott távolságra lép működésbe.



14. ábra Heterodin impulzus rádiógyűjtő működési vázlata [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

A rádiógyűjtőben megtalálható egy modulátor, nagy frekvenciás generátor és az A_1 , A_2 antenna. A modulátor egy előre meghatározott t_i időtartamú négyszög impulzust formál (24. „a” ábra), T_i ismétlési periódussal (24. „b” ábra), amelyet a négyszög impulzusok a generátor nagyfrekvenciás rezgéseinek az impulzus modulációjára használnak fel. A modulátor egy időben végzi a kapuimpulzus vezérlését is, amely a modulátor hatására előállítja a kapuimpulzusokat (24. „c” ábra). Ezek a kapuimpulzusok a modulátorimpulzusokhoz képest Δt idővel el vannak tolva, amelyek a középfrekvenciás erősítőbe jutnak. A visszavert impulzusok (24. „d” ábra) a kisugárzott impulzusokhoz képest egy τ idővel késleltetve érkeznek vissza a célról, ezek a keverőn keresztül ugyancsak a középfrekvenciás keverőbe jutnak. A T_i modulálási impulzust úgy választják meg, hogy a visszavert jel olyan céltávolság esetén érkezzen be, amely távolságon a visszavert jel megkülönböztethető a háttérzajtól és két egymást követő kisugárzott impulzus szünetében érkezzen be.



24. ábra

- a) Moduláló impulzusok
 - b) Kisugárzott impulzusok
 - c) Kapuimpulzusok
 - d) Visszavert impulzusok
- [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

A kapuimpulzusok közötti szünet periódusaiban az erősítő lezár, és csak a kapuimpulzus idejére nyit. Ebből következően, ha a visszavert impulzus késési ideje $\tau > \Delta$, az erősítő kimenetén nem fog megjelenni jel. Minél közelebb kerül a rakéta a célhoz, a τ idő annál kisebb lesz. Ha a céltól egy meghatározott D távolságra kerül a rakéta, a visszavert impulzus a kapuimpulzus működési idejének periódusában fog beérkezni és ennek következtében az erősítőre fog jutni. A középfrekvenciás erősítő felerősíti az impulzust, és az erősítő által kibocsátott felerősített jel lesz a vezérlőimpulzus, amely egyen-irányítás és erősítés után a rádiógyűjtő végrehajtó fokozatára jut. A gyűjtő zavarvédeltségének fokozására a végrehajtó berendezés és az egyenirányító-erősítő blokk közé egy impulzusszámlálót szoktak beépíteni, amely a beérkező impulzusok számával arányosan feszültséget hoz létre. Amikor $\tau \gg t_i$ és t_c kapuimpulzusnál, a rádiógyűjtő működési távolságát az

$$\tau = \frac{2D_0}{c} = \Delta t \text{ ebből következik, hogy } D_0 = \frac{c \cdot \Delta t}{2}.$$

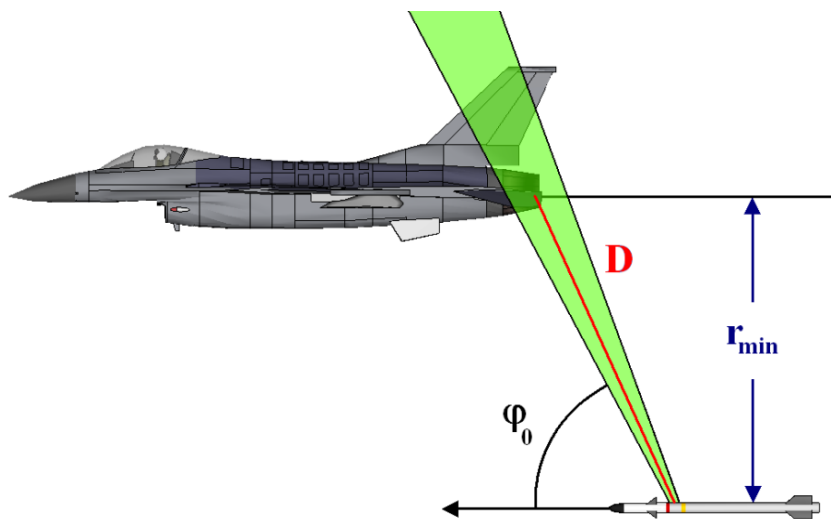
Az impulzus gyűjtők egyik hátránya, hogy fenn áll annak az esélye, hogy a kisugárzott impulzusok beszivároghatnak a keverőbe, és ha ezek egybeesnek a kapuimpulzusokkal, akkor előidézhetik a gyűjtő idő előtti elműködését. Ez abban az esetben következhet be, hogyha a vevő és adó antennák nincsenek kellő mértékben szétválasztva.

A t_i időtartamú beszivárgott impulzusok hatását ki lehet szűrni, abban az esetben, hogyha a kapuimpulzusok Δt késleltetési ideje nagyobb, vagy egyenlő t_i impulzus idővel. A tölcsér alakú antenna iránydiagrammal és $\Delta t \geq t_i$ idővel késleltetett kapuimpulzussal rendelkező rádiógyújtó úgynevezett holtérrel fog rendelkezni (25. ábra). A holtér sugara $\Delta t = t_i$ esetében a következővel lesz egyenlő:

$$r_{\min} = \frac{ct_i}{2} \sin \varphi_0 \quad (3.13)$$

ahol φ_0 - a rakéta tengelye és az antenna iránydiagramm maximuma által bezárt szög.

Az $r_{\min}$ érték csökkentésének érdekében a t_i kisugárzott impulzus időtartamát a lehető legkisebb értékre kell lecsökkenteni. A t_i impulzus idő csökkentésével a rádiógyújtó zavarvédeltségét is fokozni tudjuk, illetve lehetővé válik az impulzus teljesítményének növelése, az impulzusteljesítmény növelése pedig lehetővé teszi a rádiógyújtó érzékenységének a csökkentését.



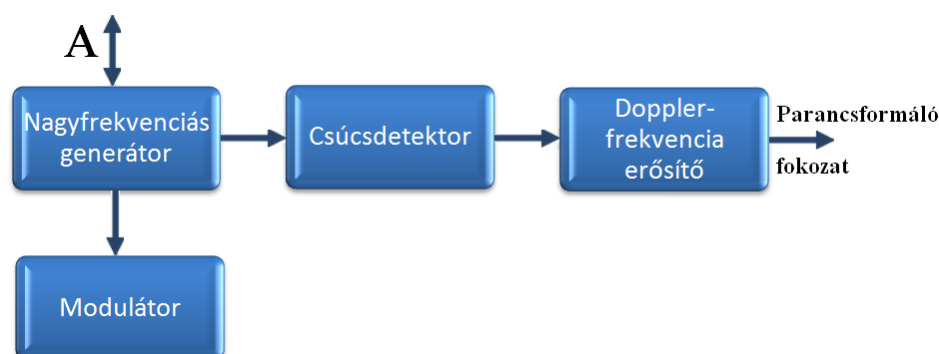
25. ábra Az impulzus rádiógyújtó holttere [2][Nagy Norbert – Google SketchUp]

Az impulzus üzemmódban működő rádiógyújtók előnye, hogy nagy zavarvédeltséggel rendelkeznek a mesterséges zavarokkal szemben. Ami annak köszönhető, hogy lehetőség van az adó impulzusteljesítményének növelésére és a vevő kapuzása révén biztosítani lehet a cél távolság szerinti kiválasztását. [1][2]

3.4.2.2. Impulzus-doppler rádiógyújtók

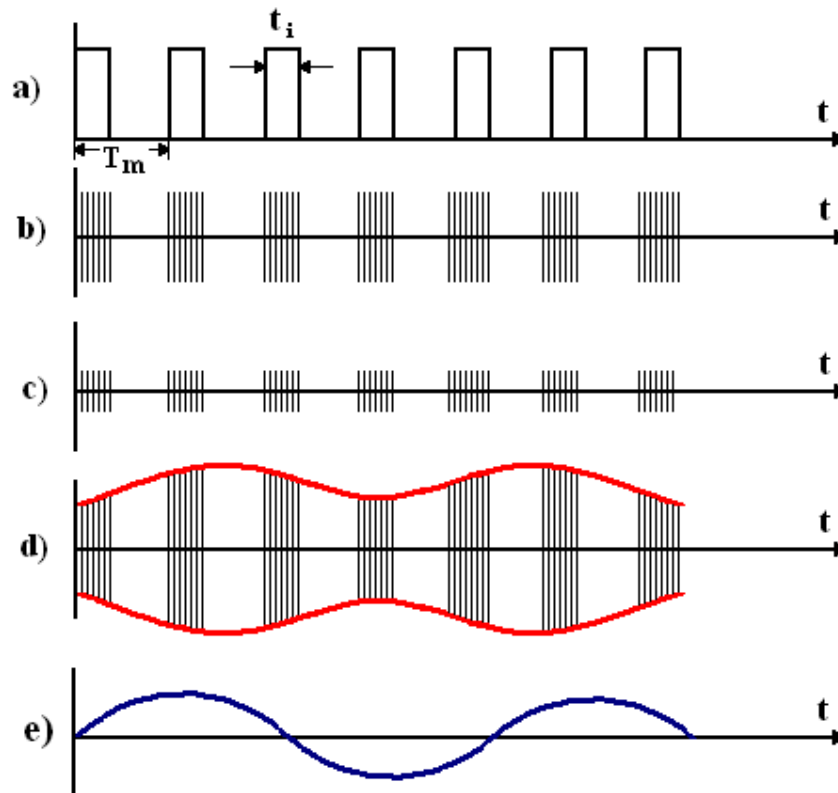
Egy autodin típusú impulzus-Doppler rádiógyújtó működésének bemutatásával szeretném ezt a gyújtótípust jellemezni. A gyújtó működési vázlat a 26. ábrán

látható. A rádiógyújtó modulátora egy t_i időtartamú és T_m ismétlődési periódusú négyszög impulzust hoz létre (27. „a” ábra), ezeket az impulzusokat a nagyfrekvenciás generátor rezgéseinek impulzus modulálására használják fel (27. „b” ábra), ezeket az impulzusokat sugározza ki az antenna. A t_i kisugárzott impulzusok időtartamát úgy választják meg, hogy normális céltávolság esetén, a célról visszavert impulzusok (27. „c” ábra) az antennára a kisugárzott impulzusok kisugárzási periódusában érkezzenek.



15. ábra Autodin típusú impulzus-Doppler rádiógyújtó működési vázlat
[2] [Nagy Norbert – MS Paint]

Ennek a feltételnek a teljesülésekor a visszaverődő impulzusok ráakódnak a kisugárzott impulzusokra és ezek összegződnek a nagyfrekvenciás generátor áramkörében. A Doppler-hatás következményeként a visszavert impulzusok a Doppler-frekvenciának megfelelő mértékben eltolódnak a kisugárzott impulzusokhoz képest. Az összegzés folyamán bekövetkezik az eredő impulzusamplitúdó lüktetése. Ezeknek az impulzusoknak az amplitúdója (27. „d” ábra) a Doppler-frekvenciával egyenlő frekvenciakülönbséggel fog megváltozni. Az eredő impulzusok a csúcsdetektorba kerülnek, a csúcsdetektor a Doppler-frekvenciának megfelelően szinuszos feszültséget hoz létre (27. „e” ábra), amely a gyújtó végrehajtó blokkját vezérli. Az impulzus-Doppler rádiógyújtók egyik sajátossága, hogy nincs holtterük, ezért nincs szükség rendkívül rövid impulzusok előállítására. Az impulzus-Doppler gyújtók zavarvédeltsége azonos szintű a rádiógyújtók zavarvédeltségével.[1][2]



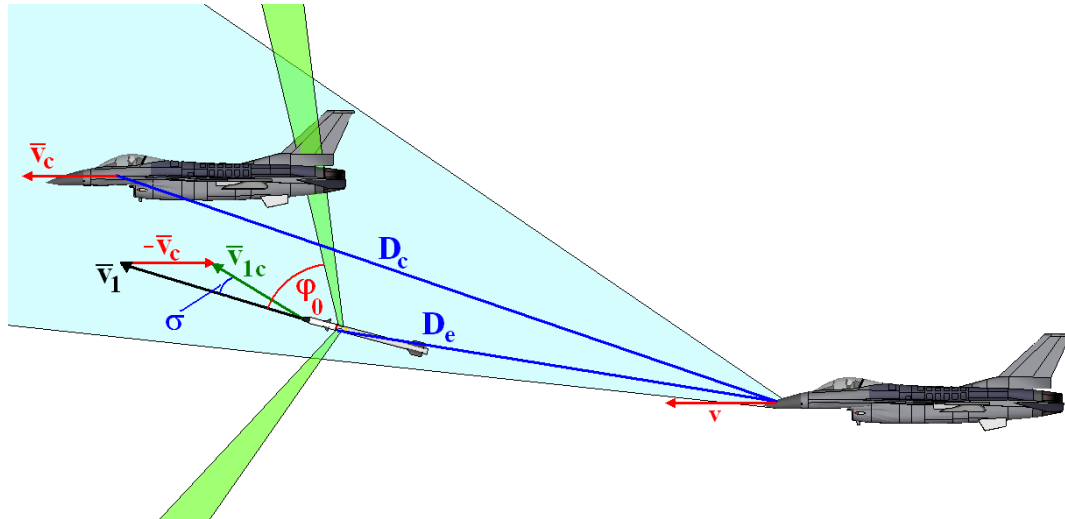
16. ábra. a) Moduláló impulzusok; b) Kisugárzott impulzusok; c) Visszavert impulzusok; d) Eredő impulzusok; e) Felerősített Doppler-frekvencia feszültség; [2] [Nagy Norbert – MS Paint]

3.4.3. Félaktív rádiógyújtók

A félaktív rádiógyújtókat félaktív lokátoros önirányítású rakétákra alkalmazhatják. A célról visszaverődő rádióhullámokat a rakéta irányítófeje felfogja és felhasználja a cél térbeli helyének a meghatározására és a vezérlőjelek kidolgozására. A félaktív rádiógyújtó működési elvét a rádióhullámokat kisugárzó állomás üzemmódja határozza meg. Ha a lokátor állomás folytonos sugárzási üzemmódban dolgozik, akkor a gyújtó vezérlő jelének kiválasztására a Doppler-jelenséget használják fel; impulzus üzemmód esetén a célról visszaverődő és a lokátorállomásról közvetlenül a rakétára kerülő impulzusok érkezési ideje közötti időkülönbség meghatározásával történik meg a gyújtó működési pillanatának a meghatározása. A félaktív közelségi rádiógyújtók működése közül azt az esetet szeretném bemutatni, amikor a célt besugárzó lokátor folytonos kisugárzási üzemmódban működik.

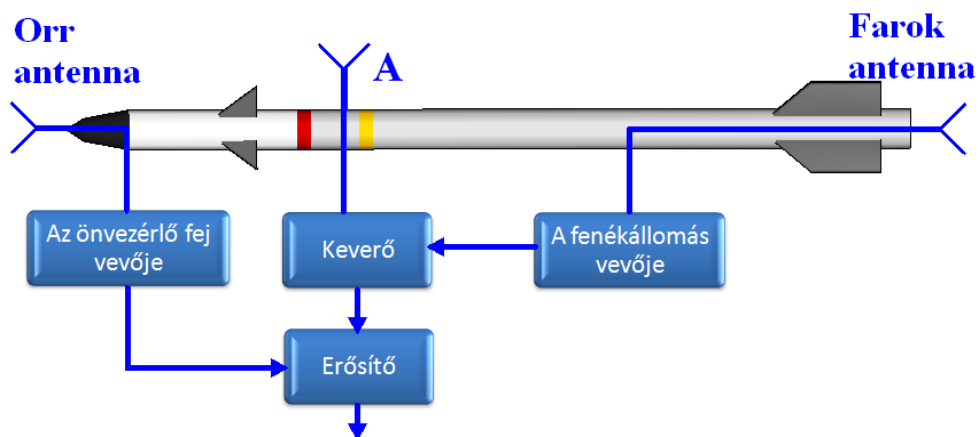
A 28. ábrán a rakéta és a repülőgép célközelítési vázlata látható. A rakéta rávezetése alatt a sugárnyaláb határain belül folyamatosan követi a célt. A visszavert jelek akkor

kerülnek a gyújtóba, amikor a cél az A vevőantenna iránykarakteristikájába belép (29.ábra). A nagyfrekvenciás jel az antennáról a keverőbe jut, amelyben összegződik a farok antenna által vett, a célsugárzó lokátor által kibocsátott jelek.



28. ábra Rakéta és a repülőgép célközelítési vázlata [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Az eredő jel a keverőben a Doppler jelenség következtében amplitúdó-modulált lesz, ezért a keverő kimenetén alacsonyfrekvenciás feszültség jelenik meg, amely az eredő jel burkológörbéjével arányos. Az alacsonyfrekvenciás erősítő felerősítése után ez a feszültség lesz a gyújtó vezérlő jele. Az rakéta önvezérlő fejének vevőjébe érkező jelek nagyságának függvényében, az alacsonyfrekvenciás erősítő erősítési tényezőjét egy automatikus erősítési szabályzóval szabályozni lehet. A rádiógyújtó vezérlőjelének a F frekvenciáját a rádiógyújtó antennáján keletkezett jel f_1 frekvencia és a rakéta farokvevője által vett f_2 frekvencia különbségeként kapjuk meg.



29. ábra Doppler félaktív rádiógyújtó blokk-sémája [2][Nagy Norbert - MS Paint]

A célról visszavert rádióhullám frekvenciája:

$$f_c = f_0 + \frac{v_c}{\lambda} \cos \varphi_c \quad (3.14)$$

ahol: f_0 – a célsugárzó lokátor által kisugárzott jel frekvenciája

$\frac{v_c}{\lambda} \cos \varphi_c$ – Doppler-frekvencia összetevő, amelyet a támadó repülőgép és cél közeledése vagy távolodása hoz létre

λ – a kisugárzott rádióhullámok hullámhossza

v_c – a cél sebessége a támadó repülőgéphez képest

φ_c – a $\vec{D}_e$ és $\vec{v}_{csz}$ vektorok közötti szög

A rádiógyújtó antennájában keletkezett jel frekvenciája a Doppler jelenség figyelembevételével:

$$f_1 = f_c + \frac{v_{1c}}{\lambda} \cos(\varphi_0 - \sigma) \quad (3.15)$$

ahol: v_{1c} – a rakéta sebessége a célhoz viszonyítva

φ_0 – a rakéta hossz tengelye és a vevőantenna iránykarakterisztikájának maximuma közötti szög

σ – a rakéta hossz tengelye és a $\vec{v}_{1c}$ vektor közötti szög

A 3.14 kifejezésen a Doppler-frekvenciát a rakéta és a cél közeledése hozza létre, behelyettesítve f_c értékét a 3.15 egyenletből a következőt kapjuk:

$$f_1 = f_0 + \frac{1}{\lambda} (v_c \cos \varphi_c + v_{1c} \cos[\varphi_0 - \sigma]) \quad (3.16)$$

A célsugárzó lokátor által kisugárzott, a rakéta farokvevője által vett frekvencia:

$$f_2 = f_0 + \frac{v_{1sz}}{\lambda} \cos \varphi_r \quad (3.17)$$

ahol: v_{1sz} – a rakéta sebessége a támadó repülőgéphez viszonyítva

φ_r – a $\vec{D}_r$ és a $\vec{v}_{1sz}$ vektorok közötti szög.

$\frac{v_{1sz}}{\lambda} \cos \varphi_r$ – Doppler-frekvencia összetevő, amelyet rakéta és a támadó repülőgép eltávolodása hoz létre

A 3.16 és 3.17 egyenletek ismeretében meg tudjuk határozni a vezérlő jel frekvenciáját

$$F = f_1 - f_2 \quad (3.18)$$

$$F = \frac{1}{\lambda} (v_c \cos \varphi_c + v_{1c} \cos[\varphi_0 - \sigma] - v_{1sz} \cos \varphi_r) \quad (3.19)$$

Az aktív típusú rádiógyűjtőkhöz hasonlóan a félaktív rádió gyűjtőkben is a Doppler –jelenség hozza létre a keverőben a vezérlő jelet, azonban ebben az esetben sokkal bonyolultabban lehet ezt meghatározni.

A félaktív gyűjtők előnye az aktívhoz viszonyítva, hogy sokkal kisebb a mérete illetve a tömege, mivel a félaktív gyűjtők nem rendelkeznek adó egységgel. Viszont jelentős hiányosságokkal bír, alacsony a működési pontossága és a zavarvédetségé.[1][2]

3.5. Optikai gyűjtők

3.5.1. Passzív típusú optikai gyűjtők

A passzív típusú közelségi optikai gyűjtőket főleg légi célok elleni rakétákban alkalmazzák. A passzív optikai gyűjtők a cél által kisbocsátott infravörös (hő-) sugarakat használják fel. Infravörös források lehetnek a repülőgép hajtóművének felhevült részei, a hajtóműből kiáramló forró gáz sugarak illetve a repülés során a légáramlatoktól felmelegedett sárkányszerkezet.

Alacsony sebességű repülés folyamán a sárkányszerkezet felmelegedése a hajtómű hőmérsékletéhez képest nem nagy, azonban a sebesség növekedésével a sárkányszerkezet felmelegedése és ezzel együtt az infrakisugárzása nagy mértékben megnövekszik. Például a 10 km magasságon 0,8 Mach-val repülő repülőgép felszínének hőmérséklete kb. -23°C . Ha a repülési sebességet növeljük 2,4 Machra a repülőgép felszínének hőmérséklete már kb. 227°C és ezáltal infrakisugárzása is nagy mértékben megnő.

Egy egyszerű optikai gyűjtő blokkvázlata a 30. ábrán látható. A gyűjtő adója egy célindikátor, amely érzékeli a cél infrakisugárzását és azt átalakítja a gyűjtőt működtető elektromos jellé. A vevő nagyon keskeny érzékelési zónával rendelkezik, melyet két kúp felszín határol, a kúpok alkotója közötti szög $1,5 - 2^{\circ}$. A letapogatási zóna keskeny sávja biztosítja, hogy az indikátorra ne kerüljenek zavaró sugárforrások illetve lecsökkenti a környezetnek az indikátorra gyakorolt hatását.

A gyűjtő optikai vevője optikai rendszerből és a gyűjtő áramkörébe tartozó fotoellenállásból áll. Az optikai rendszer a cél által kisugárzott energia összegyűjtésére, és a fotoellenállás érzékelő felületére történő fókuszálására szolgál. Az elektromos áramkör a fotoellenállás vezetőképességének a változását - amely az infrakisugárzás hatására következett be - feszültség impulzussá alakítja át.



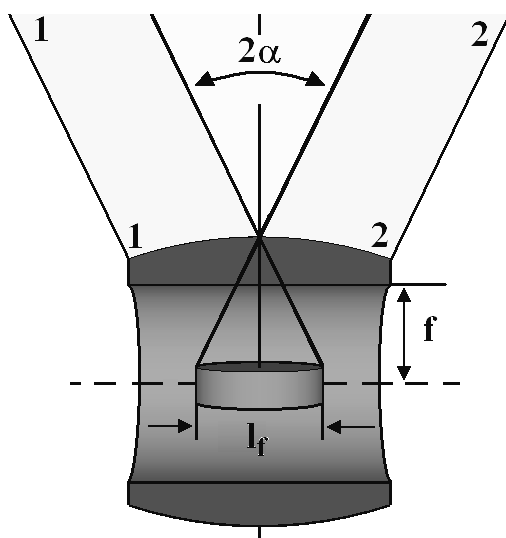
30. ábra Optikai közelségi gyújtó blokkvázlata [2][Nagy Norbert – MS Paint]

Ha a cél infrasugara a vevő érzékelési zónájába kerül, az infrasugarak hatást fejtenek ki a vevőben alkalmazott fotoellenállásra, ennek megváltozik az ellenállása, és ekkor a vevő áramkörében feszültségimpulzus keletkezik. Ez az impulzus az optikai gyújtó vezérlő jele, melyet az erősítő meghatározott késleltetéssel juttat a végrehajtó blokkba. A vezérlő jel késleltetése, lehetővé teszi a gyújtó működési felületének a szükséges helyzetbe történő mozgását.

A gyújtókban kétfajta optikai rendszer használnak fel: lencsés és tükrös optikai rendszert.

A lencsés optikai rendszer egy vagy több körkörös lencséből épül fel. A 31. ábrán egy hengeres alakú gyújtólencséből álló optikai rendszer látható.

A lencse hossz tengelye a rakéta hossz tengelyével egybe esik. A lencse belső sugara úgy van kiválasztva, hogy az a lencse f fókusz távolsága legyen. A fotoellenállást a lencse hossz tengelyében helyezik el, amelynek a fényérzékeny rétege a henger oldalfelületén található. A lencse látószögét, vagyis a vevő érzékenységi zónáját két kúp felszín határolja. A kúp felszínek az 1-1 és 2-2 vonalak a lencse hossz tengelye körül történő megforgatása által jönnek létre.



31. ábra Lencsés optikai rendszer [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

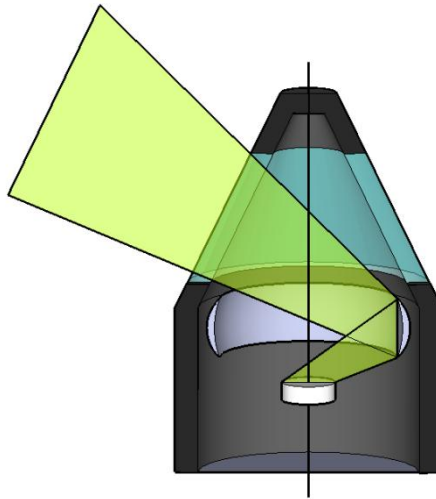
A lencse látószöge 2α szöggel határozható meg:

$$2\alpha = \arctg \frac{l_f}{2f} \quad (3.20)$$

ahol: l_f - a fotoellenállás hossza.

A lencse hossz tengelyére merőleges egyeneshez viszonyítva a vevő érzékenységi zónájának dőlését úgy lehet hangolni, hogy elmozdítjuk a fotoellenállást a lencse hossz tengelye mentén. A gyújtó működését befolyásoló, zavaró sugarakat – mind a látható; mind a nem látható, infra tartományba tartozókat -, amelyek nem tartoznak bele a fotoellenállás a működési zónájába, speciális szűrőkkel megsűrítik. Ilyen szűrők lehetnek: műanyagok, zselatin, vagy festett üveg.

A tükrös optikai rendszerben egy vagy több parabolatükröt használnak fel (32. ábra), ezeket általában alumíniummal vonják be.

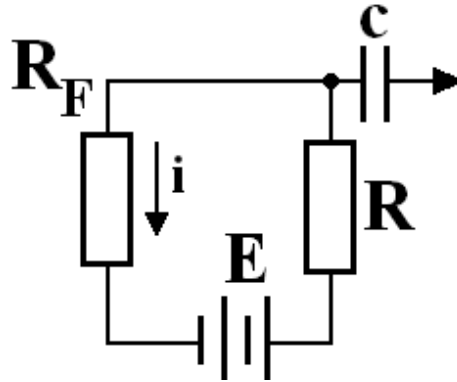


32. ábra Tükrös optikai rendszer [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ezek a tükrök a ráeső infrasarkanakat a fototellenállás fókuszába sűrítik. A tükrök a rakétán belül helyezkednek el, ezért a rakéta testébe bevágott speciális nyílások biztosítják, hogy az infravörös sugarak elérjék a tükröt. Az optikai tükrös gyújtó vevőjének elektromos kapcsolási rajza a 33. ábrán látható. Addig a pillanatig, amíg a rakéta a célhoz közeledik az R_f fotoellenálláson és az R terhelő ellenálláson állandó i áram folyik, amelynek értéke:

$$i = \frac{E}{R + R_f} \quad (3.21)$$

ahol: E – a tápforrás feszültsége.



33. ábra Optikai tükrös gyújtó kapcsolási rajza [1] [Nagy Norbert -MS Paint]

Amikor a cél keresztülhalad a vevő érzékenységi zónáján a cél által kisugárzott kisugárzott energia hatást gyakorol a fotoellenállásra, megváltozik annak elektromos ellenállása egy ΔR_F értékre, így létrejön egy Δi áram, amelyet az alábbiak alapján számolhatunk ki:

$$\Delta i = \frac{\partial i}{\partial R_F} \cdot \Delta R_F \quad (3.22)$$

A 3.21 kifejezésből következik:

$$\frac{\partial i}{\partial R_F} = \frac{E}{(R + R_F)^2} \quad (3.23)$$

Ha a $\frac{\partial i}{\partial R_F}$ derivált értékét behelyettesítjük a 3.22 egyenletbe:

$$\Delta i = \frac{E \cdot \Delta R_F}{(R + R_F)^2} \quad (3.24)$$

A terhelő ellenállásról az erősítő bemenetére kerülő vezérlő jel feszültség impulzusa:

$$\Delta u = \Delta i \cdot R = \frac{E \cdot R \cdot \Delta R_F}{(R + R_F)^2} \quad (3.25)$$

vagy

$$\Delta u = \frac{E \cdot \frac{R}{R_F} \cdot \Phi}{\left(1 + \frac{R}{R_F}\right)^2} \cdot S_F \quad (3.26)$$

ahol: Φ - fényáramlás nagysága

$S_F = \frac{\Delta R_F}{\Phi R_F}$ - a fotoellenállás érzékenysége

A fotoellenállás érzékenysége a fotoellenállás relatív változásának értékét jelenti 1W vagy 1 lumen fényáram hatására.

Az optikai gyűjtő vevő berendezése által létrehozott jel a fotoellenállásra eső fényáramtól, a fotoellenállás érzékenységétől, a tápforrás feszültségétől és a terhelő ellenállás paramétereitől függ. A Δu munkafeszültség a felerősítés után a működtető jel kidolgozó fokozatára jut, amely egy meghatározott késleltetési idővel továbbítja a gyűjtő végrehajtó fokozatra. A késleltetés lehetővé teszi, hogy a gyűjtő optimális helyzetben robbantsa a harcírészt.[1][2]

3.5.2. Aktív optikai gyűjtők

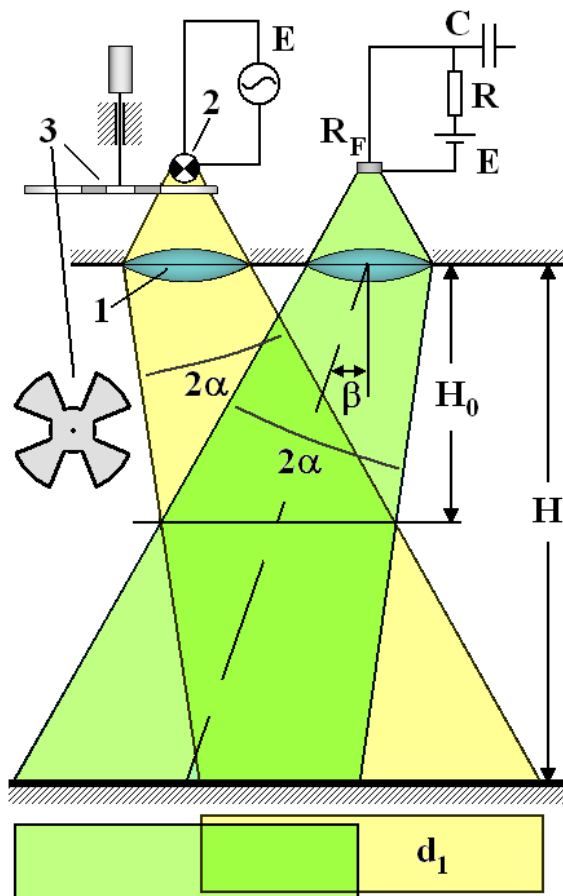
Az aktív optikai gyűjtő a passzív típusú optikai gyűjtők és valamilyen sugárzó berendezés együttes alkalmazásával jönnek létre. Ezeket a gyűjtőket rakétákban és bombákban egyaránt alkalmazhatják légi és földi célok ellen. Az 34. ábrán egy olyan aktív optikai gyűjtő működési vázlata látható, amely a földfelszín felett egy meghatározott magasságban robbantja fel a megsemmisítő eszköz harcírését.

A gyűjtő egy fényenergia kisugárzóból (adóból) és egy vevőből áll. Az adó főbb alkotó elemei: lencse (objektív) (1), fényenergia forrás (2), moduláló tárcsa (3). Az adóban a lencse fókuszpontjában elhelyezett izzólámpa tölti be a sugárzó energiaforrás szerepét. Az izzólámpát egyen- vagy váltóárammal táplálják, és a kibocsátott fényenergiát a lencse egy keskeny fénynyalábbá fókuszálja, amely az akadályt egy d_1 felületen megvilágítja. Erről a felületről fog a szétszórt fényenergia visszaverődni. A fényforrással szemben egy résekkel ellátott moduláló tárcsát helyeznek el (34.ábra), amelyet egy speciális motor hajt meg. A lencsére csak akkor kerül fényenergia, ha az izzólámpával szembe a tárcsa egy kivágása kerül. Ennek a kialakításnak köszönhetően az adó nem folyamatos fényt, hanem fényimpulzusokat sugároz ki. Az impulzus formája a kivágások alakjától; az impulzusok kisugárzási frekvenciája a tárcsán lévő rések számától és a forgási sebességtől függ. A fényenergia modulálására azért van szükség, mert így a vevő számára elkülöníthető lesz a visszavert sugárzás a folyamatos napsugárzástól.

A vevőberendezés legfőbb részei: a lencse, a vevőberendezés fókuszpontjába elhelyezett fotoellenállás és az elektromos átalakító kapcsolás. A vevő lencséje azonos geometriai méretekkel rendelkezik, mint az adó lencséje.

A vevő berendezés látószöge az 34. ábrán látható sugárnyaláb szélessége. A vevő berendezés átalakító kapcsolása E egyenáramú tápforrásból, R_F fotoellenállásból és terhelő ellenállásból, és az erősítő bemenetére beépített C csatoló kondenzátorból áll. Amikor a fotoellenállásra nem fejt ki hatást a visszaverődött modulált fénysugár, a kapcsolásban egyenáram folyik, és a csatoló kondenzátoron keresztül nem jut vezérlőfeszültség az erősítő bemenetére – a kondenzátor egyenáramú szempontból végtelen nagy ellenállásként tekinthető, azonban váltakozó áram esetén „átereszti” az áramot.

Az akadályról visszaverődő fény a vevő lencséjén keresztül a fotoellenállás fényérzékeny felületére kerül. A visszavert fénysugár váltakozó frekvenciájának megfelelően megváltozik a fotoellenállás ellenállása és az áramkörben váltakozó feszültség jön létre. Ez a feszültség az erősítő bemenetére kerül és megfelelő erősítés után elműködik a gyújtó.



34. ábra

Aktív optikai gyújtó működési vázlata
[2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

A gyújtó működése függ a felszín típusától, amely a fényenergia visszaverődési együtthatóját⁵ befolyásolja. Az optikai közelségi gyújtó alkalmazása esetén a fényvisszaverődési együttható értéke 0,03-tól (aszfalt, feketeföld) 0,9-es (hó) terjedhet. A minimális visszaverődési együtthatóra úgy szabályozzák be a gyújtót, hogy az adó- és vevőberendezés optikai tengelyét a gyújtó tengelyéhez képest egy β szögben megdöntik.

A látószög ilyen fajta eltérítését úgy érhetjük el, hogy a fényforrást és a

⁵ Fényvisszaverődési együttható: $R=B/E*100$, ahol B- fénysűrűség, E- megvilágítás erőssége [12]

fotoellenállást a lencsék fókuszsjkjában elmozdítjuk. A látószögek megdöntésével a H_0 magasságon az egész megvilágított felület a vevő látószögébe esik. A H_0 magasságot a gyújtó besabályozási magasságának nevezzük, amelyen az optikai gyújtó vezérlő jele maximális értékű lesz. A gyújtó áramkörének besabályozása biztosítja, hogy a gyújtó H_0 magasságon működni fog a minimális visszatükröződési együtthatójú felszín esetében is, illetve más felszíntől H_0 -nál nagyobb magasságon is.

A felszín típusán kívül a gyújtó működési magassága függ:

- a gyújtó berendezéseinek paramétereitől (az elektromos izzó teljesítményétől, a fotoellenállás érzékenységtől, a látószög szélességtől, az erősítő erősítési tényezőjétől stb.)
- a bomba vagy rakéta zuhanási szögétől
- az atmoszféra állapotától

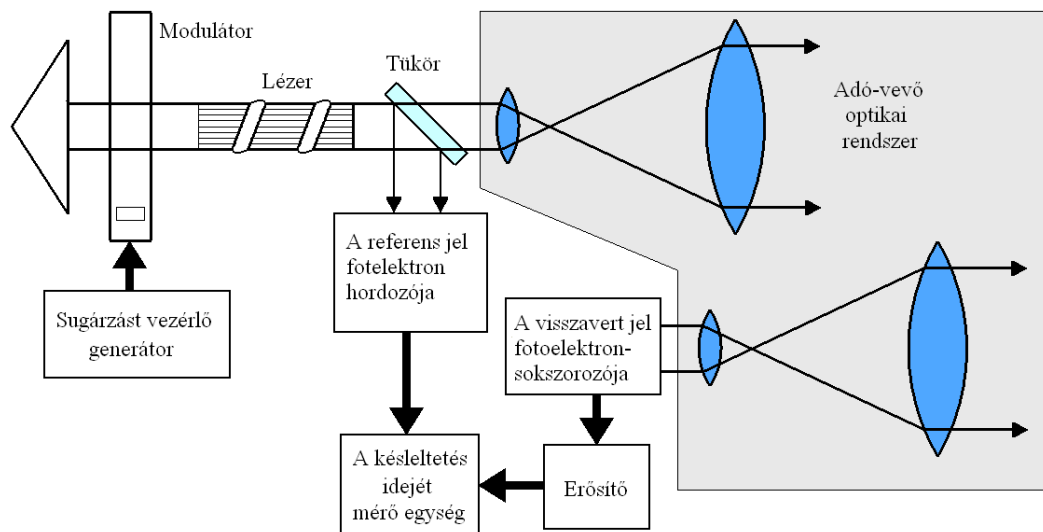
3.5.3. Lézer közelségi gyújtó

Az optikai közelségi gyújtókban sugárenergia forrásként alkalmazásra kerülhetnek optikai kvantumgenerátorok, vagyis lézerek. Annak érdekében, hogy a környezeti fényhatások ne zavarják a cél észlelését, olyan lézereket alkalmaznak, amelyek kisugárzott fénysugarainak hullámhossza a spektrum nem látható fénytartományán belül van. Ilyenek lehetnek a YAG lézerek ($1,06\ \mu\text{m}$), a CO_2 lézerek ($10,6\ \mu\text{m}$), CO lézerek ($4,7\text{-}5,7\ \mu\text{m}$) és Indium-Gallium-Arzenid-Foszfid lézerek ($1,30\text{-}2,1\ \mu\text{m}$). Előnyeihez sorolható, hogy nagy a zavarvédetségük és pontosan meg lehet határozni a működési távolságot, illetve ezek a berendezések kis tömeggel és mérettel rendelkeznek.[14]

Általában impulzus üzemi lézereket alkalmaznak a gyújtókban, amely működése során a fényimpulzusoknak a célig és onnan vissza megtett útja alatt eltelt időt használják fel a távolság meghatározásához.

A fénysebességgel haladó lézersugár-impulzus eléri a cél felületét, majd onnan visszaverődik. A visszavert impulzust a vevő optikai rendszere felfogja, ezek az érzékelőelemmel és az időintervallum mérőegységével van összekötve. Mivel a fény sebessége ismert, így a távolság a fénysebesség és az impulzusnak a célig és

vissza megtett út ideje szorzatának a felével egyenlő. Impulzus üzemi távmérő elvi vázlata az 35. ábrán látható.



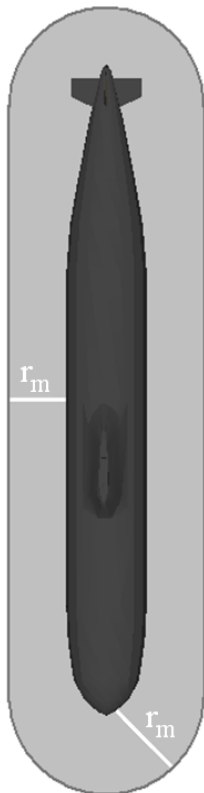
35. ábra Lézer közelségi gyújtó működési vázlata [7] [Nagy Norbert – MS Paint]

A gyújtóban mind az adó-, mind a vevőegységet megfelelő optikai rendszerrel látják el. Az adó kimenetére általában Galilei-féle teleszkópot helyeznek el, amely a lézersugár széttartási szögét csökkenti. A kisugárzott fényimpulzusok útjába az optikai rendszer részeként egy részben áteresztő tükröt helyeznek el, amely a kisugárzott impulzusok egy részét a referens vevő bemenetére a fotoelektron-sokszorozóba továbbítja és létrehozza az időtartam mérő egység indítójelét. A célról visszaverődő jelek az optikai rendszeren áthaladva a vevőegységre – vevő fotoelektron sokszorozóra – érkeznek. Az időtartam számlálója a fényimpulzusok által megtett út mért időtartama alapján feszültséget hoz létre, amely a távolság függvénye. Ha a rakéta a célhoz képest megfelelő távolságba kerül, akkor akkora feszültség jön létre az időtartam számlálóban, hogy az képes a parancs kidolgozó blokkban vezérlő jelet létrehozni, a parancs kidolgozó blokk parancsjele hatására a gyújtó működésbe lép.

Az esetleges fényzavarok elhárítása céljából a vevőegység előtt rendszerint keskenysávú szűrőt helyeznek el, amely áteresztési sávját a lézersugárzás hullámhosszának megfelelően határozzák meg. [1][2][7]

4. A KÖZELSÉGI GYÚJTÓK MŰKÖDÉSI TARTOMÁNYA ÉS A MŰKÖDÉSI TARTOMÁNY HANGOLÁSA

A közelségi gyújtókat a legszélesebb körben fedélzeti irányítható rakétákban alkalmazzák. Azonban még megtalálhatóak bombákban, tengeri aknáknak és torpedókban, löfegyverek lövedékeiben, nem irányítható és irányítható rakétákban. A közelségi gyújtó alkalmazása a csapódó, és időzített gyújtók helyett, a lőszer hatáshatóságának növelése érdekében történik.



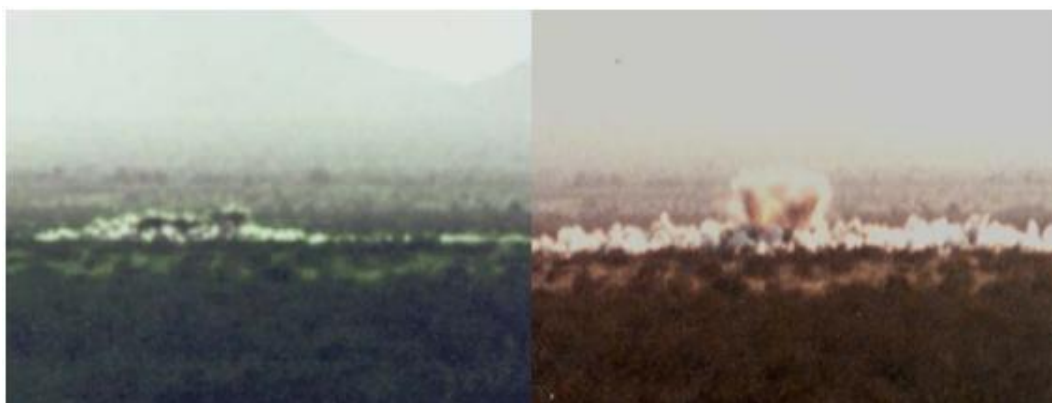
17. ábra
A cél határvonala
[2] [Nagy Norbert –
Google SketchUp]

Ha közelségi gyújtót alkalmaznak a tengeralattjáró elhárító bombában, megnövekszik a tengeralattjáró megsemmisülésének valószínűsége, mivel megnövekszik az a terület, amelybe ha beetalál a bomba, a tengeralattjáró megsemmisül. A tengeralattjárót körülvevő görbe az a határvonal, amelybe a bombának bele kell esnie, hogy a gyújtó működésbe kezdjen (36. ábra). A határoló görbe és a tengeralattjáró kontúrja közötti távolság a gyújtó működési távolságával egyenlő (r_m). A bomba a legnagyobb találati valószínűségi értékekkel és a legnagyobb romboló hatással fog felrobbanni.

A kibocsátott jelet visszaverő felület a földfelszín is lehet. Más szavakkal a célközelségi gyújtókon kívül földközelségeket is használhatnak. A fedetlen vagy gyengén fedett élőerők ellen a levegőben robbanó repeszgránát lényegesen hatásosabb, mint a földbe csapódáskor működő. A csapódó gyújtós repeszgránát repeszeinek zöme ugyanis a földbe fűrődik anélkül, hogy kárt tenne környezetében, a repeszek

másik része pedig magasan a levegőbe repül, és csak onnan visszahullva fejt ki hatást. A levegőben robbanó gránát repeszei viszont mind közvetlenül csapódnak a földfelületre, melynek nagysága a robbanás magasságától függ. Az időzíthető gyújtó hátránya, hogy a robbanási magasság nem állítható be eléggé pontosan, egyrészt a gyújtó időszórása, másrészt pedig a terep hullámossága miatt. A közelségi gyújtó azonban a földfelszíntől mindig azonos magasságban működik.

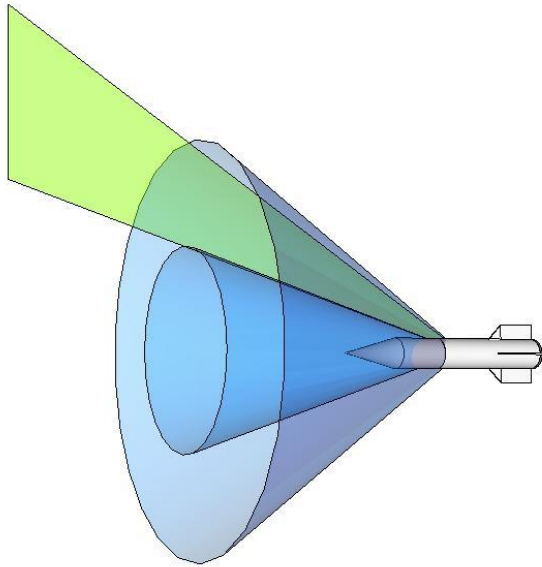
Ha a robbanás a föld felszínétől bizonyos távolságban történik, akkor ezek a repeszek a többi résszel együtt felülről csapódnak a közegre. Ezáltal megsemmisítik a célt azon a felületen, amelyik a robbanási pont alatt terül el. A robbanás magasságának növelésével nő az a felület is, amelybe a repeszek becsapódnak (37. ábra). Azonban ez nem jelenti azt, hogy a megsemmisítési felületet is határtalanul növelhetjük, ugyanis a robbanási magasság növelésével csökken a repeszek sűrűsége a felszínen, és a repeszek felszínre hatást gyakorolt mozgási energiája is csökkennek. Ezért egy olyan optimális magasságot kell meghatározni, amely esetén a repeszek mozgási energiája és a megsemmisítési felület a legnagyobb. Amikor az amerikaiak a második világháborúban először vetettek be földközelségi gyújtós lövedékeket, maguk is meglepődtek ezek rendkívüli pusztító hatásán.



37. ábra Bal oldalon közelségi gyújtó nélküli, jobb oldalon közelségi gyújtóval szerelt gránát robbanása látható [30] [Nagy Norbert- MS Paint]

A közelségi gyújtók a lövészet hatásosságát legnagyobb mértékben a rakéták légi lövészetekkor befolyásolja. A régebbi típusú irányítható rakéták esetében, nagyon kicsi a közvetlen találat lehetősége (0,6-0,7), ezért ezeknél a típusoknál a közelségi gyújtók alkalmazása jobban indokolt, mint a korszerűbb rakéták esetében (0,9). Nem mondhatjuk, hogy nincs szükség ezeknek a berendezéseknek a használatára, mivel egy harci eszköznél mindig a legnagyobb hatékonysági mutatókra van szükség. Az alábbiakat figyelembe véve a légiharc rakétákban közelségi hatású harci részt alkalmaznak, amelyik egyaránt képes megsemmisíteni a célt közvetlen becsapódáskor még abban az esetben is, ha a céltől meghatározott távolságban történik a robbanás. Általában az ilyen típusú harci részek repeszhatású harci részt tartalmaznak. Ezeknek a repeszeknek a repülési iránya meghatározott. A repeszek repülésének térbeli területe (38. ábra) általában kétküpos felszínnel határolható. A

kúpok csúcsában a harci rész tömegközéppontja van. Bármely irányú síkban, amelyik a rakéta hossz tengelyén megy keresztül a repeszek repülésének képei hegyesszögű szektorok (ábrán zöld terület), melyek szélessége $10^\circ - 20^\circ$ lehet. A repesz hatású harci rész ilyen sajátossága a gyújtó nagyon pontos működését tételezi fel. Annak érdekében, hogy az irányított repeszek a célba találjanak, a harci résznek a cél és a rakéta meghatározott, kölcsönös helyzetében kell felrobbantania.



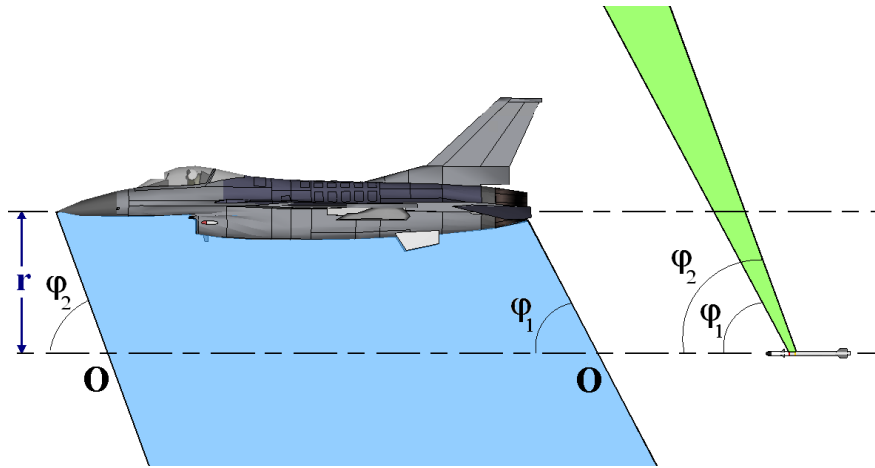
18. ábra Repeszek repülésének térbeli helyzete [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ezt a helyzetet illusztrálja az 39. ábra, ahol a rakéta célközelítésének helyzete látható olyan egyedi esetben, amikor a rakéta a célt egyirányú repülés alkalmával utoléri. A rávezetési rendszer hibája miatt a rakéta röppályája a céltől „r” távolságra halad el. A rakéta mozgását vizsgálva, könnyen megállapíthatjuk, hogy a repeszek célba találása és a cél harcképtelenné tétele csak abban az esetben lehetséges, ha a gyújtó működésének pontja a röppálya 0 - 0 szakasza között, két egyenes között fekszik (kék sáv).

A két egyenes a cél legszélső pontjaiból φ_1 és φ_2 szög alatt indul ki és meghatározzák a repeszek repülésének határait. A 0 - 0 szakasz hossza meghatározza a gyújtó működési pontjának a szórását a rakéta röppályáján. Ha a repeszek keskeny szektorban repülnek és a rakéta céltévesztése normális határon belül van, akkor a 0-0 szakasz hossza körülbelül a cél hosszával egyenlő.

Ha figyelembe vesszük, hogy a vadászrepülőgépek közepes hossza 12 m-es nagyságrendű, a bombázóké 30-40 m, akkor a gyújtó működési pontjának megengedett

eltérése a vadászpilóták esetében 1,5 - 2 m és 3 - 5 m a bombázók esetében. Ilyen nagy pontosságú robbanási pillanatot az időzített gyújtók nem tudnak biztosítani, mivel ezek hibái jelentősen nagyobbak a megengedettnél.



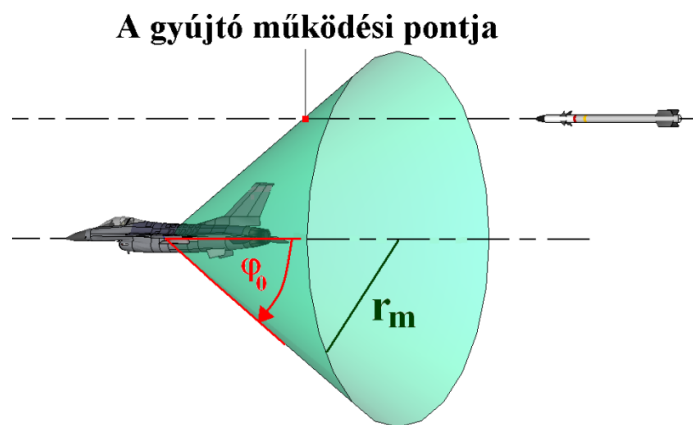
39. ábra A rakéta hátulról való célmegközelítése [2] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ilyen körülmények között a szükséges pontosságot csak a közelségi gyújtók képesek biztosítani mivel ezek meg tudják határozni a rakéta és a cél kölcsönös helyzetét és a megfelelő időben és helyzetben felrobbantani a harci részt.

A közelségi gyújtók működési felülete nem más, mint a rakéta tömegközéppontjának a célhoz viszonyított közepes helyzetét meghatározó pontok geometriai helye a gyújtó működésének pillanatában. A rakéta röppályáján azt a pontot, amely pontban megtörténik a közelségi gyújtó működése a gyújtó működési pontjának nevezzük.

A rakéta összes lehetséges viszonylagos röppályái a cél hossz tengelye körül helyezkednek el. Ezek a röppályák a rakéta rávezetés véletlen hibáiból alakulnak ki. Mivel a közelségi gyújtók működésére a véletlen tényezők egész sora hatást gyakorol, a rakéta tényleges helyzetét a gyújtó működésének pillanatában ugyancsak véletlennek tekintjük. A közelségi gyújtók tényleges működésének pontjai nem egy felületen fognak elhelyezkedni, hanem a tér egy bizonyos területét foglalják el, ezt a térrészt nevezzük működési felületnek (40. ábra).

A működési felület körvonala és a célhoz viszonyított iránya függ a közelségi gyújtó típusától, tulajdonságaitól, a cél típusától, a gyújtó és a cél megközelítésének feltételeitől - a megközelítés irányától, a lövedék relatív sebességétől.



40. ábra A gyújtó működési felülete [1] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Mivel a közelségi gyújtók adóinak érzékenysége egy bizonyos határértékkel rendelkeznek, így a működési felület méreteit a rakéta és a cél bármely megközelítési síkjában lehatárolja egy bizonyos r_m rakéta mellélövési határérték. Ha a lövedék céltévesztésének nagysága nagyobb, mint r_m a gyújtó nem fog működni, mivel a céltől jövő jel kisebb, mint az adó-vevő részének az érzékenysége. Az r_m értéket a közelségi gyújtó működési sugarának nevezzük. Tehát egyenes nyomvonal esetén működési felületeként egy egyenes vonalú kerek kúp fog szolgálni, melynek a forgási kúp alkotója a repülőgép hossz tengelyével φ_0 szöget fog bezárni.

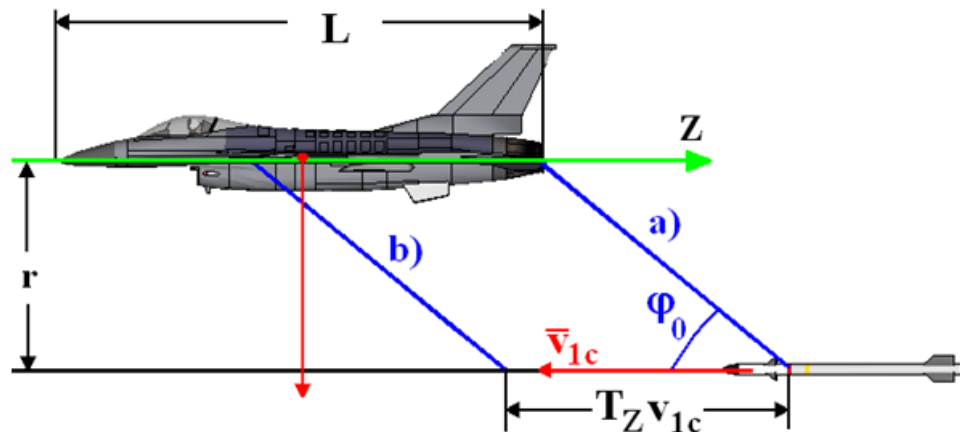
Földi lövészetkor, amikor a gyújtó a föld felszínével kerül kapcsolatba, a lövedék helyzetét a célhoz viszonyítva a robbanás pillanatában a gyújtó működésének magassága határozza meg. Az ilyen gyújtó működési felületeként egy sík szolgál.

Mivel a gyakorlatban a rádió és optikai közelségi gyújtók a legelterjedtebbek, ezért ezt a két gyújtótípust szeretném a működési tartomány, illetve a működési tartomány hangolás szempontjából jellemezni.[1][2]

4.1. A rádiógyújtó működési tartománya

A korszerű irányítható rakétákban alkalmazott rádiógyújtók olyan antennával rendelkeznek, amelyeknek rendkívül keskeny az iránydiagramja, illetve ezek szélességét a gyújtó működési pont helyzetének meghatározásakor el lehet hanyagolni. Ezért feltételezhetjük, hogy a gyújtó elektromos kapcsolásában, abban a pillanatban jelenik meg a működtető jel, amikor a rakétához legközelebb eső pont (utánlövés esetén a farokrész) a rakétáról φ_0 irányzási szög⁶ alatt látható.

⁶ Az irányzási szög az a szög, amely az antenna vevő maximuma a rakéta hossz tengelyével bezár



40. ábra a) Tehetetlenség nélküli rádiógyújtó működési felület nyomvonala

b) Tehetetlenségi rádiógyújtó működési felület nyomvonala [1] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ha a gyújtó tehetetlenség nélkül működik (tehát abban a pillanatban működésbe lép, amikor a működtető jel beérkezik); akkor bármely $r \leq r_m$ ⁷ rakéta mellélövés esetén a gyújtó működési pontja azon az egyenesen fog elhelyezkedni, amely egybeesik a cél legszélső pontját φ_0 szög alatt megírányzott irányzóvonalával. Ennek az egyenesnek (40. ábra) az egyenlete:

$$Z_0(r) = a + br \text{ amikor } r \leq r_m \quad (4.1)$$

ahol: $a = \frac{L}{2}$

L – cél hossza

$b = \text{ctg} \varphi_0$

Azoknál rádiógyújtóknál, amelyek T_z késleltetési idővel működnek a működési felület nyomvonala a rakéta mozgási irányához viszonyítva eltolódik egy $T_z v_{1c}$ értékkel, ezért a működési felület nyomvonalának az egyenletében a értéke a következővel lesz egyenlő:

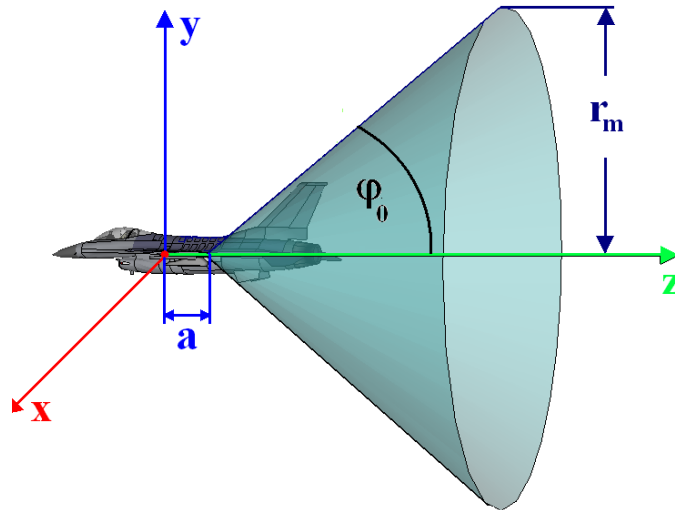
$$a = \frac{L}{2} - T_z v_{1c} \quad (4.2)$$

Ha a rakéta a céllal párhuzamos irányból közelít, akkor a gyújtó működési felületét úgy lehet tekinteni, mint a működési felület nyomvonalának z tengely körül elforgatott felületét, egyenes nyomvonal esetén a működési felület egy egyenes vonalú kúp lesz. A kúp csúcsa „ z ” tengelyen fog elhelyezkedni, a csúcs koordiná-

⁷ r – rakéta mellélövés nagysága

r_m – a gyújtó hatósugara

ta pontja $z_0(0)$ értékű lesz, a kúp alkotója pedig φ_0 szöget fog bezárni a „z” tengellyel (41. ábra). A tehetetlenségi rádiógyújtó működési felületének a helyzete a rakéta v_{1c} viszonylagos sebességétől függ. Minél nagyobb v_{1c} , annál jobban fog a működési felület a rakéta mozgási irányába előretolódni.



41. ábra A tehetlenségi rádiógyújtó működési felülete [1] [Nagy Norbert – Google SkechUp]

A heterodin típusú rádiógyújtó működési sugarát az alábbiak alapján lehet megadni:

$$D_m = \sqrt[4]{\frac{P_\Sigma \cdot \lambda^2 \cdot S_c \cdot G^2(\varphi_0)}{(4\pi)^3 \cdot P_{pmin}}} \quad (4.3)$$

ahol: P_Σ – a rádiógyújtó által kisugárzott teljes teljesítmény

λ – az adó által kisugárzott rádióhullámok hullámhossza

$G(\varphi_0)$ – az antenna irányított hatásának a tényezője, a sugárzás maximum φ_0 irányába

P_{pmin} – a vevő érzékenysége- az a minimális visszavert jelszint, amely a rádiógyújtó működéséhez szükséges

S_c – a cél hatásos visszaverő felülete

A rádiógyújtó hatósugara a maximális hatótávolsággal a következőképpen függ össze:

$$r_m = D_m \sin \varphi_0 \quad (4.4)$$

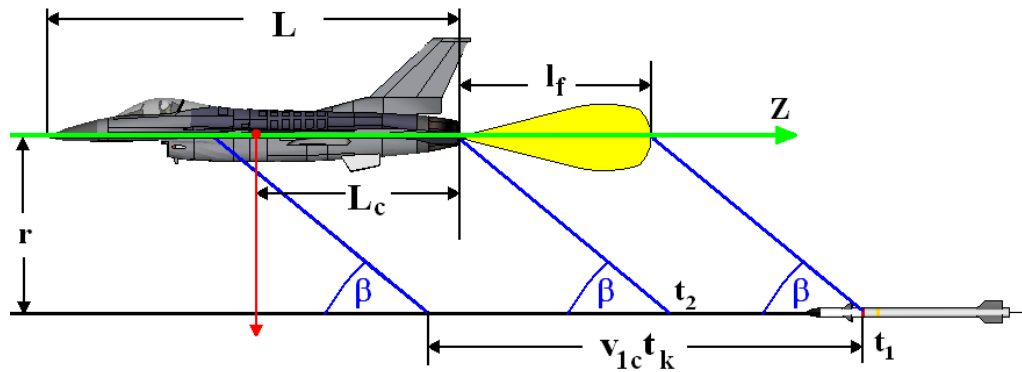
Az autodin típusú rádiógyújtók működési sugarát a következő egyenletből lehet megkapni:

$$D_m = \sqrt{\frac{S \cdot \lambda \cdot G(\varphi_0) \cdot \sqrt{S_c}}{4\pi\sqrt{\Pi} \cdot u_0}} \quad (4.5)$$

ahol: S – a rádiógyújtó adó-vevő berendezés rádiófrekvencia érzékenysége
 u_0 – az alacsonyfrekvenciás erősítő bemenetén az a minimális feszültség, amely szükséges a gyújtó működéséhez

4.2 A passzív típusú optikai gyújtó működési felülete

A 42. ábrán a rakéta célhoz viszonyított helyzete látható. A t_1 időpillanatban az optikai közelségi gyújtó elektromos kapcsolásába bejut a működtető jel Δu feszültségimpulzus formájában; t_2 pillanatban a jel hatása megszűnik. Annak köszönhetően, hogy kicsi az optikai közelségi gyújtó kutatási zónájának a szélessége; a zóna a megközelítési síkban egyenes vonalként tekinthető, amely a rakéta tengelyével β szöget zár be.



42. ábra A rakéta célhoz viszonyított helyzete [1] [Nagy Norbert – Google SketchUp]

Ha az optikai gyújtó a légi cél hajtóművének a kisugárzását érzékeli, akkor a működtető jel a gyújtó elektromos kapcsolásában abban a pillanatban fog megjelenni, amikor a kutatási zóna érinti a hajtóműből kiáramló gázsugár határát és a gázsugár intenzitása is elegendő a gyújtó működtetéséhez. A működtető jel abban a pillanatban fog megszűnni, mikor a hajtómű fúvócsövének az éle elhagyja a kutatási zónát. Ha a gyújtó úgy van beállítva, hogy a működésbe lépési parancsot a működtető jel megjelenésének pillanatában állítja elő, akkor a gyújtó működési felületét a megközelítési síkban egy egyenes vonallal lehet jellemezni, amelynek az egyenlete a következő:

$$Z_0 = L_c + l_f + r \cot \beta - v_{1c} t_k \quad (4.6)$$

ahol: L_c – a cél középpontjától a hajtómű homlokfelületéig mért távolság

l_F – a hajtómű gázfáklyájának a hossza

t_k – működés késleltetés idő

β – a rakéta tengelye és a kutatási zóna által bezárt szög

Az egyenletet a következő formában lehet felírni:

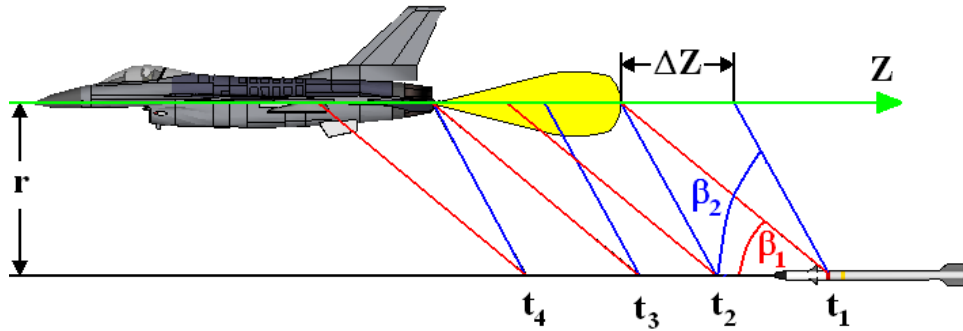
$$Z_0 = a + br \quad (4.7)$$

ahol: $a = L_c + l_F - v_{1c} t_k$ és $b = ctg\beta$

Az optikai közelségi gyújtó működési felülete ugyancsak egy kúp lesz, ahol a csúcs helyzetét a „z” tengelyen az „a” tényező határozza meg. A kúp alkotója a „z” tengellyel β szöget zár be. A (4.6) képletből következik, hogy egy megadott késleltetés és megadott viszonylagos sebesség esetén az optikai közelségi gyújtó működési felületének a helyzete a cél középpontjához viszonyítva a hajtómű gázfáklya hosszúságától függ. Azonban a gáz sugár hosszát a hajtómű üzemmódja, a repülési magasság és egyéb tényezők is befolyásolják. Ez pedig a gyújtó működésében egy bizonyos szórást fog létrehozni. Ezt úgy lehet kiküszöbölni, hogy a gyújtót a működésbe lépési parancsformálásra nem a működtető jel megjelenésének pillanatára állítjuk be, hanem annak befejezése pillanatára. Ezért a működési felületet leíró 4.8 egyenletben nem szerepel a gáz sugár fáklya hossza.

$$Z_0 = L_c + rctg\beta - v_{1c} t_k \quad (4.8)$$

A természetes zavarok elleni védelem érdekében általában kétcsatornás optikai gyújtókat hoznak létre. Ezek két vevőcsatornával rendelkeznek, amelyek egy egyeztető fokozaton keresztül kapcsolódnak. Az egyeztető fokozat akkor állítja elő a működtető parancsot, hogyha a mindkét csatornából egyszerre érkezik be a jel. Az első csatorna felderítési zónája β_1 szöget a második pedig β_2 szöget zár be a rakéta hossz tengelyével (43. ábra).



43. ábra Kétcsonás optikai gyűjtő működése [1][Nagy Norbert – Google SketchUp]

Amikor a rakéta közeledik a célhoz, a hajtómű gázfáklyája először az első csatorna kutatási zónáját keresztezi, majd egy bizonyos Δt időkéssel a második csatorna felderítési zónáját keresztezi.

A vevőcsatornában a beérkező jelek megjelenési pillanata közötti időeltolódás:

$$\Delta t = \frac{\Delta z}{v_{1c}} \quad (4.9)$$

ahol: v_{1c} – a rakéta sebessége a célhoz viszonyítva

Δz – az az út, amelyet a rakéta célhoz viszonyítva Δt idő alatt megtesz

A Δz érték a rakéta célhoz való megközelítés irányába történt r mellélövés értékétől függ. Ha a megközelítés párhuzamos irányban történik:

$$\Delta z = r(ctg\beta_1 - ctg\beta_2) \quad (4.10)$$

és

$$\Delta t = \frac{r(ctg\beta_1 - ctg\beta_2)}{v_{1c}} \quad (4.11)$$

Δt értéke az r mellélövés nagyságával párhuzamosan növekedni fog, ez azt fogja eredményezni, hogy lehatárolja a gyűjtő hatótávolságát. A működési sugarat az alábbi képlet adja meg:

$$r_0 = \frac{\Delta t \cdot v_{1c}}{ctg\beta_1 - ctg\beta_2} \quad (4.12)$$

Azt is figyelembe kell venni, hogy az optikai közelségi gyűjtő működési sugarát az optikai vevők érzékenysége is lehatárolja, így a működési sugarat az alábbiak alapján kapjuk meg:

$$r_m = \begin{cases} r_{01} & \text{amikor } r_0 > r_{01} \\ r_0 & \text{amikor } r_0 < r_{01} \end{cases} \quad (4.13)$$

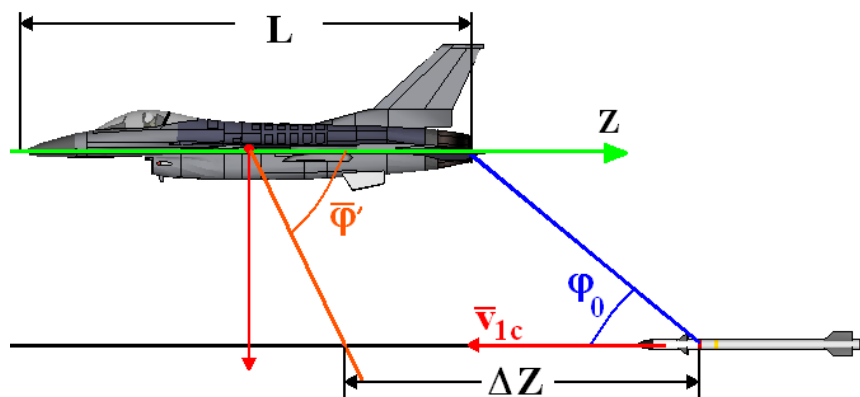
r_{01} – az optikai vevők érzékenységi sugara

A kétsatornás kiépítés zavarvédetség elleni hatékonysága azzal magyarázható, hogy egy felhő mellett $r > r_0$ távolságra repül el a rakéta, a gyújtó nem lesz képes elműködni, bármilyen nagy legyen is az egyeztető fokozatra beérkező impulzusok nagysága. A gyújtó a napkorong hatására sem képes elműködni, mivel az a rakétához viszonyítva végtelen nagy távolságban helyezkedik el, ebből kifolyólag nem tudja egyszerre a két kutatási zónát átszelni.[1][2]

4.3. A működési tartomány hangolása

A működési felület veszélyes robbanások zónájával való illesztése teljesen meg egyezik a két gyújtótípus esetén, ezért bemutatásukat nem szeretném ketté választani. A működési tartomány irányának a hangolását csak a gyújtó szerkezetébe beépített speciális kiegészítő berendezésekkel lehet biztosítani. Erre két módszer létezik: megváltoztatjuk a kutatási zóna φ_0 szögét (pl. az optikai gyújtóknál az optikai rendszer változtatásával lehetséges), vagy megváltoztatjuk a működés késleltetési idejét.

Tervezési szempontból sokkal egyszerűbb a második módszer, ezért én is ezt szeretném részletezni. A 44. ábrán látható, hogy a késleltetési idő akkor fog megfelelni az elvárásoknak – veszélyes repeszek zónájában robbanni –, hogyha a T_z késleltetési idő egyenlő lesz a rakétában a munka jel megjelenési pillanattól a veszélyes robbanási zóna felezővonaláig történő repülési idővel.



44. ábra A működési tartomány hangolása a késleltetési idő változtatásával [1]
[Nagy Norbert – Google SketchUp]

$$T_z = \frac{\Delta Z}{v_{1c}} \quad (4.14)$$

ahol: ΔZ – a „Z” tengely vonalán mért távolság, a működtető jel megjelenésének helyzetétől a veszélyes robbanási zóna felezővonaláig.

$$\Delta Z = \frac{L}{2} + r \operatorname{ctg} \varphi_0 - r \operatorname{ctg} \bar{\varphi} \quad (4.15)$$

A 4.14 és a 4.15 képletekből kapjuk

$$T_z = \frac{1}{v_{1c}} \left[\frac{L}{2} + r(\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \bar{\varphi}) \right] \quad (4.16)$$

A késleltetési idő kiszámításakor a $\bar{\varphi}$ szögértéket a következő képlet alapján nagy pontossággal meg lehet határozni:

$$\bar{\varphi} = \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi_0}{\cos \bar{\varphi} + \frac{v_{1c}}{v_0}} \quad (4.17)$$

ahol: $\bar{\varphi}$ – a repeszek szétrepülésének közepes iránya statikus robbanás esetén

A 4.16 képletbe a 4.17 képletből behelyettesítve, a $\bar{\varphi}$ szög értékét, ki tudjuk számolni a késleltetési időt:

$$T_z = r \left(\frac{\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \bar{\varphi}}{v_{1c}} - \frac{1}{v_0 \sin \bar{\varphi}} \right) + \frac{L}{2v_{1c}} \quad (4.18)$$

A T_z késleltetési idő két komponensből épül fel a t_i tehetetlenségi időből és a kiegészítő berendezés t_k késleltetési idejéből, $T_z = t_i + t_k$. Ha a T_z időt elosztjuk a t_i tehetetlenségi idővel, a következő képletet kapjuk:

$$t_k = r \left(\frac{\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \bar{\varphi}}{v_{1c}} - \frac{1}{v_0 \sin \bar{\varphi}} \right) + \frac{L}{2v_{1c}} - t_i \quad (4.19)$$

A késleltetési időnek pozitív előjelűnek kell lennie, ebből következik az alábbi egyenlőtlenségnek meg kell felelnie az egyenletnek:

$$r \left(\frac{\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \bar{\varphi}}{v_{1cmax}} - \frac{1}{v_0 \sin \bar{\varphi}} \right) + \frac{L}{2v_{1cmax}} \geq t_i \quad (4.20)$$

ahol: v_{1cmax} – az a maximális viszonylagos rakéta sebesség, amelyre a gyújtót kiszámolják

A 4.20 egyenletben szereplő egyenlőtlenségnek minden „r” mellélövés értéknél teljesülnie kell. Ha a mellé lövés sugara $r = 0$, az egyenlőtlenség továbbiakban így alakul:

$$\frac{L}{2v_{1cmax}} \geq t_i$$

Ez a feltétel meghatározza a gyújtó tehetetlenségének maximális értékét. Olyan mellélövés esetén, amikor $r > 0$, a 4.20 egyenletben szereplő egyenlőtlenség a következőképpen írható fel:

$$\frac{ctg \varphi_0 - ctg \bar{\varphi}}{v_{1cmax}} - \frac{1}{v_0 \sin \bar{\varphi}} > 0 \quad (4.21)$$

Ebből az következik, hogy a gyújtó iránydiagramjának a dőlésszögét változó késleltetéssel kell megadni:

$$\varphi_0 \leq \arctg \left(\frac{v_{1cmax}}{v_0 \sin \bar{\varphi}} + ctg \bar{\varphi} \right) \quad (4.22)$$

A 4.19 képletből következik, hogy a t_k késleltetési idő meghatározásához rendelkezünk kell a rakéta mellélövés nagyságának és a viszonylagos sebességnek az adataival. Ha a megközelítés tetszőleges irányban megy végbe, akkor a $\bar{v}_{1c}$ sebességvektornak ismerni kell a nagyságát és az irányát is.

A gyújtóba olyan számítóberendezést kell beépíteni, amely képes a késleltetési időt vezérelni, illetve kialakítja a t_k értékével arányos feszültséget, illetve képes a késleltetés értékét folyamatosan változtatni. Ezt úgy szokták megoldani, hogy a gyújtó szerkezetébe több késleltetési értéket állítanak be, amelyek közül mindegyik egy meghatározott viszonylagos sebesség értéknél biztosítja a gyújtó egyeztetését.

A késleltetési idő vezérléséhez szükséges információk megszerzésére két lehetőség van; vagy a gyújtó saját felszerelt adójával, vagy a hordozó repülőgép és a rakétán elhelyezett műszereknek információi alapján. Általában egyszerűségi szempontok alapján a második módszert szokták alkalmazni. A hordozó repülőgépről lehetőség van a kilövés előtt a viszonylagos sebesség feltételes meghatározására. Illetve a rakéta rávezetés során, az önvezérlő rendszer lehetővé teszi, hogy megkapjuk a viszonylagos sebesség, a mellélövés, megközelítési irány és a rákurzus adatait.[1][2]

A következő táblázatok, a Magyar Honvédségben jelenleg alkalmazott és alkalmazható repülőgép fedélzeti rakéták közelségi gyújtóit tartalmazzák.

JAS-39 Gripen			
Rakéta	Közelségi gyújtó típusa	Harci rész tömege	Hatótávolság
AIM-9 Sidewinder	B – optikai D,G,H – rádió L,M - lézer	9,4 kg	1-18 km
AIM-132 ASRAAM	lézer	10 kg	0,3 -18 km
IRIS-T	rádió	9 kg	25 km
Python-4	lézer	11 kg	15 km
Phyton-5	lézer	11 kg	20 km
AIM-120 AMRAAM	rádió	23 kg	A/B 75 km
A/B C D			C 105 km D 180 km
Derby	lézer	11 kg	50 km
[17][18][19][20][21]			
MiG-29			
Rakéta	Közelségi gyújtó típusa	Harci rész tömege	Hatótávolság
R-60 (AA-8)	rádió M-lézer	3 kg	8 km
R-27 (AA-10)	R, ER-rádió AE-rádió T, ET -rádió	39 kg	R 80 km T 70 km ET 120 km AE, ER 130 km
R-73 (AA-11)	rádió/lézer	7,4 kg	R-73M1 20 km R-73M2 30 km
R-77 (AA-12)	R-77 lézer R-77M1 lézer	30 kg	R-77 90 km, R-77M1 175 km
R-27 (AA-10)	R, ER-rádió AE-rádió T, ET -rádió	39 kg	R 80 km T 70 km ET 120 km AE, ER 130 km
[22][23][24][25][26]			

5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A repülőfegyverzet üzemeltetésének elméleti alapjai IV. Repülőlészerek (RE/997)
- [2] A repülőfedélzeti fegyverberendezések működésének és üzemeltetésének alapjai (RE/ 920/531)
- [3] Zsilák András mk. alez.: Repülőgép-fedélzeti fegyverek megsemmisítő eszközei 598/479, KGyRMF, 1984
- [4] Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök (Id/16 szabályzat)
- [5] Bill Gunston Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó, 1995.
- [6] Dr. Ábrahám György, Panem – McGraw-Hill, Budapest, 1998.
- [7] V.A. Orlov Új eszköz a haditechnikában A lézer
- [8] Az alakulat fegyverzete - MH 59 Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis - Kecskemét (elektronikus dok.) url:
<http://www.mh59.hu/rovatok/hu/bazis/fegyverzet/>
- [9] Burns, R.W.: Early history of the proximity fuze (1937-40) (ieeexplore.ieee.org) (elektronikus dok.) url:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel1/2202/5624/00215243.pdf?arnumber=215243>
- [10] Louis Brown: The Proximity Fuse (ieeexplore.ieee.org) (elektronikus dok.) url:
<http://ieeexplore.ieee.org/iel1/2199/10485/00487892.pdf?isnumber=10485&prod=&arnumber=487892&arSt=1>
- [11] Ferromágnesség (elektronikus dok.) url:
<http://www.freeweb.hu/hmika/Lexikon/Html/Ferromag.htm>
- [12] Környezet (Fényvisszaverődési együtthatóval kapcsolatos elektronikus dok.) url: <http://erg.bme.hu/oktatas/tleir/Rehab/korny.pdf>
- [13] Dr. Kovács Zoltán mérnök-alezredes: Korszerű gyújtók - Haditechnika (elektronikus dok.) url:
<http://www.haditechnika.hu/ARCHIVUM/196803/680301.htm>
- [14] Electronics technology handbook- Google Book Search (lézerekkel kapcsolatos elektronikus dok.) url:
<http://books.google.hu/books?id=VvIkinbVkdgC&pg=PA236&lpq=PA236>

&dq=yag+laser+missile&source=web&ots=yxSZ6PXwq&sig=40KncR6tc
o008aK4NCuABiaNdDA&hl=hu#PPA236,M1

- [15] A villamosságtan alapjai (elektronikus dok.) url:
www.su.ac.yu/Vts/Hun/irodalom/Villamossag/V-TanS.pdf
- [16] Hullámhossz – Wikipédia, a szabad lexikon (elektronikus dok.)
url:<http://hu.wikipedia.org/wiki/Hull%C3%A1mhossz>
- [17] The Sidewinder Story (elektronikus dok.) url:
<http://www.sci.fi/~fta/aim9.html>
- [18] Aim-132 Wikipedia The Free Encyclopedia (elektronikus dok.) url:
http://en.wikipedia.org/wiki/AIM-132_ASRAAM
- [19] IRIS-T Wikipedia The Free Encyclopedia (elektronikus dok.) url:
<http://en.wikipedia.org/wiki/IRIS-T>
- [20] Missiles in NATO service (elektronikus dok.) url:
f6dsh.free.fr/Missiles_in_NATO_service.doc
- [21] Derby – www.israeli.weapons.com (elektronikus dok.) url:
http://www.israeli-weapons.com/weapons/missile_systems/air_missiles/derby/Derby.html
- [22] Russian Air Force, Appendix 5 (elektronikus dok.)
url:<http://www.sci.fi/~fta/ruaf-ap5.htm>
- [23] Vympel R-27 - Wikipedia The Free Encyclopedia (elektronikus dok.)
url:http://en.wikipedia.org/wiki/Vympel_R-27
- [24] Vympel R-77 - Wikipedia The Free Encyclopedia (elektronikus dok.)
url:http://en.wikipedia.org/wiki/Vympel_R-77
- [25] Air to air (A2A) missiles (elektronikus dok.) url:
http://weapons.fighter-planes.com/aam_missiles.htm
- [26] Molniya R-60 - Wikipedia The Free Encyclopedia (elektronikus dok.) url:
http://en.wikipedia.org/wiki/Molniya_R-60
- [27] Die 88mm FlaK (elektronikus dok.)
url:http://www.panzermuseum.de/referenz/fhzdetails/88mm_flak/88mm_flak.htm
- [28] V1 Gregson Lane Article (elektronikus dok.) url:
<http://web.ukonline.co.uk/lait/site/V1%20Gregson%20Lane.htm>

- [29] Az AHEAD lőszer bemutatása (elektronukis dok.) url:
www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2007_cikkek/nagy_norbert.pdf
- [30] Reserve Batteries: The power sources that make munitions tick (elektronikus dok.) url: http://www.ee.buffalo.edu/academics/graduate/seminar/2006_07/DEC08_slides.pdf