



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



**Fedélzeti Rendszerek Tanszék  
Repülőfedélzeti Fegyvertechnikai szakirány**

**REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁKON  
ALKALMAZOTT FÉLAKTÍV ÉS AKTÍV RÁDIÓ  
CÉLKOORDINÁTOROK**

**SZAKDOLGOZAT**

**Készítette:  
CZÖVEK ANDREJ HALLGATÓ**

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

**SZOLNOK  
2008.**

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

.....  
tanszékvezető

## **SZAKDOLGOZATI FELADAT**

**Czövek Andrej**

repülőfedélzeti fegyvertechnikai szakos  
hallgató részére

### **1. Feladat:**

Repülőfedélzeti rakétákon alkalmazott félaktív és aktív rádió célkoordinátorok

### **2. Elkészítendő:**

- A repülőfedélzeti irányítható rakéták felépítése;
- A rádió célkoordinátorok alkalmazási területei;
- A rádió célkoordinátorok típusai, jellemzői;
- A rádió célkoordinátorok felépítése és működése.

**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,
- Kakula János Rakéták szerkezetana, Magyar Néphadsereg Kilián György Repülőműszaki Főiskola, Szolnok, 1989, 3-12. oldal
- Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztító eszközök (Id./16 szabályzat)
- Gunston, B. Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó 1995
- Nagy István György – Lőrincz István Rakétatechnika – Rakétafegyver, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1969
- Nagy István György – Szentesi György Rakétafegyverek, űrhajózási hordozórakéták, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983
- Repülőgép fegyverzet üzemben tartásának elméleti alapjai III. rész Repülőfegyverzet (Re/985)
- Francis Crosby Vadásziprepülő (Az Imperial War Museum fotóival), Zrínyi Kiadó, Budapest, 2003

- В. Г. Григорьев Авиационные управляемые ракеты Часть 1-2, изд. ВВИА им. профю. Н. Е. Жуковского 1984
- 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 be- kötetése	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

.....  
bíró

### 9. A záróvizsga bizottság döntése:

A szakdolgozatot ..... eredményűnek minősítjük.

Szolnok, 2008. .... hó .....-n

.....  
ZV bizottság elnöke

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS .....</b>	<b>7</b>
<b>2. A RAKÉTÁK KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE.....</b>	<b>9</b>
<b>3. REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁK CSOPORTOSÍTÁSA.....</b>	<b>13</b>
3.1. AZ INDÍTÁS ÉS A CÉL HELYE SZERINTI FELOSZTÁS .....	13
3.2. AZ IRÁNYÍTHATÓSÁG SZERINTI FELOSZTÁS.....	13
3.3. AZ IRÁNYÍTÓ ERŐK ÉS NYOMATÉKOK LÉTREHOZÁSA SZERINTI FELOSZTÁS .....	14
3.3.1. <i>A normál rendszer .....</i>	<i>15</i>
3.3.2. <i>A csupaszárny rendszer .....</i>	<i>15</i>
3.3.3. <i>A fordított rendszer.....</i>	<i>16</i>
3.3.4. <i>A forgatható szárnyas rendszer .....</i>	<i>16</i>
3.4. AZ IRÁNYÍTÁSI RENDSZER TÍPUSA SZERINTI FELOSZTÁS .....	17
3.4.1. <i>A távirányítású rendszer .....</i>	<i>17</i>
3.4.2. <i>A programirányítású rendszer .....</i>	<i>17</i>
3.4.3. <i>Az önirányító rendszer.....</i>	<i>18</i>
3.4.4. <i>A kombinált irányítási rendszer.....</i>	<i>18</i>
3.5. A CÉL KIVÁLASZTÁSI MÓDJA SZERINTI FELOSZTÁS .....	19
3.5.1. <i>A félaktív önirányítás.....</i>	<i>19</i>
3.5.2. <i>Az aktív önirányítás.....</i>	<i>20</i>
3.5.3. <i>A passzív önirányítás .....</i>	<i>21</i>
<b>4. AZ IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTÁK FELÉPÍTÉSE .....</b>	<b>23</b>
<b>5. A RÁDIÓTECHNIKAI CÉLKOORDINÁTOROK .....</b>	<b>28</b>
5.1. A CÉLKOORDINÁTOROK FELÉPÍTÉSI ELVE .....	29
5.1.1. <i>Az egy vevőcsatornás antennablokk.....</i>	<i>31</i>
5.1.2. <i>Az antennák irányított működésén alapuló többcsatornás antennablokk .....</i>	<i>33</i>
5.1.3. <i>A rádióhullámok állandó terjedési sebességét felhasználó többcsatornás antennablokk.....</i>	<i>35</i>
5.2. A RÁDIÓ CÉLKOORDINÁTOROK CSOPORTOSÍTÁSA ÉS MŰKÖDÉSE .....	37

5.2.1. Az amplitúdó célpelengációs RCK.....	39
5.2.2. A fázis célpelengációs RCK.....	42
5.2.3. Az amplitúdó-fázis célpelengációs RCK.....	45
<b>6. BEFEJEZÉS .....</b>	<b>49</b>
<b>7. FELHASZNÁLT IRODALOM .....</b>	<b>50</b>

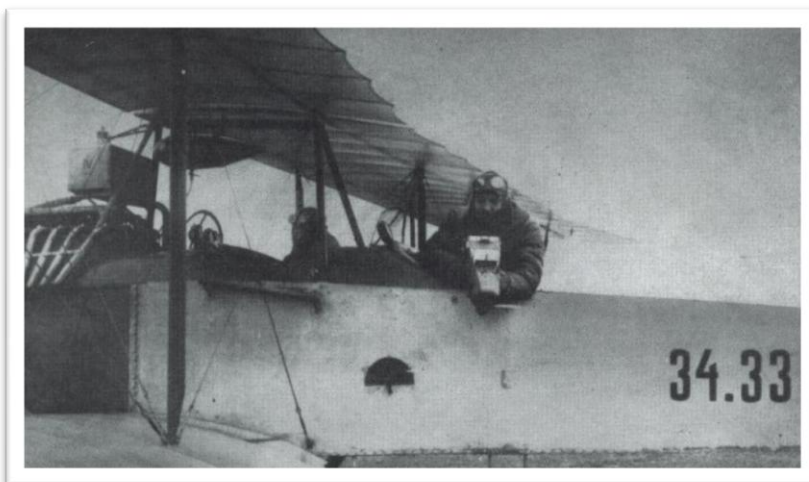
## 1. BEVEZETÉS

*„Nem valószínű, hogy a repülőgépek zavartalanul eleget tudna tenni feladataiknak. A háborúban a fölényért meg kell küzdeni, a légi felderítés fontossága pedig olyan óriási, hogy mindegyik fél igyekszik a másikat megakadályozni benne.”*

(A brit királyi repülőalakulat kézikönyve, 1914)

A XX. század elején, a katonai repülés hajnalán a repülő csapatok a szárazföldi erők szerves részét képezték. Feladatuk a szárazföldi csapatok közvetlen támogatása volt. Elsődlegesen ez a felderítést jelentette, de később további feladatok ellátására is képesnek kellett lenniük. A feladatok szélesebb spektruma, nagyobb bonyolultsága és kockázata miatt a repülőgépeken egyre modernebb és modernebb technológiát alkalmaztak. Azonban minél modernebb egy technológia, annál drágább lesz az adott eszköz előállítása, illetve fenntartása. Nincs ez másképp a repülőgépek esetében sem. Ez a változás arra készítette a tervezőket, hogy a repülést biztonságosabbá tegyék, így nem csak a repülőgép alapvető berendezéseit és alkatrészeit kezdték tovább fejleszteni, hanem az önvédelmet, mint különálló képességet is előtérbe helyezték. A cél a repülőeszköz és a pilóta megóvása volt.

Az I. világháború elején a „scout”-ok (légi felderítő) még teljesen zavartalanul tudták



1. ábra Légyfényképezés az I. világháborúban [34]

ellátni feladataikat, ezzel nélkülözhetetlen információkat biztosítva a szárazföldi csapatok számára. A felderítő repülőgépeknek eleinte nem is volt fegyverzete, később is csupán egy pisztoly volt, amit a személyzet a saját védel-

mének érdekében tartott magánál. Később rájöttek, hogy ezt a szabad információgyűjtést valamilyen módon meg kell akadályozni, ezért a repülőgépeket elkezdték felfegyverezni az ellensége megsemmisítése céljából. Az első légi csata 1913 novemberében zajlott. A mexikói polgárháborúban két járőröző gép keveredett összetűzésbe és próbálták megsemmisíteni egymást. Igaz ez tulajdonképpen nem volt más, mint egy pisztolypárbaj a levegőben és a források alapján senki sem sérült meg, mégis a repülőgép ettől a pillanattól tekinthető harci eszköznek. Így fogalmazódott meg a vadászrepülőök gondolata.

Az I. világháborúban a repülőgép fegyverzete még nem volt annyira hatékony, hogy a felderítésen és az ellenséges tüzéség megfigyelésén kívül más feladatot is ellásson. A pilóták is leginkább kerülték az egymással való találkozást. Azonban a hatékony fegyverzet fontossága nyilvánvalóvá vált.

Az első próbálkozások azok voltak, amikor a géppuskát flexibilisen vagy egy gömbcsuklóval a repülőgéphez erősítették. Ekkor a célzás vagy a pilóta vagy a kísérő feladata volt, de akármelyikük is végezte nagyon balesetveszélyesnek számított a tüzelés. A következő nagy ugrást az jelentette, amikor a géppuskát mereven rögzítették a repülőgéphez és működését szinkronba hozták a forgó légcsavar lapátjaival, ezzel kiküszöbölve az esteleges saját találatot. Ez azonban azt is jelentette, hogy a pilótának tüzelés során közvetlenül a cél irányába kellett tartani a repülőgépet, ami nagyon sok problémát vetett fel. Ezeket a problémákat azonban már csak egy másik eszközzel lehetett kiküszöbölni, ami a rakéta volt. Erre az újításra viszont egészen a II. világháborúig várni kellett. [1][2][6][15][32][33]



## 2. A RAKÉTÁK KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE

Az első írásos feljegyzések az „áramló tűz lándzsájáról” a XIII. századi Kínából maradtak ránk. Alkalmazásukat egy bizonyos Kai-Fung-Fu nevű kínai hadvezér látta nélkülözhetetlennek Pienking városának ostromakor. A város falai túl magasak voltak és a védők jó minőségű íjaikkal nagyon eredményesen verték vissza a támadó csapatokat. Kai-Fung-Fu ezért azt találta ki, hogy saját nyilainak hatótávolságát valamilyen módon meg kell növelnie. A technológia ismert volt a kínaiak számára, hiszen a lőport már a VIII. század óta használták tűzijátékok gyártásánál. Így a hadvezér elrendelte csapatainak, hogy a harci nyilak végére erősítsenek tűzijáték-rakétákat. A feljegyzések szerint Pienking városa ezután 2 napon belül megsemmisült.

A kínaiak természetesen nem nagyon akarták kiadni hadititkaikat, de az arab kereskedők közvetítésével az új csodafegyver Európába is eljutott. Az arab közvetítésről tanúskodnak Hasszan al Rammahn feljegyzései, aki egyszerűen csak „Kína nyilai” néven emlegeti ezeket az eszközöket. Európában azonban nem nagyon alkalmazták a kezdetleges rakétákat, szinte feledésbe merültek, mert találati pontosságuk és lőtávolságuk jelentősen elmaradt a párhuzamosan fejlesztett csöves tüzérségétől. Ez alól kivételt képez Velence 1379-es ostroma, amikor addig nem látott mennyiségben vetettek be a szakirodalom által röppentyűnek nevezett eszközöket. Az előbb említett hátrányai miatt ezután egészen a XIX. századig csak elvétve használták a rakétákat, akkor is csak jelzésre illetve területek éjszakai megvilágítására.

A következő jelentős ugrást a 1799-es indiai függetlenségi mozgalom harcának sikere jelentette. Ebben a háborúban az indiaiak rendkívül eredményesen alkalmazták a stabilizátor szerepét betöltő 2,5-3 méter hosszú bambuszrudakat. Ezzel nem csak a rakéta hatótávolságát tudták megsokszorozni, de jóval pontosabb volt a célba juttatás is. A módszer sikere a pontosságon és a megnövelt hatótávolságon kívül abban is rejlett, hogy ezeket az eszközöket váratlanul és nagy tömegben vetették be (nem ritkán több, mint 5000 rakéta záporozott a brit csapatokra). Nem hiába alakult meg először Indiában regu-láris rakéta egység.

Az újítást az angol csapatoknál szolgáló Congrave ezredes kezdte el tanulmányozni és tovább fejleszteni, amit annyira sikeresen folytatott, hogy a konzervativizmusukról híres angolok 1807-ben ilyen, hajókról kilőtt rakétákkal égették porig Koppenhágát. Ezeknek a rakétáknak a hatótávolsága már meghaladta a 2500 métert is.

Látható, hogy az ókori tűzijátékok eszközéből néhány évszázad alatt jelentős fegyver alakult ki. Mivel azonban ebben az időben nem rendelkeztek a tervezők megfelelő elméleti alapokkal, ezért a rakéták fejlesztése kísérleti úton történt. A töltetek méretének, formájának, összetételének variálásával, illetve a falvastagság változtatásával próbáltak minél jobb és hatékonyabb fegyvereket előállítani. A fejlesztések során azonban problémák merültek fel.



**2. ábra**  
**Konsztantyin E. Ciolkovszkij**  
**(1857-1935) [30]**

Ezeknek a problémáknak a megoldására tette fel életét Konsztantyin E. Ciolkovszkij. 1895-ben fogott hozzá a rakétarepülés és az űrhajózás elméletének, valamint gyakorlatának kidolgozásához. Az orosz tudós 1903-ban publikált „A világűr kutatása reaktív eszközökkel” című munkájában olyan lényeges elveket és elméleteket fektetett le, amelyeket a mai modern űrhajózásban is használnak. A rakéta változó tömege és sebessége, a folyékony hajtóanyagú rakéták alkalmazási lehetőségei, illetve a rakétafokozatok száma téren nagyon fontos összefüggéseket tárt fel.

Bár gondolkodásával jóval meghaladta korát, technikai lehetőségei meglehetősen korlátozottak voltak. Kortársai nem ismerték el őt, egyszerűen fantáziának tartották, s így támogatást sem kapott semelyik hivatalos szervtől elméleteinek gyakorlatba való átültetéséhez.

A rakéták fejlődésében a II. világháború jelentette a következő nagy ugrást. Mind a németek, mind az oroszok tovább folytatták a fejlesztéseket. Igaz eleinte nem túl nagy sikerrel alkalmazták ezeket a pusztító eszközöket, de a náci V-2 ballisztikus rakétája új korszakot nyitott. Ezek után kezdtek el gondolkodni a rakéták repülőgépeken való alkalmazásának lehetőségeiről. A világon először a szovjetek látták el nemirányítható rakétákkal repülőgépeiket. 1937-ben az I-16 és I-153 típusú vadászrepülőkre 8-8 darab RSz-82



3. ábra Az I-16 és I-153 kötelékben [35]

nemirányítható rakétát szereltek fel. Ezek első harci bevetésére 1939-ben került sor, amikor Mongólia felett a szovjetek 10 vadász-, 2 nehéz-, és 1 könnyű bombázó japán felségjelzésű repülőgépet lőttek le. Ezután

azonban ezeket a rakétákat csak földi célok elleni támadásokkor használták, mert a légi harcban hatékonyságuk elmaradt a fedélzeti csöves tüzfegyverekétől. Ennek legfőbb oka a gyújtószerkezet gyenge fejlettségi szintje volt, illetve még nem álltak rendelkezésre a megfelelő speciális célzóberendezések sem.

A II. világháború vége felé megjelentek a sugárhajtású vadászgépek. Nyilvánvalóvá vált, hogy a gépágyúk és a nemirányítható rakéták már nem tudnak megfelelő védelmet biztosítani a repülőgépek számára. Így a hadiiparban dolgozó mérnökök egy olyan megoldást kerestek, mellyel gyorsan és nagy találati valószínűséggel lehet megsemmisíteni egy ellenséges repülőgépet. A tudomány-technika hihetetlen gyors fejlődése és eredményei a rádiólokáció, az elektronika, a félvezető technika és gyártástechnológia területén lehetővé tette az irányítható rakéták kifejlesztését.

Ezek a rakéták lettek a vadászrepülőgépek légi célok elleni fő fegyverei. Az 1960-as években olyannyira úgy gondolták, hogy a rakétákon kívül nem is kell más fegyverzet a repülőgépekre, hogy egyes típusokról el is hagyták a géppuskákat, gépágyúkat. Azonban az 1970-es években ez a trend megváltozott, a repü-

lőgépekre újra visszakerültek a csöves lőfegyverek. Ennek oka nem volt más, mint az amerikaiak vietnámi háborús tapasztalatai. Egy-egy küldetés után mikor az amerikai gépek éppen bevetésről hazafelé tartottak és rakétaikat a feladat végrehajtása során ellőtték, ezek a gépek teljesen védtelenek maradtak. Fegyverzetük híján nem tudtak védekezni, így nem egyszer fordult elő, hogy szovjet illetve vietnámi gépek prédáivá váltak. Azóta is az összes létező vadászgépen fellelhető a gépágyú, mint tartalék önvédelmi fegyver.

Irányítható rakéták először 1958-ban kerültek bevetésre. Tajvan felett egy tajvani F-86 Sabre csapott össze egy kínai Mig-15-sel. A Sabre fel volt szerelve az akkor nagyon modernnek tartott AIM-9 „Sidewinder” típusú rakétákkal. A tajvani felségjelű repülőgép könnyű győzelmet aratott. [1][2][3][9][15][16] [32][33]



4. ábra Egy F-86 „Sabre” visszatérése bevetésről [36]

### 3. REPÜLŐFEDÉLZETI RAKÉTÁK CSOPORTOSÍTÁSA

Az idők folyamán a repülőfedélzeti rakétákkal szemben egyre több elvárás és követelmény fogalmazódott meg. A tudományok fejlődésével ezeknek az elvárásoknak a megvalósítása realitássá váltak. Újabb és újabb rakéták jelentek meg, szerkezeti kialakításuk egyre változatosabb lett, alkalmazásuk pedig sokrétegűvé vált. Így arra a megállapításra jutottak a katonai vezetők, hogy a rakéták csoportosítása elengedhetetlen.

A rakéták osztályozása tulajdonképpen 5 fő szempont alapján történhet:

- az indítás és cél helye szerint;
- irányíthatóság szerint,
- az irányító erők és nyomatékok létrehozása szerint;
- az irányítási rendszer típusa szerint;
- a cél kiválasztásának módja szerint.

Természetesen a rakéták még sok egyéb szempont alapján feloszthatóak, de ezek (rendeltetés, harci rész típusa, alkalmazása, a reaktív hajtómű működési elve, a rakétahajtómű típusa, hatótávolság) nem kapcsolódnak szorosan dolgozatom témájához. [3][10][29]

#### **3.1 Az indítás és a cél helye szerinti felosztás**

Repülőgép fedélzeti rakéták esetében az indítás levegőből történik. Beszélhetünk levegő-levegő, illetve levegő-föld rakétákról. Az e szempont szerinti felosztás esetében azonban nincs lehetőség a megsemmisítő eszköz részletesebb adatainak megismerésére, lényegesebb adatok kiderítésére, a különbségek megadására, rendeltetésük nem lesz egyértelmű. [10]

#### **3.2 Az irányíthatóság szerinti felosztás**

Az irányíthatóság, mint tulajdonság arra utal, hogy az indítás után a rakéta képes-e röppályájának megváltoztatására. A nem irányítható rakéták esetében nem beszélhetünk fedélzeti célzó berendezésről. A hajtómű, a stabilizátorok, a harci rész csak arra ad lehetőséget, hogy a célzás az indító berendezés megfelelő térbeli helyzetbe állításával történjen. Ilyen rakéták alkalmazása-

kor a pilóta általában a repülőeszköz hossz tengelyével céloz. A találat nagyon sok változótól függhet: a célzás pontosságától, a légköri változásoktól (szél, köd, stb.), a cél mozgásától, és ami a legfontosabb, a szerkezeti elemek gyártási szórásértékétől. Ez utóbbi leginkább a szerkezeti kialakítás függvénye.

Ezzel ellentétben az irányítható rakéták minden esetben rendelkeznek valamilyen speciális célzó berendezéssel. Ennek a berendezésnek köszönhetően a rakéta mozgása irányíthatóvá válik a cél megközelítése során. A célzó berendezés legfőbb szerkezeti elemei:

- célkoordinátor az erősítővel;
- vezérlőjel kialakító egység;
- robotpilóta;
- kormánygépek és kormányfelületek (szárnyak).

Ezek az elemek nagyban növelik a lövészet pontosságát a rakéta röppályán való irányításával. Elterjedésük és alkalmazásuk széles köre ezzel magyarázható. [3][9][10][16][20][24][29]

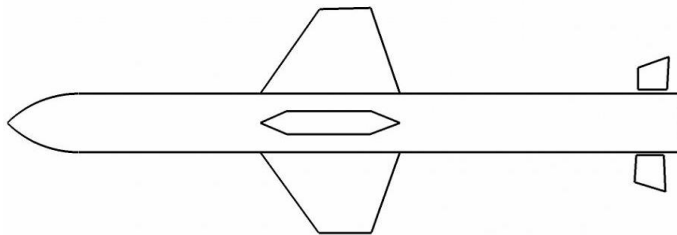
### **3.3 Az irányító erők és nyomatékok létrehozása szerinti felosztás**

Mivel a rakétákat sosem egy embere fejlesztette, ezért nagyon sok fajta elképzelés született arról, hogy egy rakétát milyen módon lehet a leghatékonyabban irányítani. Persze később kiderült, hogy nincs tökéletes irányítófelület-elrendezés. Minden alkalmazási típusnak más és más előnyei és hátrányai vannak. Ennek megfelelően 4 féle aerodinamikai elrendezés valósult meg és került alkalmazásra:

- normál rendszer;
- csupaszárny rendszer;
- fordított rendszer;
- forgatható szárnyas rendszer.

### 3.3.1 A normál rendszer

Normál aerodinamikai kialakításról akkor beszélünk, ha a kormányok a szárnyak mögött helyezkednek el. Nagy előnye, hogy a kormányok kitérítésekor keletkező légörvények nincsenek hatással a szárnyakra, így azok kihasználtsága



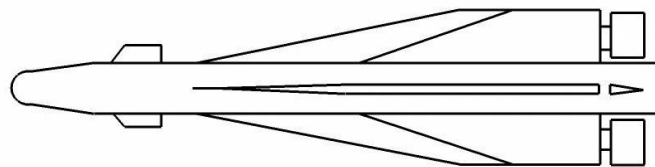
5. ábra A normál rendszer elvi rajza [3] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

nyak mögött helyezkednek el. Nagy előnye, hogy a kormányok kitérítésekor keletkező légörvények nincsenek hatással a szárnyakra, így azok kihasználtsága

nagyon magas fokú. Ezzel a megoldással a rakéták maximális állásszöggel repülhetnek és jelentős kormánykitérítések hozhatók létre. Hátránya ugyanabban rejlik. A kormányokon és a szárnyakon keletkező irányítóerők ellentétes hatása miatt az eredő csökken. Ennek kiküszöbölésére nagyon nagy kormányfelületeket kell a rakétákra rakni, ami viszont tömegnövekedéssel jár, valamint nehézséget okoz a konstrukciós kialakításnál a hajtóműben keletkezett gázok elvezetése, illetve a kormány szerkezetek elhelyezése. [3][10]

### 3.3.2 A csupaszárny rendszer

A csupaszárny rendszer a normál aerodinamikai kialakítás egy speciális formája. Ebben az esetben a kormányok a szárnyak kilépő élein helyezkednek el. Ebből fakadóan előnyei és hátrányai szinte megegyeznek a normál rendszerével. Azzal viszont, hogy a rakétatestet szinte végigkövetik a szárnyak csökken



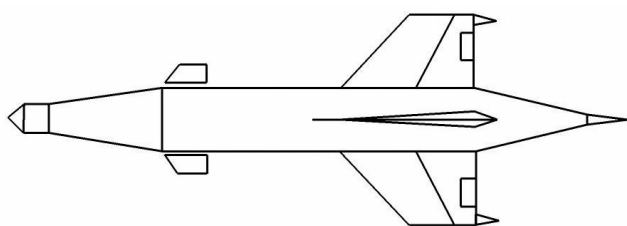
6. ábra A csupaszárny rendszer elvi rajza [3] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

a fesztávolság, könnyebbé teszi a repülőgépre való függesztést és növelhető a test szilárdsága is. Ezáltal a szárnyak igénybevétele sokkal kisebb lesz, így csökkenthető a tömeg. A csupaszárny rendszer esetében a szárnyakat minden esetben hátra kell tolni, hogy azok ne takarják el az önirányító fejet, a gyújtót és a harci részt. Viszont a szárnyak hátrátolásával növekszik a rakéta stabilitása és ezzel együtt csökken az irányíthatóság. Ezt általában úgy küszöbölik ki, hogy a

rakéta orr részén kis aerodinamikai felületeket helyeznek el, amelyek destabilizálják azt. Ezeket destabilizátoroknak nevezzük. [3][10]

### 3.3.3 A fordított rendszer

A fordított vagy más néven kacsas rendszer a normál rendszer ellentéte, a kormányok a szárnyak előtt helyezkednek el. A mai legmodernebb, ötödik generációs rakétákon legtöbbször ezt a megoldást alkalmazzák. Ennek magyarázata az, hogy rengeteg előny származik a kialakításból: a szárnyakon és kormányokon azonos irányú irányító erők keletkeznek, a kormányok hatékony működését nem befolyásolja a szárnyakon keletkezett levegőáramlatok. Ezzel csökkenthető a kormányfelület, valamint sokkal egyszerűbb lesz a szerkezeti elemek elhelyezése.



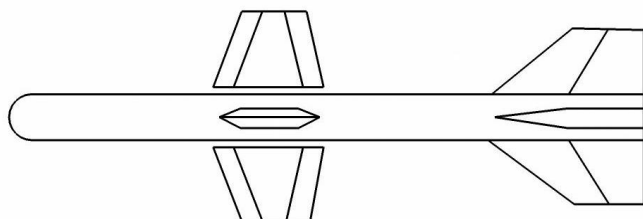
7. ábra A fordított (kacsas) rendszer elvi rajza [3] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

kormányfelület, valamint sokkal egyszerűbb lesz a szerkezeti elemek elhelyezése.

Természetesen hátrányai is vannak a kacsas rendszernek. Ezek közül a legfontosabb, hogy a kormányok maximális kitérítésekor a szárnyak kihasználtsága jelentősen csökken, valamint a kormányokon keletkezett légáramlatok kedvezőtlenül hatnak a rakéta irányíthatóságára. Ezt a problémát általában rolleronokkal (pörgettyűs csűrőkormányokkal) esetleg elevonok elhelyezésével szokták kiküszöbölni. [3][10]

### 3.3.4 A forgatható szárnyas rendszer

A fordított rendszerrel analóg forgatható szárnyas rendszer annyiban különbözik az előbb említettektől, hogy a kormányfelületek helyett nagyméretű aerodinamikai felületeket alkalmaznak, így ezek már szárnynak tekinthetők. A stabilizátor feladatát a rakétatest végén elhelyezett rögzített aerodinamikai felületek látják el. Rendkívül



8. ábra A forgatható szárnyas rendszer elvi rajza [3] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

különbözik az előbb említettektől, hogy a kormányfelületek helyett nagyméretű aerodinamikai felületeket alkalmaznak, így ezek már szárnynak tekinthetők. A stabilizátor feladatát a rakétatest végén elhelyezett rögzített aerodinamikai felületek látják el. Rendkívül

különbözik az előbb említettektől, hogy a kormányfelületek helyett nagyméretű aerodinamikai felületeket alkalmaznak, így ezek már szárnynak tekinthetők. A stabilizátor feladatát a rakétatest végén elhelyezett rögzített aerodinamikai felületek látják el. Rendkívül



vülisége abban rejlik, hogy az irányítóerők létrejötte a szárnyak elmozdulásával szinte egy időben történik. Ennek eléréséhez viszont nagyon nagy sítményű kormánygépekre van szükség, ami jelentősen növeli a pusztító eszköz tömegét. Az egyensúlyi állásszög is kicsi, mert az aerodinamikai felületek nincsenek teljesen kihasználva.

### **3.4 Az irányítási rendszer típusa szerinti felosztás**

Megkülönböztetünk távirányítású, önirányítású, programvezérelt és kombinált irányítású rendszereket. Azért alakult ki ilyen sokféle irányítási mód, mert a különböző feladattípusok különböző rávezetési módszereket követeltek meg. [1][2][14][21][23][29]

#### **3.4.1 A távirányítású rendszer**

Az ilyen típusú rendszerekben az irányító jel a rakétán kívül jön létre. A rakéta ezt a jelet kaphatja egy megfigyelőtől, rávezető állomástól vagy akár magától a starthelytől is. Tulajdonképpen ez a jel egy parancsjel, aminek hatására a kormányfelületek kitérnek, ezzel megváltoztatva a rakéta röppályáját. A távirányítású rakéták rengeteg „csatornán” kaphatják meg a vezérlőjelet. Lehet ez egy közvetlen vezetéken érkező jel, egy rádiójel, amelyet egy rádió vagy lokátor állomás sugároz, infra- vagy lézersugárzás. Ezen felül a második Öbölháború idején egy újfajta irányítási mód jelent meg. Az amerikaiak videokamerát szereltek a rakétafejekbe és az ily módon kapott képi információ alapján vezették rá a megsemmisítő eszközt a célra. Azzal, hogy a parancsközlés szinte közvetlen módon történik nagy lesz a zavarvédelem, viszont korlátokat szab az irányító személy tapasztaltsága és gyakorlottsága, valamint az időjárási körülmények. [1][2][14][21][23][29]

#### **3.4.2 A programirányítású rendszer**

Abban az esetben, ha egy rakétán ilyen típusú irányítás alkalmaznak, akkor az azt jelenti, hogy a rakéta repülése egy előre meghatározott program szerint történik. A programot az indítást megelőzően betáplálják a rakéta irányítórendszerébe, ezzel elérve azt, hogy a rakéta ne legyen kapcsolatban sem az indítási ponttal, sem a céllal. Ez nagyon magas zavarvédeltséget biztosít. Ah-

hoz azonban, hogy a rakéta célba érjen különböző mérőberendezéseket (sebesség és integráló giroszkópokat, gyorsulás- és magasságmérőket, útszámláló berendezéseket) kell a rakétába szerelni. Ezek szinte bármelyikének meghibásodásakor a rakéta célt téveszthet. A berendezések úgy változtatják a rakéta mozgását, hogy az megfeleljen a program szerinti értékeknek. A mérőberendezések típusától és összetételétől függően megkülönböztetünk:

- pörgettyűs;
- inerciális;
- csillagászati tehetetlenségi;
- földi tájékozódási pontok

alapján működő irányítási rendszereket. Mivel a repülési program nem változtatható ezért ezt a típusú irányítási rendszert akkor alkalmazzák, ha célkoordinátái előre ismertek. Általában nagy hatótávolságú levegő-föld és föld-föld rakétákon használják. [1][2][14][21][23][29]

### *3.4.3 Az önirányító rendszer*

Az ilyen típusú irányítási rendszerekben az irányítást rakéta fedélzetén elhelyezett célkoordinátor végzi. A célkoordinátor feladata, hogy meghatározza a rakéta és a cél kölcsönös helyzetét. Ezt úgy valósítják meg, hogy segédenergia felhasználásával felerősítik a céljelet, amely a kormány szerveket működteti. [1][2][14][21][23][29]

### *3.4.4 A kombinált irányítási rendszer*

A kombinált irányítási rendszer kifejlesztésének szükségességét az jelentette, hogy biztosítani tudják a magas rávezetési pontosságot nagy indítási távolságok esetén is. A rendszer úgy működik, hogy a röppálya elején az irányítható rakéta cél-közelbe juttatása program- vagy távirányítással történik, majd miután megtörtént a célkoordinátorral való befogás az eszköz áttér az önirányításra.

Vannak viszont olyan kombinált rendszerek, ahol az irányítási rendszert nem változtatják, csak a célkiválasztás módját kombinálják. Egyre több rakétában figyelhető meg az a megoldás, hogy egy félaktív rádiólokációs és egy passzív infravörös célkoordinátort helyeznek el az önirányító fejben. Tulajdonképpen a két csatorna attól függően, hogy melyik rendszer tudja hatéko-

nyabban rávezetni a rakétát a célra, váltogatják egymást. A csatornák párhuzamosan dolgoznak és az átkapcsolás a hasznos jel szintjétől függ. A megoldás nagy előnye a magas zavarvédetség és a harci alkalmazás széles spektruma, ám ez egyben nagyon bonyolulttá teszi a rakéta irányítását, valamint szerkezeti kialakítását. Természetesen az ilyen típusú rakéták jóval drágábbak az átlagosnál. [1][2][14][21][23][29]

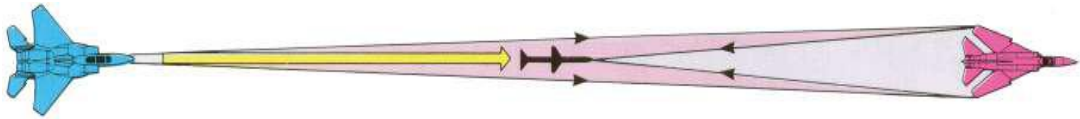
### **3.5 A cél kiválasztási módja szerinti felosztás**

A cél kiválasztásának módja szerint három fő csoportot különböztethetünk meg: aktív, félaktív illetve passzív. Az első két csoport a cél megvilágítását használja fel. Ez olyan módon történik a célt a „háttérből” elektromágneses hullámokkal (rádiólokátor sugara, infravörös vagy lézersugárzás) mesterségesen emelik ki. A cél által visszavert elektromágneses energiát a célkoordinátor fogja venni, így közölve információt a cél helyzetére, mozgására. Passzív önirányítás esetén nem beszélünk célmegvilágításról, a rakéta a cél által kisugárzott jeleket használja fel. A felosztás során a dolgozatomban témájából fakadóan a rádiófrekvenciás jelek felhasználásán alapuló önirányítási módokat emelem ki jobban. [1][2][10][11][14]

#### **3.5.1 A félaktív önirányítás**

A repülőfedélzeti rakétákon ez a legelterjedtebb célbefogási mód. A félaktív kifejezés arra utal, hogy a rakéta a célbefogáshoz nem az általa kisugárzott jeleket használja fel. A cél megvilágítását általában a hordozó repülőgép végzi, esetleg egy lokátor-állomás. A rakéta a cél által visszavert jeleket használja a kormányberendezések működtetéséhez, a célravezetéshez. Legnagyobb hátránya az, hogy a besugárzó repülőgépnek folyamatosan meg kell világítani a célt a rakéta számára különben az nem ér el találatot. A repülőgép ebből kifolyólag kiszolgáltatott lesz, mert manőverezési lehetőségei korlátozottak lesznek. A másik negatívum az, hogy a megtámadott repülőgép érzékelheti a támadó repülőgép „besugárzását”, elektronikus ellentevékenységgel zavarhatja azt és kitérő manővereket tehet.

A legtöbb félaktív önirányítású rendszer a rádiófrekvenciás jeleket használja fel. Ennek oka az, hogy a rádiófrekvenciás jelek haladását nem befolyásolják annyira a környezeti tényezők, mint a többi jelfajtáét. Elerjedéséhez sokban hozzájárult a rendszer egyszerűsége és költséghatékonysága is.



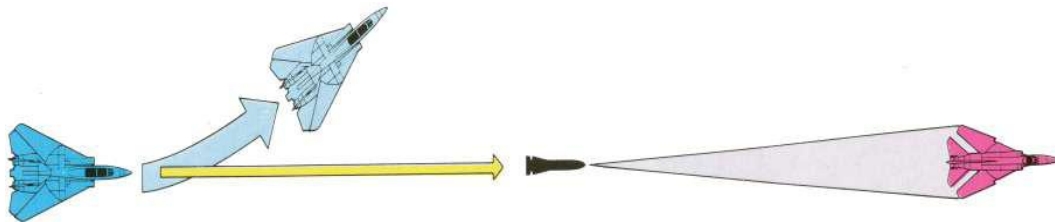
9. ábra Félaktív önirányítási rendszer [9]

A mai modern félaktív rádiólokációs önirányítási rendszerek folyamatos rádiójeleket alkalmaznak. Ezzel ellentétben a repülőgépek radarjai impulzus üzemműek, mégis mindegyik rendelkezik folyamatos üzemműddal. Egy-két repülőgép külön erre az üzemműdra és rakétairányításra kifejlesztett úgynevezett pod-okat alkalmazott. Ilyen például az orosz MiG-23 és MiG-27 típusú repülőgép. A tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy ezek a konténerek nagyban rontják a harci eszköz repülési jellemzőit, így a későbbiekben nem kerültek alkalmazásra. [1][2][10][13][16]

### 3.5.2 Az aktív önirányítás

Az aktív önirányítás lényege az, hogy célmegvilágítás és a cél befogása a rakéta fedélzetén elhelyezett berendezésekkel történik. Természetesen ez megnöveli a költségeket illetve a rakéta tömegét, napjainkban azonban mégis elterjedtnek mondható ez a megoldás. Legtöbbször kombinált irányítási rendszerekben alkalmazzák, ugyanis a rakéta lokátorának méretei korlátozottak, így a célbefogás távolsága sem túl nagy.

A mai aktív lokátoros önirányítású rakéták saját lokátorral rendelkeznek. A megsemmisítő eszköz röppályáját az általa kibocsátott és a célról visszavert jelek módosítják. Ennek a megoldásnak az a nagy előnye, hogy a rakéta indítása után nincs kapcsolat a rakéta és a hordozó repülőgép között, azaz teljesül a „tüzelj és felejtse el” elv. Így megóvható a repülőtechnika és a személyzet testi épsége.

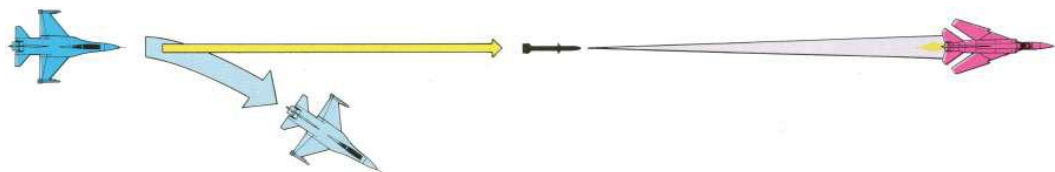


**10. ábra Aktív önirányítási rendszer [9]**

Az aktív lokátoros önirányítású rakéták előtt még nagy jövő áll. A rádió-technika fejlődésével egyre jobb és nagyobb teljesítményű radarokat helyeznek majd el a rakétákban, amivel tovább nő a célbefogási-megsemmisítési távolság, a számítástechnika fejlődésével akár több funkciót is elláthatnak egyszerre, gyorsabbak lesznek a számítási folyamatok, így a pilóta valamint a repülőgép még biztonságosabb helyzetbe kerül, minimálisra csökkenthető a veszteség. [1][2][10][12][13][16][19][23]

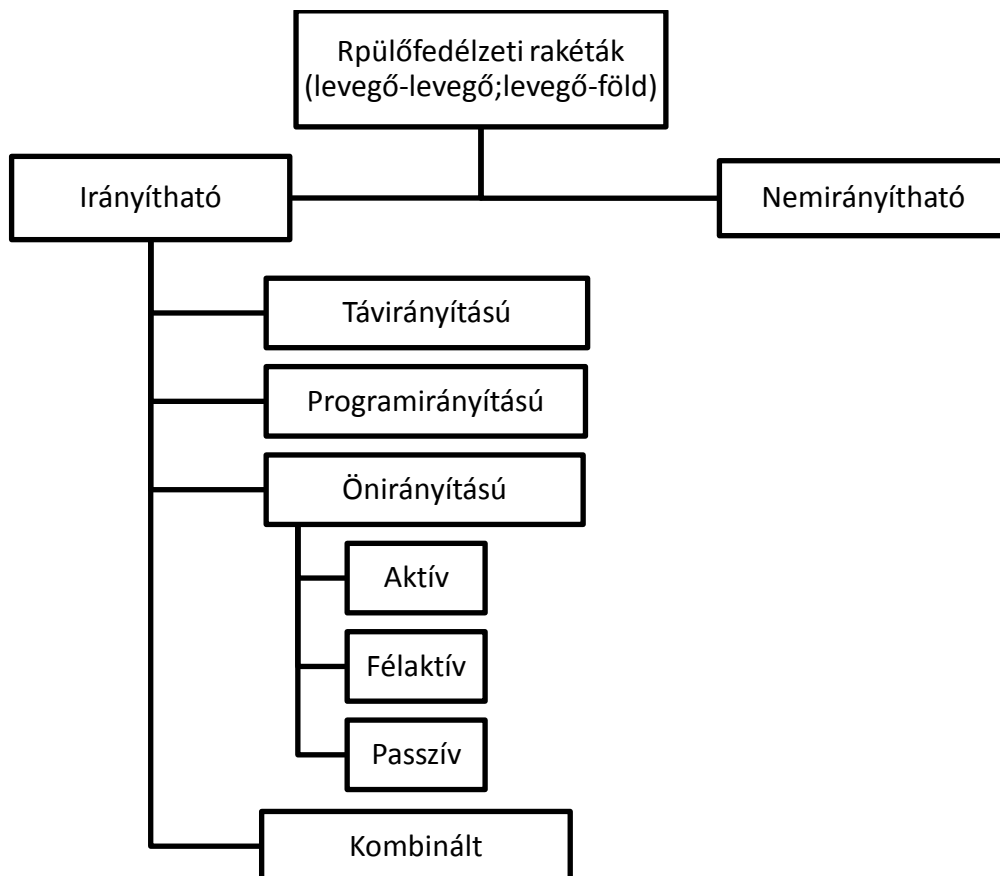
### 3.5.3 A passzív önirányítás

A passzív önirányítási rendszerek a célok természetes kisugárzását használják fel. Ez lehet fény, hang vagy akár hő is. Ilyen típusú önirányítás esetén a rakétán csak vevőberendezés található. A legtöbb rendszer az infravörös jeleket használja a rávezetésre. Ez az infra- tartományba tartozó jel többnyire az ellenséges cél hő-kibocsátásából származik. Lehet ez a hajtóműből távozó égési gázok vagy akár a felmelegedett sárkányszerkezet hője. A legmodernebb passzív infravörös rendszerekkel rendelkező rakéták már olyan érzékenyek is lehetnek, hogy akár a pilóta testének hőmérsékletét is fel tudják használni a cél befogására. Közel-légiharcra rendkívül jól alkalmazhatóak az ilyen megsemmisítő eszközök. A maximum 25-30 km-es hatótávolság azonban nagyon beszűkíti alkalmazásuk határait. Másik nagy hátránya a rendszernek, hogy hatékonysága nagyban függ az időjárási viszonyoktól, a Nap irányában csak korlátozottan alkalmazható és infra- csapdákkal könnyen zavarható.



**11. ábra Passzív önirányítási rendszer [9]**

Vannak azonban olyan rakéták, amelyek passzív önirányítással rendelkeznek, mégis a rádiófrekvenciás jelek szolgálnak a célbefogás alapjául. Az ilyen típusú rakéták nem nagyon terjedtek el, mert a repülőgépeket jól leárnyékolják, ám lokátor-állomások, rádióállások ellen kitűnően alkalmazhatóak. Egyik legjelesebb képviselőjük, az orosz H-25MP levegő-föld osztályú rakéta speciálisan erre a célra lett kifejlesztve. Rendeltetése az ellenség rádiós felderítőegységeinek, lokátor-állomásainak megsemmisítése volt. Azonban ez a rakéta sem tisztán passzív önirányítású, mert irányítása ki lett egészítve inerciális programirányítással a nagyobb hatótávolság elérése érdekében. [1][2][10]



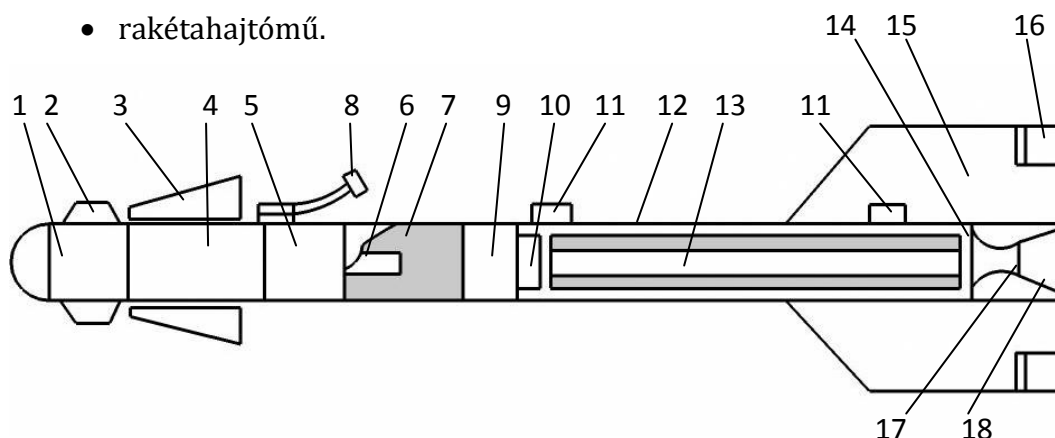
12. ábra A repülőfedélzeti rakéták csoportosítása

## 4. AZ IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTÁK FELÉPÍTÉSE

Az irányítható rakéták a légierő fő fegyverzetét képezik a légi célok megsemmisítéséhez, azonban alkalmazhatóak földi célok ellen is.

Az irányítható rakéták mindegyike 6 fő szerkezeti egységből épül fel. Ezek:

- az önirányító fej;
- a kormányrekesz;
- a gyújtószerkezet;
- a harci rész;
- az energia tápblokk;
- rakétahajtómű.



1	önirányító fej	7	harci rész	13	hajtómű égőtere
2	de stabilizátor	8	elektromos csatlakozó	14	diafragma
3	kormányfelületek	9	energia tápblokk	15	stabilizáló szárny
4	kormányrekesz	10	indítótöltet	16	pörgettyűs csűrő
5	gyújtó	11	függesztési csomópont	17	záródugó
6	BV szerkezet	12	rakétahajtómű	18	fúvócső

**13. ábra Az irányítható rakéta felépítés [3] alapján  
készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)**

A vezérlő berendezés az önirányító fejből és a kormányrekeszből áll. Ez biztosítja a megengedett célzási hibák és célmanőverek között a rakéta célra vezetését. Az önirányító fej, amely egy szerelési egységet alkot a célkoordinátort és az elektronikus blokkot foglalja magába. Ez az egység minden esetben a rakéta elején helyezkedik el és olyan borítással rendelkezik, amely átengedi a céljeleket. Rádió célkoordinátoros rakéták esetében az önirányító fej általában kúp alakú, amely kúp legtöbbször kerámiából készül. Félaktív lokátoros

rakéták esetében a farok részben vagy a szárnyak végén található az antenna, amely biztosítja a megbízható összeköttetést az irányítási zónán belül a repülő-hordozóval a rakéta bármely helyzetében. Ahhoz, hogy a rakéta lengései ne befolyásolják annyira a robotpilótában található szögsebesség és gyorsulásadók működését, ezért a robotpilótát minél közelebb kell helyezni a tömegközépponthez. Az úgynevezett erőátviteli berendezések és az ezekhez tartozó vezetékeket minden esetben a kormányfelületek közvetlen közelében helyezik el. Ezzel a nem csak csökkenthető a megsemmisítő eszköz tömege, hanem szerkezeti egységét is jóval egyszerűbbé lehet tenni, ami nélkülözhetetlen a gyors és hatékony üzemeltetéshez. Ugyanilyen elven helyezik el az energiaforrásokat is. Az energiaforrások vezetékeit minden esetben a rakétatesten belül helyezik el, hogy azok ne befolyásolják negatívan a rakéta paramétereit.

A következő szerelési egységet a harci rész és a gyújtószerkezet alkotja. A repülőfedélzeti irányítható rakéták nagy százalékában repesz-romboló harci részt alkalmaznak. A romboló hatást a lökéshullám, az ellenséges cél létfontosságú részein okozott sérülést pedig a repeszek biztosítják. Régebben a harci részt a rakéták elejébe helyezték, hogy egy esetleges találat esetén minél nagyobb legyen a pusztítás. Azonban a tapasztalatok azt mutatták, hogy a kontakt-találat valószínűsége igen kicsi, így egy olyan megoldást kerestek, amely nagy százalékban biztosítja az ellenséges eszköz elpusztítását. Így rakétatervező-mérnökök arra a megállapításra jutottak, hogy a harci részt a rakéta közepén kell elhelyezni. Ezzel a megoldással akkor is biztosított a megsemmisítés, ha a rakéta az ellenség közelében robban. A nagyobb pusztítás érdekében a repeszek alakját is tovább fejlesztették, így kialakult az úgynevezett pálcás repesz. Ilyen repeszek találhatóak például az R-73 típusú rakétában. A harci részt általában nem takarják szárnyak, kormányfelületek, esetleg vezetékek, hogy a repeszek szétrepülését semmi se akadályozza.

A harci rész időben való robbanásáért a gyújtószerkezet felel. A gyújtók formálják a harci rész felrobbantásának jelét. A repülőfedélzeti rakétákban rádió-, optikai-közelségi vagy csapódó gyújtót alkalmaznak. A rádiógyújtókat általában a hajtóműtől távolabb helyezik el. Ennek oka az, hogy a rádiógyújtók érzékenyek a rezgésekre. Annak megakadályozására, hogy a rádiógyújtó



adójának jelei közvetlenül a vevőre vetüljenek, az antennákat nem helyezik a szárnyak vagy kormányfelületek közé. Ugyanis a legtöbb esetben ezek elkülönülnek egymástól (még hosszirányban is), így azok zavarhatják egymást. Abban az esetben viszont, hogy ha közös egységben vannak, akkor az előbb említett problémák nem lépnek fel. Az optikai közelségi gyújtó arról ismerhető fel könnyedén, hogy felületén körben kis átlátszó ablakok találhatóak. Elhelyezése a harci rész közelében a legcélszerűbb. A csapódó gyújtók adói az orrészben vagy a rakéta szárnyainak élein találhatóak, viszont a gyújtó maga ebben az esetben is a harci rész mellett van. Ezek az érintkezők piezoelektromos vagy induktív adók útján formálják a harci rész felrobbanásának jelét.

Ahhoz, hogy a harci rész ne működjön el szállítás, tárolás, karbantartás vagy rakétaindítás idején egy úgynevezett biztosító-végrehajtó (BV) szerkezetet helyeznek el a megsemmisítő eszközben. Az eszköznek a robbanás megakadályozásán kívül még más funkciói is vannak. Egyrészt zavarvédelmet biztosít a rakéta számára a cél közelébe éréséig, másrészt szükség esetén (ez legtöbb esetben céltévesztést jelent) beindítja a rakéta önmegsemmisítésének folyamatát.

A rakéta autonóm repülése közben az energia tápblokk biztosítja a pneumatikus és elektromos energiát a fedélzeti berendezések számára. Az egyes rekeszek biztonságtechnikai és megbízhatósági okokból rendelkezhetnek önálló energiaforrással is. Ezek a lőporok elgázosításával vagy sűrített levegőt tartalmazó palackok alkalmazásával a kormányberendezések, stabilizáló szerkezetek és turbó-generátorok működését biztosítják. Az elektromos energiát különböző akkumulátorokból vagy turbó-generátorokból nyerik.

A hajtómű rendeltetése egyértelmű: biztosítani a rakéta repülését olyan sebességgel, amely elegendő a cél elfogásához. Az égőtér egyben a „teherhordó” feladatát is ellátja, ugyanis ez a rész fogja fel az itt keletkező összes külső terhelést. A rakétákban alkalmaznak folyékony illetve szilárd hajtóanyagú hajtóműveket is. A két változat közül a szilárd hajtóanyag terjedt el. Ugyanis a lőportöltet égése sokkal kiszámolhatóbb, tárolása egyszerűbb és biztonságosabb, valamint előnye az is a folyékony hajtóanyaggal szemben, hogy hirtelen irányváltoztatás során nem változik hirtelen a rakéta tömegpontja.

A hajtómű elhelyezése történhet a rakétatest hátsó vagy középső részében. Ha a töltet viszonylagos tömege nem haladja meg a 0,25-ös értéket akkor a hajtóművet a rakéta hátuljában helyezik el. Ekkor sokkal egyszerűbbé válik a szerkezeti kialakítás, a fúvócső elhelyezése. A megoldás másik nagy előnye, hogy tömeg szempontjából is jóval kedvezőbb. Viszont ezzel párhuzamosan felvetődik az a probléma, hogy a hajtómű kiégésekor a tömegközéppont jelentősen eltolódik, ami stabilitási és irányíthatási gondokat szül.

Abban az esetben viszont, ha ez a viszonylagos tömeg meghaladja a 0,25-ös értéket, a rakéta hajtóművet a test középső részében helyezik el. Ekkor ugyan csökken a tömegközéppont „vándorlásának” mértéke, de a gázok elvezetésére más módot kell találni. Ennek két módja van:

- a fúvócső hagyományos módon elhelyezhető, ha hosszú gázvezetőket alkalmaznak;
- a gázok elvezetése oldalirányba történik fúvókákon keresztül.

A hajtóművek indítótöltettel vannak ellátva. Működés közben a forró, nagy nyomású gázok a fúvócsövöken keresztül távoznak. Ezeknek elzáródását diaphragmák alkalmazásával oldják meg.

A csűrőkormányokat és pörgettyűs csűrőket, attól függően, hogy melyiket alkalmazják, a rakéta stabilizáló szerepét ellátó szárnyaira szerelik. A de stabilizátorok a feladata a rakéta-irányítás hatékonyságának növelése.

Az indító berendezés vezetősínéhez való rögzítést a függesztési csomópontok biztosítják. Az energiaellátás, visszaellenőrzés és indítás a repülőgépről különböző elektromos csatlakozókkal valósítható meg.

Az egyes részek általában csereszabatosak. A különböző részek egymáshoz csatolása nagyon sokféle módon oldható meg. A rakéták egységeit konténerekben összeszerelve vagy részegységenként ládázva tárolják és szállítják. A csomagolás minden esetben hermetikus elzárást jelent. A szerelés csakis műszaki állomáson történhet műszaki ellenőrzés után. Innen kerülhet a rakéta további tárolási helyre vagy függesztésre.

Napjaink rakétaival szemben nagyon szigorú követelmények fogalmazódtak meg. Ezek a követelmények négy fő alappilléren állnak:

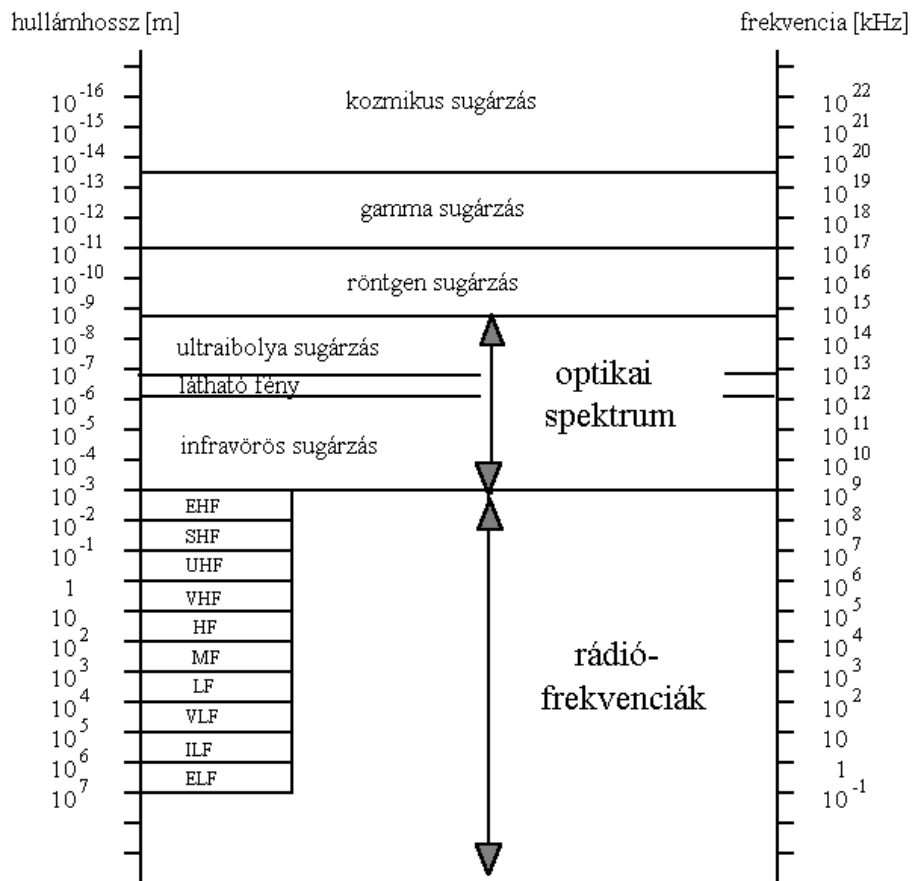
- magas fokú megbízhatóság;

- egyszerű és biztonságos üzemeltetés;
- minimális tömeg;
- magas fokú automatizáltság (egyszerű gyártás és kis munkaigény).

Mindezek után elmondható, hogy a rakéták építésének, tervezésének folyamata nagyon magas képzettséget igényel. Nem csoda, hogy a rakéták tervezőmérnökeit a legjobbak közül választják. [1][2][3][5][7][10][16] [20][26]

## 5. A RÁDIÓTECHNIKAI CÉLKOORDINÁTOROK

A rádiótechnikai célkoordinátorok (RCK) feladata és rendeltetése azoknak a szögkoordinátáknak a mérése, amelyek meghatározzák a távolságvекtor térbeli helyzetét a koordinátor hossz tengelyéhez képest. A cél saját vagy az általa visszavert rádiósugárzás alapján a célt és a rakétát összekötő rádiótechnikai információs csatorna vizsgálja a cél mozgásának és helyzetének térbeli változását. A mai RCK-k a SHF (super high frequency) és EHF (extremely high frequency) frekvenciájú rádiójeleket használnak. Ennek legfőbb oka az, hogy e frekvenciák alkalmazásával jelentősen csökkenthetőek a koordinátor antennájának méretei, az antennák sugárnyalábja szűkíthető. A sugárnyaláb szűkítése azért fontos, mert ennek függvénye a pellengáció növekedése. A másik nem elhanyagolható indok napjaink adóberendezéseinek gyártásában rejlik. Ugyanis ezeket a nagy teljesítményű adóberendezéseket az előbb említett frekvenciákra készítik és azokon alkalmazzák. [4][8][24]



14. ábra A teljes elektromágneses spektrum [37]

## 5.1 A célkoordinátorok felépítési elve

A célkoordinátorokkal kapcsolatban az a legfontosabb kérdés, hogy működésük milyen elveken alapul. Az RCK működési elve az, hogy a cél a háttérhez képest jóval intenzívebben sugározza vagy veri vissza a rádiójeleket. Ezeket a jeleket gerjesztheti oszcillátor például a hordozó repülőgép fedélzetéről vagy akár magáról a rakétáról is. Viszont megkülönböztethetünk működésük alapján folyamatos illetve impulzus üzemű RCK-kat.

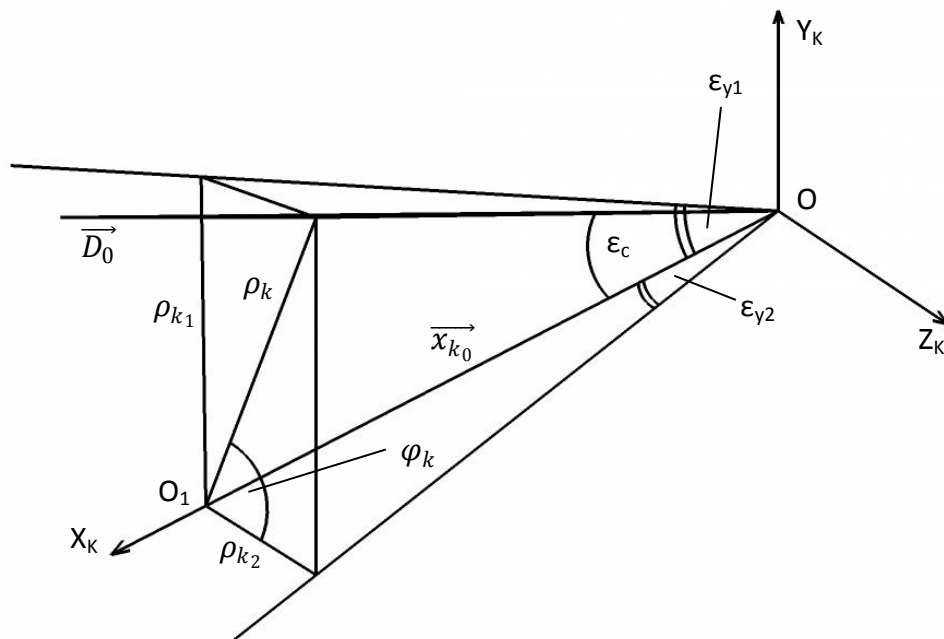
Attól függően, hogy az RCK a visszavert rádiójelek energiáját vagy a cél rádiósugárzását használja fel a célravezetéshez megkülönböztethetünk aktív, félaktív illetve passzív célkoordinátorokat. Viszont működését tekintve nagyon különböznek az optikai célkoordinátoroktól. Míg az OCK célképet képez a sík vagy a tér egy adott pontjában, addig az RCK más módszerekkel vezeti rá a rakétát a célra. A cél koordinátáinak mérését olyan fizikai elvek szerint végzi, amely alapján felépíthetőek a koordinátor elektronikus és antenna-blokkjai. Természetesen a megfelelő működéshez az elektronikus blokk kimenetén megjelenő akármilyen jel alapvető paramétereinek megváltozása észrevehető kell, hogy legyen. Így érhető el a legpontosabb rávezetés. Ennek megfelelően két elvet különböztetünk meg:

- speciális formájú antenna irányított működése;
- a rádióhullámok állandó sebességű áthaladása bizonyos homogén közegen keresztül.

Az első elv könnyen megvalósítható a gyakorlatban. Nincs szükség másra csak alkalmazni kell egy keskeny sugárnyalábú parabolikus antennát. Ennek az elvnek a felhasználása könnyen magyarázható. Az antenna optikai tengelyének eltérése a cél irányától az elektronikus blokk kimenetén amplitúdó-csökkenést fog eredményezni az eltérési szög nagyságának arányában. Abban az esetben, ha a célt mindkét szögkoordinátáját meg akarjuk határozni, akkor két különálló antennára van szükségünk. Az antennák elhelyezése úgy történik, hogy azok egymástól adott bázistávolságra legyenek és ezek a koordinátor tengelyére merőlegesen helyezkedjenek el. Ha feláll az a helyzet, hogy a cél által visszavert vagy az általa sugárzott jelek egy időben érkeznek mind-

két sugárzóra, akkor a beérkező jelek modulált jelek fázisa egyenlő lesz. Ez azt jelenti, hogy a koordinátor hossz tengelye a célra irányul, tehát a rakétának nincs szüksége pályamódosításra a megsemmisítéshez.

Abban az esetben viszont, hogyha a koordinátor tengelye elfordul a céliránytól, akkor a modulált jelek nem azonos időben és fázisban fognak beérkezni a sugárzókra. Ekkor keletkezik a vevő kimenetén az úgynevezett egyeztetlenségi jel, amely az irányzóvonal és a koordinátor tengelye által bezárt szöggel arányos impulzus. Tulajdonképpen a vevő kimenetén megjelenő egyeztetlenségi jelek lesznek a cél szögkoordinátái. A megsemmisítő eszköz, rakéta és a cél egymáshoz viszonyított mozgása miatt ezek állandóan változnak, így kisfrekvenciás időfüggvénnyel jellemezhetőek. A célról azonban a vevő bemenetére nagyfrekvenciás jelek érkeznek. A koordinátor kimenetén viszont csak akkor fog egyeztetlenségi jel keletkezni, ha ez a nagyfrekvenciás jel olyan függvény szerint modulált, amely alapvető paraméterei a cél szögkoordinátaival arányosak. Ahhoz, hogy a kimeneten kisfrekvenciás jelet kapjunk (ez lesz a videojel), ahhoz a nagyfrekvenciás bemeneti jelet, de modulálni kell. Ezt a demodulálást, a moduláló függvények megjelenítését az RCK bemenetén, azaz fizikailag magán az antennablokkon egy speciális berendezés biztosítja. Ezeket a szakirodalom pelengációs függvényeknek nevezi.



15. ábra Az RCK koordinátarendszere [8] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

A 15-ös ábra segítségével meghatározható a pelengációs függvény. Az ábrán látható koordinátarendszer feladata, hogy a  $\vec{\rho}_k = \vec{D}_0 - \vec{x}_{k_0}$  összefüggés felhasználásával meghatározza a  $\vec{x}_{k_0}$  és a  $\vec{D}_0$  kölcsönös helyzetét, valamint összekösse azokat. Ha a kifejezést az  $Ox_kZ_kY_k$  megfelelő tengelyeire levetítjük, akkor megkaphatjuk a cél szögkoordinátáinak értékét. Az antennablokkok felépítése szerint a pelengációs függvények alakjait három féle módon adhatjuk meg:

### 5.1.1 Az egy vevőcsatornás antennablokk

Abban az esetben, ha egy vevőcsatornás antennablokkról beszélünk, akkor azt jelenti, hogy az antenna állandó  $\alpha_{a_0}$  szöggel van elfordítva a koordinátor hossz tengelyéhez képest. Az antenna ezen hossz tengely mentén  $\omega_0$  állandó sebességgel forog, amely mozgás által egy rádiósugár alakul ki. Az  $x_k$  tengely mentén való forgás által létrehozott sugárban a jel amplitúdója állandó. Ilyen feltételek mellett meghatározható egy  $F(\alpha_{a_0})$  függvény, amely az antenna iránykarakterisztikáját fogja jellemezni ( $\alpha_{a_0}$  értéke a hossz tengelyhez viszonyított).  $U_m$ -mel jelölve azt az amplitúdót, amely abban az esetben lép fel, ha a cél iránya egybeesik a sugárnyaláb hossz tengelyével, felírható a következő egyenlet:

$$U = U_m \cdot F(\alpha_0). \quad (1)$$

Ez az egyenlet a sugárnyaláb és a célirány eltérését megmutató jel amplitúdó változását mutatja meg. Tudjuk, hogy a rádiótechnikai célkoordinátorokban az  $\alpha_{a_0}$  és  $\alpha_{a_c}$  értéke kicsi, ezért a következő egyszerűsítéseket alkalmazhatjuk:  $OC \approx OO_1 \varepsilon_c$ ,  $OA \approx OO_1 \alpha_{a_0}$ , és  $AC \approx OO_1 \alpha_{a_0}$ . Ha  $OO_1$  távolságot egységnyinek tekintjük, akkor a következő egyenlet érvényesül az AOC háromszögre nézve a koszinusz-tétel alapján:

$$\alpha_{a_c}^2 = \varepsilon_c^2 + \alpha_{a_0}^2 - 2\varepsilon_c \alpha_{a_0} \cos(\omega_0 t - \varphi_K). \quad (2)$$

Az  $\varepsilon_c^2$  értékét elhanyagolhatjuk, mert  $\varepsilon_c$  értéke jóval kisebb  $\alpha_{a_0}$  értékénél, így az egyenlet az alábbiak szerint módosul:

$$\alpha_{a_c} = \alpha_{a_0} \left[ 1 - \frac{2\varepsilon_c}{\alpha_{a_0}} \cos(\omega_0 t - \varphi_K) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

A binominális sorfejtés során elég csak a szögletes zárójelben szereplő első tagot figyelembe venni, mert a második tag nagysága miatt elhanyagolható, ezért az egyenlet a következő módon változik:

$$\alpha_{a_c} = \alpha_{a_0} - \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_K). \quad (4)$$

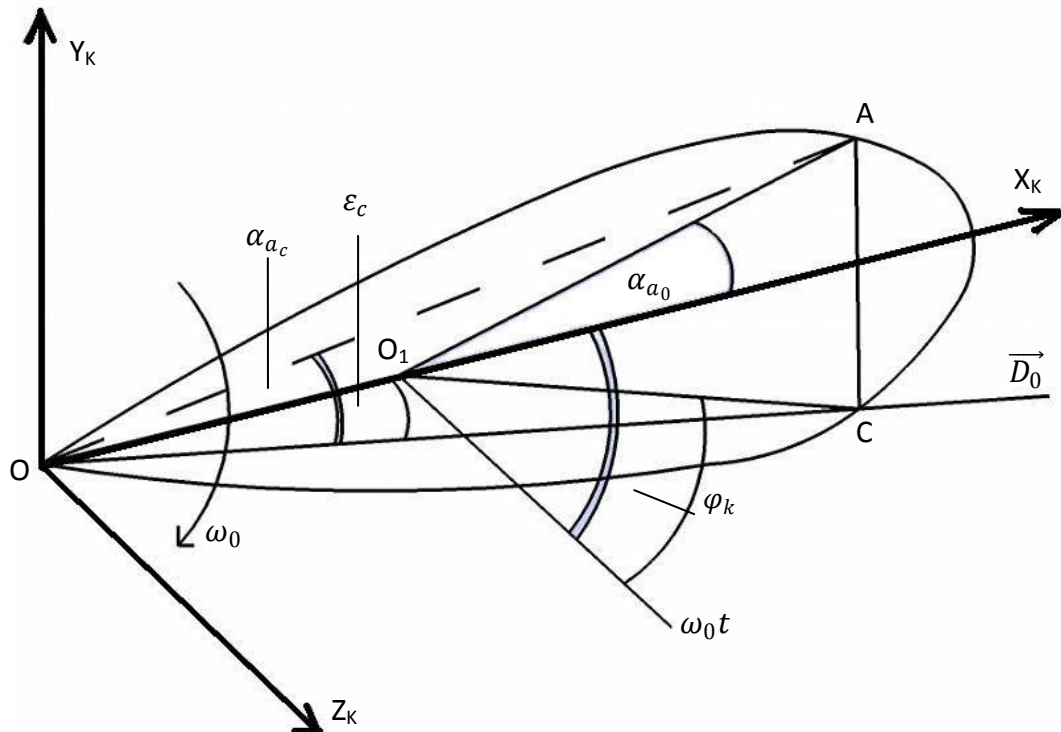
Így kialakul:

$$F(\alpha_{a_c}) = F[\alpha_{a_0} - \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_K)]. \quad (5)$$

Bevezetve a  $\mu_m$  kifejezést, ami nem más, mint az iránykarakterisztika  $x_k$  tengelyt metsző szakaszának meredekségét jellemző tényező és mindezt behelyettesítve a 5-ös számú egyenletbe megkapjuk a pelengációs függvényt:

$$U = U_0 \cdot [1 - \mu_m \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_K)]. \quad (6)$$

A végső egyenletről arra a következtetésre juthatunk, mely szerint a cél nagyfrekvenciás jele egyrészt amplitúdó modulált, másrészt frekvencia-modulált lesz. Ebből következik, hogy a cél koordinátáinak mérése csak poláris mérési rendszerben történhet. [4][8][24]



16. ábra Az amplitúdó-fázis pelengációs antennablokk koordinátarendszere [8] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)



### 5.1.2 Az antennák irányított működésén alapuló többcsatornás antennablokk

Ez a megoldás úgy valósítható meg, hogy vagy két antennát alkalmaznak vagy antennánként két sugárzót a koordinátamérő csatornában. Az antennák tengelyei itt is  $\alpha_{a_0}$  szöggel el vannak fordítva a koordinátor tengelyéhez ( $x_K$ ) képest, ám az antennák ebben az esetben nem forognak. Természetes módon a két különböző mérőcsatorna működése teljesen megegyezik.

Az antennablokk működését az alábbi szituációval lehet szemléltetni: tételezzük fel, hogy a függőleges csatornához tartozik a második és negyedik antenna, míg a vízszinteséhez az első és harmadik. A következő törvényszerűség azt mutatja meg, hogy bármely pillanatban, hogyan változik a jel amplitúdója az antenna kimenetén:

$$U_i = U_m F(\alpha_{a_{ci}}), \quad (7)$$

ahol  $i=1, 2, 3, 4$ . Ebben az esetben is, ha a  $x_K$  tengely iránya a célra mutat, akkor az egyes antennák elektronikus blokkjainak bemenetein azonos jelek fognak megjelenni:

$$U_i = U_m F(\alpha_{a_{ci}}) \varepsilon(t). \quad (8)$$

$\varepsilon(t)$  periódikusan ismétlődő rádióimpulzus halmaz, ha a sugárzás impulzus jellegű. Abban az esetben viszont, ha a sugárzás folyamatos, akkor állandó  $\omega$  frekvenciás szinuszos függvény.

Azonban, ha  $\vec{x}_{k_0}$  iránya eltér  $\vec{D}_0$ -tól, akkor az előbb felírt  $U_i$  értéke csökkenni vagy növekedni fog  $F_{\alpha_{ci}}$  függvényében, azaz megváltoznak a szögértékek. Ezeket a szögértékeket az alábbi módon számolhatjuk ki a függőleges csatorna esetén:

$$\begin{aligned} \alpha_{a_{c2}} &= \alpha_{a_{c0}} - \varepsilon_{c2}, \\ \alpha_{a_{c4}} &= \alpha_{a_{c0}} - \varepsilon_{c4}. \end{aligned} \quad (9)$$

A vízszintes csatorna esetén:

$$\begin{aligned} \alpha_{a_{c1}} &= \alpha_{a_{c0}} - \varepsilon_{c1}, \\ \alpha_{a_{c3}} &= \alpha_{a_{c0}} - \varepsilon_{c3}. \end{aligned} \quad (10)$$

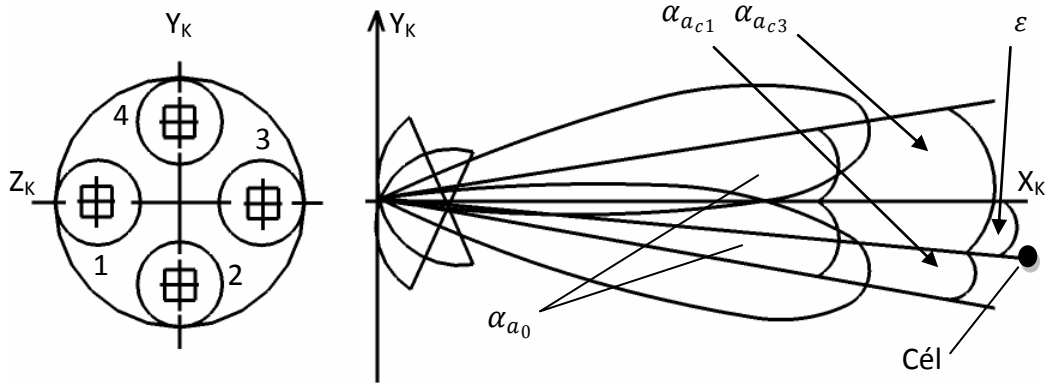
Ha ezeket a kapott szögértékeket behelyettesítjük Az F függvénybe, majd azt  $F(\alpha_{a_0})$  szerint Taylor sorba fejtjük, akkor a függőleges és vízszintes csatornákra a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\begin{aligned}
U_1 &= U_0(1 - \mu_m \varepsilon_{c_2})\varepsilon(t), \\
U_3 &= U_0(1 + \mu_m \varepsilon_{c_2})\varepsilon(t), \\
U_2 &= U_0(1 - \mu_m \varepsilon_{c_1})\varepsilon(t), \\
U_4 &= U_0(1 + \mu_m \varepsilon_{c_1})\varepsilon(t).
\end{aligned} \tag{11}$$

A  $\mu_m$  kifejezés az iránykarakterisztika meredekségét jelöli abban a pontban, ahol metszi az  $x_K$  tengely, míg  $U_0 = U_m F(\alpha_{a_0})$ .

A fenti egyenletekből tisztán látszik, hogy az elektronikus blokkok bemenetein megjelenő jelek amplitúdói tartalmazzák a cél szögkoordinátáira vonatkozó információkat. A pelengációs függvények segítségével megy végbe a cél nagyfrekvenciás jelének modulációja az elektronikus blokkokban. A pelengációs függvények magában az antennablokkban formálódnak. Az ilyen típusú koordinátorok a derékszögű koordinátarendszert használják a cél szögkoordinátáinak mérésére. Ezen szögkoordináták nagysága és előjele könnyen meghatározható, csak a csatornák különbségjeleit kell kiszámolni. Ez az alábbi módon történik:

$$\begin{aligned}
U_1 - U_3 &= -2U_0\mu_m \varepsilon_{c_2}\varepsilon(t), \\
U_2 - U_4 &= -2U_0\mu_m \varepsilon_{c_1}\varepsilon(t).
\end{aligned} \tag{12}$$



17. ábra Az amplitúdó pelengációs antennablokk koordinátarendszere [8] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

A cél irányától való lefelé való eltérést az  $x_K$  tengelyen felvett negatív előjel, míg a felfelé való eltérést a pozitív előjel mutatja. Ugyanilyen analógián működik az  $y_K$  tengelyen felvett előjel is. A pozitív előjel a cél helyzetéhez képest való jobbra történő eltérést, míg a negatív előjel a balra való eltérést mutatja.

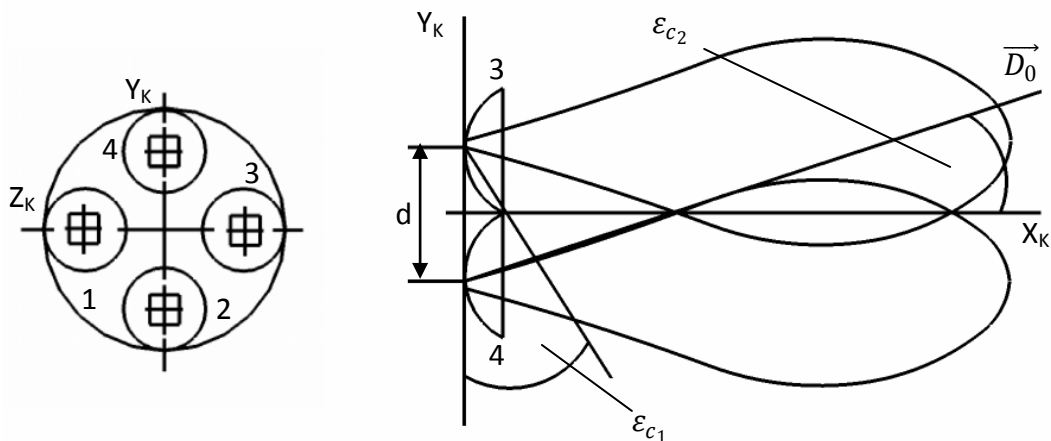
Így, ha összegezzük a csatornákon megjelent jeleket, akkor azok elveszítik az szögkoordináták információját:

$$U_1 + U_3 = U_2 + U_4 = U_0 \varepsilon(t). \quad (13)$$

### 5.1.3 A rádióhullámok állandó terjedési sebességét felhasználó többcsatornás antennablokk

Csakúgy, mint az előző megoldásnál itt is két antennát vagy csatornánként két sugárzót alkalmaznak. Azok az antennáknak a tengelyei, amelyek nem mozognak párhuzamosak az  $x_K$  tengellyel. Az antennák adott bázistávolságra, a koordinátor tengelyének irányára merőlegesen helyezkednek el.

A rendszer működése a függőleges csatorna működésén keresztül könnyen magyarázható (természetesen a vízszintes csatorna vizsgálata esetén is hasonló módon járhatunk el): abban az esetben, ha a cél iránya egybeesik a koordinátor tengelyével - ez az egyenlő jelek iránya- az elektronikus blokk vevőinek bemenetére azonos jelek kerülnek. Amikor viszont a cél iránya eltér az  $x_K$  tengelytől, akkor a hármas és négyes antennák bementén megjelenő jelek amplitúdója azonos mértékben fog változni, így az amplitúdók összehasonlításából nem kaphatunk információt a cél  $\varepsilon_{c1}$  koordinátájáról. Ezért van arra szükség, hogy ezeket az adatokat a fázisok összehasonlításából nyerjük.



18. ábra A fázis pelengációs antennablokk koordinátarendszere [8] alapján készítette Czövek Andrej (Google SketchUp Pro 6.4)

Az egyeztetlenségi jelet az alábbi módon kaphatjuk meg. Tudjuk, hogy a hármas illetve négyes számú antennavevők bemeneti jeleinek fázisa nem egyformán változik az  $\varepsilon_{c1}$  egyeztetlenségi szög változásakor. Ennek az a magya-

rázata, hogy a hármas és négyes számú antenna bizonyos  $d$  bázistávolságra van egymástól. Az 18-as ábrán látható, hogy a négyes számú antennával vett jel fázis a hármas számúéhoz képest eltolódik  $\varphi_t$  szöggel:

$$\varphi_f = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin \varepsilon_{c_1}. \quad (14)$$

Ebben az esetben  $\lambda$  a már a cél által visszavert rádiójel hullámhossza. Az előző egyenletet felhasználva az összefüggés felírható a vízszintes csatornára is:

$$\varphi_v = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d \cdot \sin \varepsilon_{c_2}. \quad (15)$$

Ahhoz, hogy az  $\varepsilon_{c_1}$ ,  $\varepsilon_{c_2}$  szögkoordinátákat meg lehessen határozni, fel kell írni a vevők bementén megjelenő jelet folyamatos sugárzás esetén. Ezek a következőképpen alakulnak:

$$\begin{aligned} U_1 &= U(\varepsilon_{c_2}) \cos \omega t, \\ U_2 &= U(\varepsilon_{c_2}) \cos(\omega t - \varphi_v), \\ U_3 &= U(\varepsilon_{c_1}) \cos \omega t, \\ U_4 &= U(\varepsilon_{c_1}) \cos(\omega t - \varphi_f). \end{aligned} \quad (16)$$

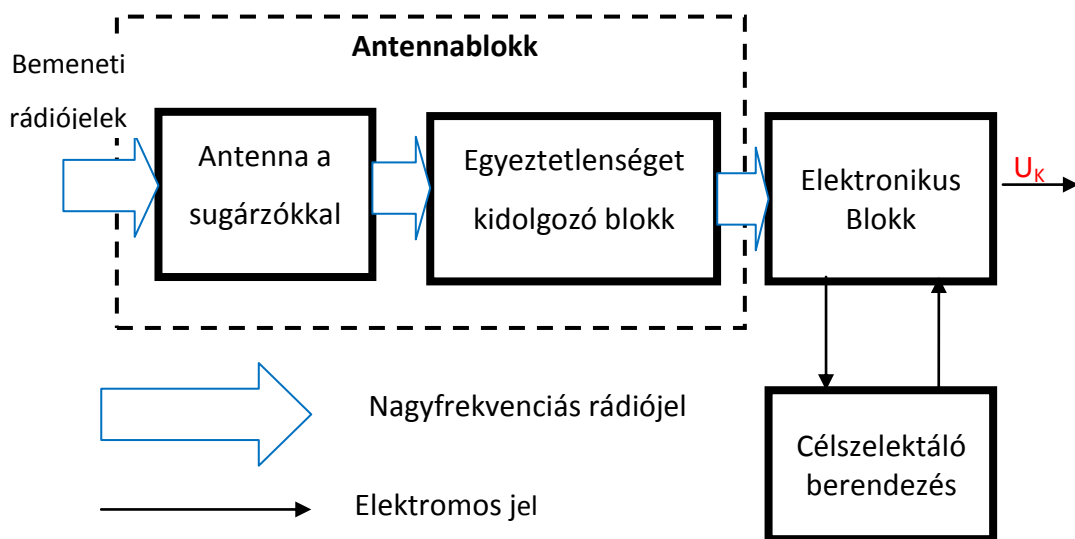
A szögkoordináták meghatározásához csatornánként össze kell szorozni a függvényeket ( $U_1 U_2$  és  $U_3 U_4$ ) és a szorzatból ki kell fejezni az állandó összetevőket. Ezzel csak a jel amplitúdóját lehet kifejezni, ám ahhoz, hogy pontos szögértéket kapjunk meg kell határozni azok előjelét is. Ezért 16. egyenletek átalakítása szükséges oly módon, hogy az egyes csatornák antennái egyikének fázisát eltoljuk  $\frac{\pi}{2}$ -vel. Ezzel az eljárással biztosított az adott csatorna függvényének páratlansága. Tehát az egyenletek a következőképpen alakulnak:

$$\begin{aligned} U_1 &= U(\varepsilon_{c_2}) \sin \omega t, \\ U_2 &= U(\varepsilon_{c_2}) \cos(\omega t - \varphi_v), \\ U_3 &= U(\varepsilon_{c_1}) \sin \omega t, \\ U_4 &= U(\varepsilon_{c_1}) \cos(\omega t - \varphi_f). \end{aligned} \quad (17)$$

Így levonható az a következtetés, hogy a cél szögkoordinátáiról szóló információt a kapott jel fázisa fogja hordozni és ezt a célkoordinátor derékszögű koordinátorrendszerben méri.

Mindezek után a következőt állapíthatjuk meg: legyen szó bármely RCK kialakításáról, blokkvázlata az alábbi módon kell, hogy felépüljön:

- Antennablokk: antennából, speciális formájú sugárzóból és egy olyan blokkból áll, amely az egyeztetlenségi jelet dolgozza ki. Felépülhet fázisfordítókból, nagyfrekvenciás összegző-kivonó berendezésből, stb.;
- elektronikus blokk: ez az egység a következőket tartalmazza: frekvencia-átalakítók, szorzó áramkörök, szűrők, valamint a szuperheterodin típusú vevő;
- Célszelektáló berendezés, melynek feladata a kiválasztani az álcélok, a természetes valamint mesterséges zavarok közül a valós célt. [4][8][24]



19. ábra A rádiótechnikai célkoordinátorok általános blokkvázlata [8] alapján készítette Czövek Andrej (Microsoft Office Word 2007)

## 5.2 A rádió célkoordinátorok csoportosítása és működése

A rádiótechnikai célkoordinátorok felosztása három szempont szerint történhet. A célról visszaverődő vagy arról érkező jelek felhasználása szerint az alábbi üzemmódok különböztethetünk meg:

- aktív;
- félaktív;
- passzív.

A második ilyen szempont a célbesugárzás elve. Ilyen módon két nagy csoport létezik:

- impulzus besugárzású RCK (Impulzus- Doppler);
- folyamatos besugárzású RCK (Doppler).

A harmadik felosztási mód a cél pelengációjának módját hivatott megkülönböztetni. Így beszélhetünk:

- amplitúdó célpelengációs;
- fázis célpelengációs;
- amplitúdó-fázis célpelengációs

rádiótechnikai célkoordinátorokról.

Az amplitúdó célpelengációs RCK-k esetében az antennablokk négy antennt tartalmaz, de találkozhatunk olyan megoldással is, amelyben csak egy antenna található négy sugárzóval. Az ilyen módon felépített célkoordinátorokban az antennák stabilan vannak rögzítve a blokk tengelyéhez, viszont azok kicsi, de állandó szöggel el vannak forgatva attól. Ezek a berendezések a célirány meghatározásához az egyenlő jeleket használják fel, általában folyamatos üzeműek.

A fázis célpelengációs RCK-k ugyancsak vagy négy antennt tartalmaznak, vagy egy antennt négy sugárzóval. Ebben az esetben azonban az antennák oly módon vannak rögzítve a stabilan a blokkban, hogy azok tengelye párhuzamos koordinátor tengelyével. Ezek is impulzus üzeműek és az egyenlő jeleket használják fel a célirány meghatározásához.

A harmadik nagy csoport az amplitúdó-fázis célpelengációs RCK-k csoportja. Az ilyen berendezésekben mindössze egyetlen antenna található, mely egy kis értékű, állandó szöggel el van fordítva koordinátor tengelyéhez képest. Ezt az antennt elektromos hajtás segítségével forgatják meg tengelye körül. A hajtás állandó szögsebességen történik. Az ilyen típusú RCK-ban az iránymeghatározás két féle módon történhet: vagy a rádiósugárral való letapogatás módján, vagy az egyenlő jelek felhasználásával. A harmadik szempont szerinti felosztást és azok tulajdonságait az alábbi táblázat összegzi:

1. táblázat A rádiótechnikai célkoordinátorok fajtái és tulajdonságai

Rádiótechnikai célkoordinátorok	A szögkoordinátákat meghatározó berendezés típusa	Pellengáció fajtája	Szögkoordináták meghatározása	Koordinátamérő rendszer
Amplitúdó célpellengációs RCK	Antennablokk 4 antennával (1 antenna 4 sugárzóval)	Amplitúdó	Amplitúdó szerint	Derékszögű koordinátarendszer
Fázis célpellengációs RCK	Antennablokk 4 antennával (1 antenna 4 sugárzóval)	Fázis	Fázis szerint	Derékszögű koordinátarendszer
Amplitúdó-fázis célpellengációs RCK	Forgó antenna	Amplitúdó-fázis	Amplitúdó és fázis szerint	Polár koordinátarendszer

[4][8][24]

### 5.2.1 Az amplitúdó célpellengációs RCK

Az ilyen típusú általában folyamatos üzeműek. A célról beérkező nagyfrekvenciás jelek feldolgozása összeg-különbség képzésével történik. A beérkező nagyfrekvenciás jelek amplitúdó-modulálása minden mérőcsatornában végbemegy. A modulálás művelete az antennablokk által megadott pellengációs függvény szerint történik. Ez a modulálás csak akkor lép életbe, ha a mérőcsatornákra egyeztetlenségi jel kerül, ha viszont a koordinátor optikai tengelye egybeesik a cél irányával, akkor a mérőcsatornákra érkező jelek egyenlők lesznek és így rá nincs szükség.

A megfelelő  $\varepsilon_{c_1}$  és  $\varepsilon_{c_2}$  értékek kiválasztása úgy történik, hogy a csatornák két sugárzóján megjelenő jelek különbségét képezzük. Ezt folyamatos sugárzás esetén az alábbi egyenletek felírásával tehetjük meg:

$$\begin{aligned}
 U_1 - U_3 &= -2U_0\mu_m\varepsilon_{c_2}\cos\omega t, \\
 U_2 - U_4 &= -2U_0\mu_m\varepsilon_{c_1}\cos\omega t.
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Ezen egyenletek esetében az  $\omega$  a bementre érkező periodikus jel körfrekvenciája. Ahhoz, hogy  $\varepsilon_{c_1}$  és  $\varepsilon_{c_2}$  szögkoordináták értékeivel arányos jeleket akkor tudjuk elkülöníteni, ha a csatornák különbségi és összességi jeleinek szorzatából kiválasztjuk az egyenfeszültségű összetevőt. A továbbiakban ez lesz a vezérlőjel a koordinátor kimenetén. A szorzó áramkörök bementére jutó jelek a vevő erősítőiről érkeznek. A vízszintes csatorna esetében ez a

$K_{v_1}(U_1 + U_3)$  és  $K_{v_2}(U_1 - U_3)$ , míg a függőleges csatorna esetében a  $K_{f_1}(U_2 + U_4)$  és  $K_{f_2}(U_2 - U_4)$  feszültség lesz.  $K_{v_1}$ ,  $K_{v_2}$ ,  $K_{f_1}$ ,  $K_{f_2}$  a csatornák erősítési tényezőit jelölik. Tudjuk, hogy:

$$U_1 + U_3 = U_2 + U_4 = -2U_0 \cos \omega t, \quad (20)$$

így a függőleges és vízszintes csatornákra következő összefüggéseket írhatjuk fel:

$$\begin{aligned} K_{f_1} K_{f_2} (U_1 + U_3)(U_1 - U_3) &= -2U_0^2 \mu_m K_{f_1} K_{f_2} K_{f_{sz}} \varepsilon_{c_1} (1 + \cos 2\omega t), \\ K_{v_1} K_{v_2} (U_1 + U_3)(U_1 - U_3) &= -2U_0^2 \mu_m K_{v_1} K_{v_2} K_{vsz} \varepsilon_{c_2} (1 + \cos 2\omega t). \end{aligned} \quad (21)$$

A kifejezésekben  $K_{f_{sz}}$  és  $K_{vsz}$  a szorzó áramkörök erősítési tényezőit jelölik. Ahhoz, hogy e szorzó áramkörök kimenetén megjelenő jelek egyenfeszültségű összetevőit megállapíthassuk két megoldást alkalmazhatunk. Az egyik eljárás az, hogy vesszük a jel középértékét  $T = \frac{2\pi}{\omega} n$  idő alatt ( $n \in \mathbb{Z}$ ), vagy olyan szűrőket kapcsolunk a kimenetre, amelyek nem engedik át a  $2\omega$  körfrekvenciájú jeleket. Ezen megoldások egyikének alkalmazásakor a következő feszültségek jelennek meg a szűrő kimenetén:

$$\begin{aligned} U_{kv} &= 2U_0^2 \mu_m K_{v_1} K_{v_2} K_{vsz} \varepsilon_{c_2} K_{vsz\ddot{u}} = K_v \varepsilon_{c_2}, \\ U_{kf} &= 2U_0^2 \mu_m K_{f_1} K_{f_2} K_{f_{sz}} \varepsilon_{c_1} K_{f_{sz}\ddot{u}} = K_f \varepsilon_{c_1}, \end{aligned} \quad (22)$$

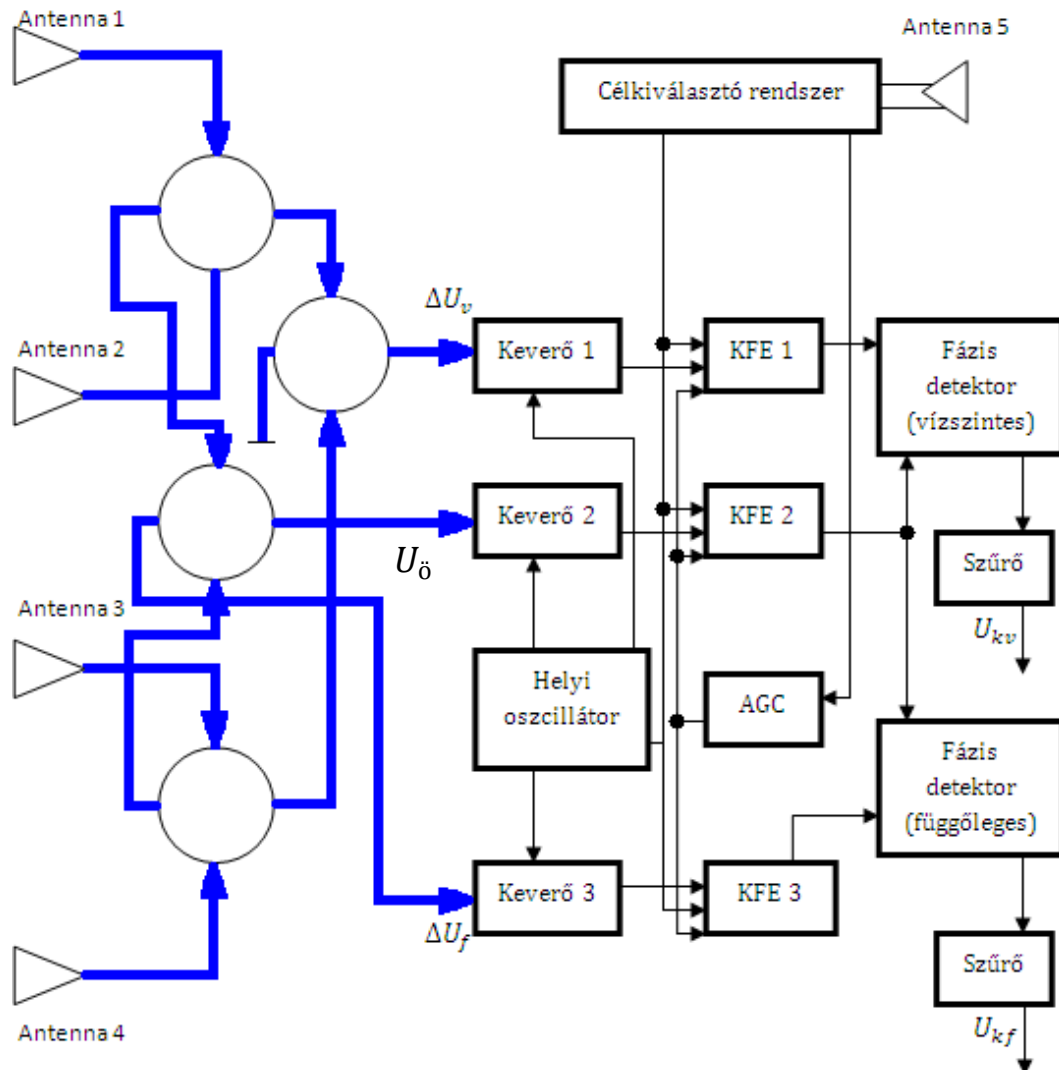
ahol  $K_{vsz\ddot{u}}$  és  $K_{f_{sz}\ddot{u}}$  a szűrők erősítési tényezői.

Az RCK-ban az antenna mérete arányos a célbefogási távolsággal. Tehát, ha növelni akarjuk a távolságot, akkor csatornánként négy-négy antennára van szükség. Természetesen ez könnyen realizálható oly módon, hogy a fentiekben taglalt két összevonó-kivonó egységen kívül további kettőt építünk a rendszerbe és azokat az alkalmazott három csatorna keverőihez kapcsolunk. Ilyen módon a jelkülönbségeket a vízszintes és függőleges csatornáknál, míg a harmadik csatornában a jelek összegei jelennek meg. Ezt a harmadik csatornát a szakirodalom alapcsatornának hívja.

Ahhoz, hogy az amplitúdó pelengációs RCK megfelelően tudjon működni ilyen háromcsatornás megvalósítással biztosítani kell az összegző és a közép-frekvenciás (KFE) áramkörök fázis és amplitúdó jellemzőinek nagyfokú identitását. Az egyes csatornáknál keletkezett jeleket többféle módon is lehet javítani, korrigálni. Az egyik ilyen mód az, hogy a csatornákat periódikusan



átkapcsoljuk, a másik, hogy egy etalon jelet vezetünk be, amely a jellemzők kiegyenlítésre szolgál.



20. ábra Az amplitúdó célpelengációs RCK vázlatja [8] alapján készítette Czövek Andrej (MS Office Word 2007 És MS Paint)

A 20. ábrán egy ilyen háromcsatornás rendszer blokkvázlatja látható. A KFE egységek a középfrekvenciás fokozatokat jelenítik meg, az AGC blokk az automatikus erősítő szabályzó. Az ábrán kékszínnel jelölt nyilak a nagyfrekvenciás jeleket, míg a vékony fekete nyilak az elektromos jelek.

A függőleges és vízszintes csatornák felelnek a nagyfrekvenciás jelek erősítésért és transzponálásáért ( $U_{\Delta v}$  és  $U_{\Delta f}$ ), míg a harmadik csatorna a nagyfrekvenciás összegjel ( $U_{\ddot{o}}$ ) erősítésért és átalakításáért felelős. Ezek a már átalakí-

tott nagyfrekvenciás jelek a keverők bemeneteinek egyikére kerülnek. A keverők másik bementére érkező jelet egy oszcillátor biztosítja, melynek frekvenciája az alábbi módon határozható meg:

$$f_{osz} = f_v + f_k. \quad (23)$$

$f_v$  a beérkező jel frekvenciája, míg  $f_k$  a középfrekvencia értéke. Ezután a keverők kimeneti jelei egy megfelelő középfrekvenciás fokozatra jutnak, ahonnan a kimeneti jelek a mérőcsatornák fázisdetektorainak egyik bemenetére kerülnek. Ezen berendezések az összegzett és különbségi jelek szorzását végzik el. A fázisdetektorokhoz kapcsolt szűrők, szűrő áramkörök feladata, hogy meghatározzák  $U_{kv}$  és  $U_{kf}$  jeleinek egyenfeszültségű összetevőit.

A rádiótechnikai célkoordinátorok zavarvédeltségét növeli az úgynevezett valós-cél kiválasztó rendszer. Ez a rendszer úgy működik, hogy egy ötödik antennát építenek a rakétára, amelynek csak egyetlen feladata van, hogy az indító repülőgépről érkező jeleket fogja, melyeket referens jeleknek neveznek. A referens jelből kidolgozott jel követi a valós célról kapott bementi jel frekvenciájának változását, ami a hordozó repülőgép, a rakéta és a valós cél egymáshoz viszonyított elmozdulásából adódik. [4][8][24]

### 5.2.2 A fázis célpelengációs RCK

A fázis célpelengációs RCK-k nagy előnye, hogy alkalmazhatóak folyamatos és impulzus üzemmódban egyaránt. Tegyük fel, hogy jelen célkoordinátor folyamatos üzemmódban működik. A célról érkező nagyfrekvenciás jeleket az elektronikus blokk négy sugárzója érzékeli. Az antennablokk által meghatározott pelengációs függvény alapján zajlik a vett jelek erősítése átalakítása a szuperheterodin vevőkben. Ezt a műveletet célkoordinátor mérőcsatornánként kettő, azaz összesen négy szuperheterodin vevő végzi az elektronikus blokkban.

A fázis célpelengációs RCK nem használják az  $\varepsilon_{c1}$  és  $\varepsilon_{c2}$  szögkoordináták megállapításához az  $U_{\varepsilon_{c1}}$  és  $U_{\varepsilon_{c2}}$  jelek amplitúdójának változását, ezért ezekben a berendezésekbe minden esetben amplitúdó-határolást végeznek. Ezt a határolást logaritmikus erősítővel, határoló erősítővel vagy gyors működésű ACG-vel végzik. Ezzel a megoldással a későbbiekben sokkal egyszerűbbé válik a jelfeldolgozás.

Csakúgy, mint az előző fejezetben, itt is a jelek összeszorozása és az azutáni egyenfeszültség kiválasztás után kapható meg a célkoordinátákat meghatározó jel. Ez a vízszintes és függőleges csatornáknak az alábbi módon megy végbe:

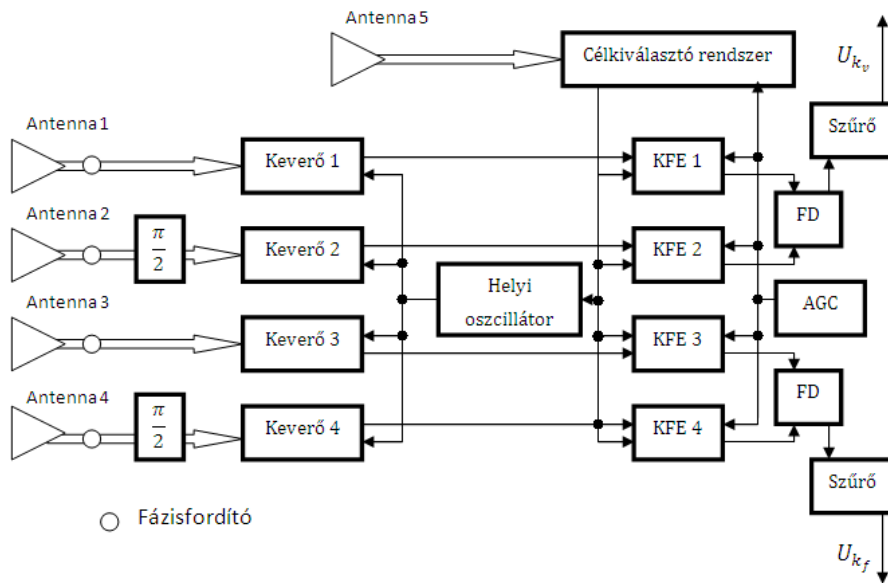
$$U_{vf} = \frac{1}{2} U_h^2 K_{vsz} K_{vsz\ddot{u}} \sin \varphi_v,$$

$$U_{kf} = \frac{1}{2} U_h^2 K_{fsz} K_{fsz\ddot{u}} \sin \varphi_f. \quad (24)$$

Az  $U_h$  kifejezés az egyenletekben a határoló erősítő jelének amplitúdója.

A fázis célpelengációs RCK blokkvázlatán látható, hogy a 1-es és 2-es, vízszintes, valamint a 3-as és 4-es függőleges csatornák egymástól ugyanazon  $d$  bázistávolságra helyezkednek el. Annak megakadályozására, hogy a koordinátor tengelyének célra mutatásakor keletkező fázistolást kiküszöböljék a sugárzók nagyfrekvenciás csatornáiban fázisfordítókat építenek. Ezek a kiegészítő elemeket a két tápvonalban találhatók és fázisfordításuk minden esetben  $\frac{\pi}{2}$  lesz.

A koordinátor kimenetén a két egyenfeszültségű jelet az alábbi úton kapjuk: a célról érkező nagyfrekvenciás jel rákerül a négy sugárzóra. Miután a jel felerősödött a superheterodin vevőkben és áthaladt mérőcsatornáknak található fázisdetektoron (azaz megtörtént az összeszorozás), a detektorok kimeneti szűrőin a megfelelő szűrés után a kimeneten megkapjuk az egyenfeszültségű összetevőket.



21. ábra A fázis célpelengációs RCK vázlatát [8] alapján készítette Czövek Andrej (MS Office Word 2007 és MS Paint)

Jelen esetben az RCK-t folyamatos üzemmódban vizsgáljuk. Ebben az üzemmódban a koordinátornak tartalmaznia kell az alaprészeken kívül egyéb tagokat is. Ilyen például a frekvencia szerinti szelektáló és a valós célt kiválasztó rendszer. A szelektáló rendszer az ötös számú antennán kapja meg a referens jelet az indító repülőgéptől.

Az ilyen típusú RCK-nak két nagyon fontos előnye van. Az egyik, hogy létre lehet hozni olyan antennablokkal rendelkező koordinátort, amely rögzített. Mivel így a rendszerbe nem kerül mozgó alkatrész nő a megbízhatóság. A másik nagy előnye, hogy ezzel a megoldással nagyobb lehetőség nyílik a szögkoordináták pontosabb mérésére. A cél szögkoordinátáinak pontos meghatározása azonban nem csak ezen tényezők függvénye. Az antenna karakterisztikájának szélessége és az antennák bázistávolsága is nagy szerepet játszik ebben. Ugyanis minél keskenyebb az antenna sugárzási karakterisztikája, annál pontosabb lesz a pelengáció, a bázistávolság növelésével pedig azonos  $\varepsilon_c$  éréknél nő a csatorna kimeneti jele. Természetesen a bázistávolság növelésének fizikai korlátai vannak, ugyanis egy rakétának vannak előre megadott paraméterei.

Napjainkban a rakéták antennájának mozgatását oly módon küszöbölik ki, hogy fázisvezérelt antennarácsokat alkalmaznak. Ezzel a megoldással mechanikai hatások nélkül mozgatható az antenna sugárnyalábja. Ezzel nem csak nő a cél követésének sebessége, hanem akár egyszerre több cél is követhető lesz.

Azonban a fázis célpelengációs RCK-nak vannak hátrányai is. A 14-es, 15-ös illetve a 24-es egyenletekből látható, hogy nem csak  $\varepsilon_{c_1} = \varepsilon_{c_2} = 0$  esetén lesz a kimeneti jelek értéke 0. Tulajdonképpen ezen az egy lehetőségen kívül még végtelen sok esetben teljesül a kimeneti jel 0 értéke. Ezek a következő formulával írhatóak fel:

$$\begin{aligned}\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varepsilon_{c_1} &= n\pi, \\ \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varepsilon_{c_1} &= m\pi.\end{aligned}\tag{25}$$

A kifejezésekben  $n$  és  $m$  az egész számok halmazának eleme. Ebből következik, hogy  $\varepsilon_{c_1} = \arcsin \frac{n\lambda}{2d}$  és  $\varepsilon_{c_2} = \arcsin \frac{m\lambda}{2d}$  esetén hamis egyenlő jelű irányok jönnek létre. Ha viszont az első hamis egyenlő jelű irány kívül esik a főhurkon (megfelelően választott sugárzási karakterisztika szélesség mellett), akkor ez a

probléma kiküszöbölhető. Az első ilyen hamis egyenlő jelű irány  $\arcsin \frac{\lambda}{2d}$  értéknél jön létre. Így az a következtetés vonható le, hogy a sugárzási karakterisztika maximális szélességének kisebbnek kell lennie ennél az értéknél, tehát:

$$2\alpha_{a_{max}} \leq \arcsin \frac{\lambda}{2d}. \quad (26)$$

### 5.2.3 Az amplitúdó-fázis célpelengációs RCK

Az ilyen típusú RCK-kat általában impulzus jellegű célbesugárzás során alkalmazzák. A célról érkező jelek antenna sugárzójára való érkezése után az antennablokkban megtörténik az impulzusok fázis és amplitúdó szerinti modulációja. Az elektronikus blokkban megtörténik a modulált impulzusok frekvencia erősítése és átalakítása. Ez a blokk nem más, mint egy szuperheterodin típusú vevőkészülék. A koordinátor blokkja az alábbi pelengációs függvényt formálja:

$$U_p = U_0 \mu_m \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_k). \quad (27)$$

Tudjuk, hogy a folyamatban résztvevő jelek feszültsége váltakozó. Így a pelengációban csak a modulált jelek váltakozó összetevője vesz részt. A koordinátorra a célról az vevőberendezés bementére érkező jel amplitúdója a rádiótechnikából ismert alapegyenlettel meghatározható:

$$U_0 = \frac{F(\alpha_{a_0})F(\beta_{aa})\lambda\sqrt{Q_a Q_v}}{8\pi D_a D_v} \sqrt{\frac{k_a P \sigma_{ce}}{\pi \rho_{kev}}}, \quad (28)$$

ahol:

- $F(\beta_{aa})$  - az adóberendezés antennájának iránykarakterisztikája;
- $\beta_{aa}$  - az adóantenna iránykarakterisztikájának tengelye és a célirány által bezárt szög;
- $\lambda$  - az adó sugárzásának hullámhossza;
- $Q_a, Q_v$  - az adóantenna és a koordinátor vevőantenna erősítési tényezője;
- $D_a, D_v$  - az adóberendezés, illetve a koordinátor távolsága céltól;
- $P$  - az adó teljesítménye;
- $k_a$  - teljesítmény-átviteli tényező;
- $\rho_{kev}$  - az átalakító bemeneti vezetőképessége;
- $\sigma_{ce}$  - a cél effektív visszaverő felülete (ez az érték jóval kisebb a valós felületnél).

Az impulzusok burkológörbéinek meghatározása a frekvencia átalakítása és a nagyfrekvenciás jelek erősítése után következik. Ez a jel fog a koordinátor kimenetére kerülni további erősítés után. A váltakozó összetevő kerül a koordinátor kimenetére:

$$U_k = K_k U_0 \mu_m \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_k). \quad (29)$$

Az egyenletben  $K_k$  a koordinátor erősítési tényezőjét jelöli. Ez az összefüggés fogja tartalmazni a cél koordinátáit. A váltakozó jel amplitúdója az  $\varepsilon_c$ -t, míg kezdeti fázisa  $\varphi_k$  tartalmazza. Amikor az összefüggést meghatároztuk, akkor azt feltételeztük, hogy  $F(\beta_{aa})$  konstans, mert adott  $D_a, D_v$  értékeket vettünk figyelembe. Ám ahogy a rakéta közelít a célhoz, úgy ezek az értékek változni fognak az adóberendezés antennájának iránykarakterisztikája is változó lesz. Ebből következik, hogy a koordinátorra beérkező jel teljesítmény széles határok között fog változni. A 27-es és 28-as egyenletből látható, hogy koordinátor kimenő jelének amplitúdója a távolság változásának függvényében változik. Ezen kimeneti jel amplitúdója fogja tartalmazni az  $\varepsilon_c$ -t, azaz a cél szögkoordinátáját. Így levonható az a következtetés miszerint a cél koordinátáiról kapott információ a távolság változásával torzulni fog. Ezt a torzulást kiküszöbölendő a koordinátorba egy speciális automatikus szabályzó áramkört, úgynevezett AGC-t építenek. Működésének lényege az, hogy úgy változtatja a koordinátor erősítési tényezőjét, hogy a  $K_k \cdot U_0$  szorzat folyamatosan állandó értéken maradjon, így elérve azt, hogy  $U_k$  feszültség amplitúdójának bármilyen változása esetén  $\varepsilon_c$ -vel arányos jelet kapjunk. Természetesen nem elhanyagolható tény, hogy  $U_0$  amplitúdójának változása  $D_a, D_v$  függvényében lassú lefolyású. Így a megfelelő AGC áramkör kiválasztásánál figyelembe kell venni azt, hogy az gyors  $\varepsilon_c$  érték változása esetén is lassan reagáljon, illetve  $U_0$  változásakor képes legyen megváltoztatni  $K_k$  értékét. Ha ezek a feltételek teljesülnek, akkor  $K_k \cdot U_0$  szorzatot tekinthetjük konstansnak.

A rakéta célravezetése során az adóberendezés iránykarakterisztikájának ( $F(\beta_{aa})$ ) függvénye változni fog. Mivel az aktív koordinátorokban csak egy antennablokkot alkalmaznak, ezért RCK kimenetére kerülő jel az  $\alpha_a = \beta_a$ , tehát  $F(\alpha_a) = F(\beta_a)$  feltételek figyelembe vétele mellett az alábbiak szerint módosul:

$$U_k = 2K_k U_{0a} \mu_m \varepsilon_c \cos(\omega_0 t - \varphi_k), \quad (30)$$

ahol:

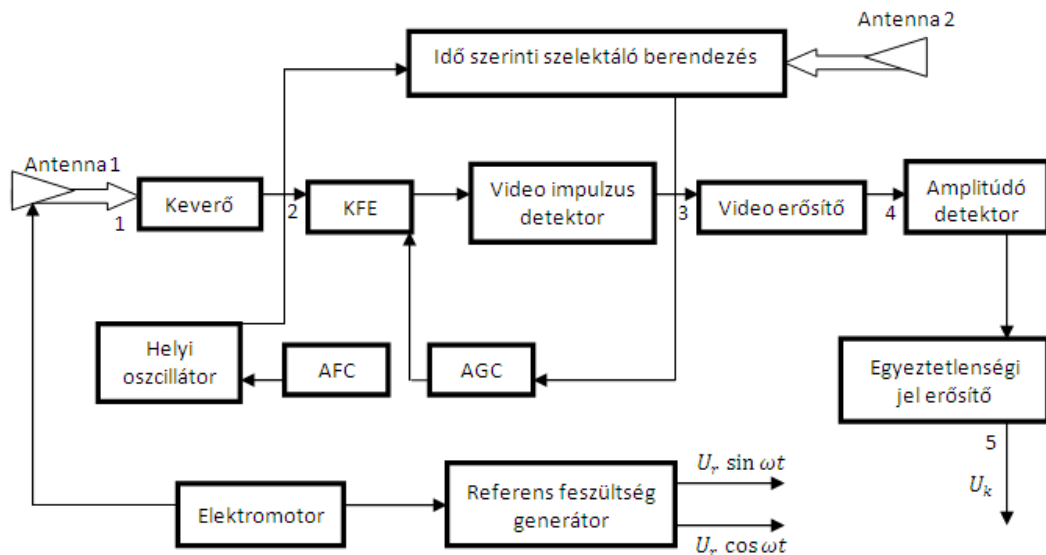
$$U_{0a} = \frac{F(\alpha_a)}{F(\beta_a)}. \quad (31)$$

Azonban félaktív RCK-k esetében a módszer megválasztásának függvényében az egyenlő jelek meghatározásakor más lesz a  $\beta_a$  változási törvénye. Abban az esetben, ha az adóantenna rádiósugara letapogatást végez egy plusz moduláción fog átesni a célról visszaérkező jel. Ez a kiegészítő moduláció az antenna (sugárzó), frekvenciájával történik. Ennek káros van káros hatása is, amit úgy tudunk biztosítani, ha a körfrekvenciák egyenlőségét nem engedjük, azaz  $\omega_0 \neq \omega_a$ . Ha ez a feltétel teljesül, akkor kiszűrhető a  $\omega_0$  frekvenciás burkológörbe.

A 22-es ábrán egy impulzus üzemű RCK blokkvázlatát láthatjuk. A cél jeleket az egyes számú antenna fogja venni, majd innen a jelek egy csótápvonalon keresztül kerülnek a keverőbe, ahol a helyi oszcillátor megtörténik a közép-frekvenciás keverés. Ez az oszcillátor egy  $f_0$  frekvenciás jelet állít elő, mely frekvencia a vivő- és középfrekvencia összegével egyenlő.

Abban az esetben, ha a cél eltér az egyenlő jelek irányától ( $x_k$  tengely), akkor a beérkező jelek  $U_p$  pelengációs függvény alapján lesznek amplitúdó és fázis szerint moduláltak. Ahhoz, hogy az  $f_0$  frekvencia stabil maradjon, a rendszerbe építeni kell egy automatikus frekvencia-szabályzó áramkört. A keverő kimeneti jeleket  $f_k$  frekvenciára hangolt KFE fokozattal felerősítjük. Ezen fokozat erősítési tényezője igen nagy ( $10^6 - 10^7$ ). Az erősítési tényező igen magas értéke azzal magyarázható, hogy a céltól a koordinátorra érkező jel teljesítménye nagyon kicsi ( $10^{-6} - 10^{-7} V$ ).

A KFE kimeneti jelei először egy videodetektorra jutnak. Erre azért van szükség, mert az ide érkező jelek ismétlődési ideje nagy, így az  $U_{kf}$  burkológörbét csak nagy hibával lehetne megállapítani. A fokozatról egy jelek a videoerősítőre kerülnek, ahonnan az amplitúdó által megtörténik az  $U_{kf}$  jel burkológörbájének kiválasztása.



22. ábra Az amplitúdó-fázis célpelengációs RCK blokkvázlata [8] alapján készítette Czövek Andrej (MS Office Word 2007 És MS Paint)

Az amplitúdó detektor kimenetén olyan váltakozó jelű feszültséget kapunk, melynek frekvenciája megegyezik a koordinátor antennájának  $\omega_0$  körfrekvenciájával. Ebből a jelből az egyeztetlenségi jel erősítő fogja erősítés után kiválasztani a jel váltakozó feszültségű összetevőjét, azaz az  $U_k$  kimeneti jelet, mely tartalmazza az információt a cél  $\varepsilon_c$  és  $\varphi_k$  koordinátáiról.

A kialakítás előnye az egyszerűségében rejlik, ami az egysatornás megoldásnak köszönhető. Ám meg kell említeni a hátrányokat is. Az ilyen típusú RCK-k igen érzékenyek a vett jelek amplitúdó-változására, így egy amplitúdó-modulált zavarjel kibocsátásával azok könnyen zavarhatóak. A másik negatívum abban rejlik, hogy a célról és a háttérről visszaverődött jelek igen közel állnak időben egymáshoz, miközben a sugárnyaláb oldalszirmain jelentős zavarvétel tapasztalható. [4][8][24]



## 6. BEFEJEZÉS

Dolgozatomból kiderül, hogy az RCK-k feladata a parancsok és vezérlőjel előállítás a rakéta számára a célravezetés során, illetőleg a rádiógyújtó előkészítése az alkalmazáshoz. Célja, hogy a megfelelő pontossággal vezesse rá a rakétát a manőverező vagy nem manőverező célokra minden körülmények között. Nappal vagy éjszaka, egyszerű és bonyolult időjárási viszonyok között, bármely irányban történő indításkor, bármilyen zavarás esetén a rakétának a megfelelő célpontba kell érnie.

A technika fejlődésével ezeket a feladatokat a rakéták szinte napról napra egyre nagyobb hatékonysággal tudják végrehajtani. Nagyon sok fejlesztésre van még lehetőség ezen a területen. Például a napjainkban egyre aktuálisabbá váló nanotechnológia alkalmazásával létre lehetne hozni a repülőfedélzeti rakéták új generációját. A kommunikációs csatornák fejlesztésével, illetve a zavarvédelem biztosításával elképzelhetetlenül magas hatékonyságú rakétákat lehetne tervezni.

Természetesen a fejlesztések folynak. Ha az egyik fél létre tud hozni valami újat és jobbat, akkor az arra kényszeríti az ellenfelet, hogy ő is fejlesszen és ez már így megy az idők kezdete óta. Az ördögi körből való kilépést az jelenthetné, ha ezeket a pusztításra hivatott magas szintű technológiákat jó célokra fordítanák. Erre azonban az emberiség társadalmi helyzete és kultúrája még nem készült fel.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Nagy István György – Szentesi György: Rakétafegyverek, úrhajózási hordozórakéták, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1983
- [2] Nagy István György – Lőrincz István: Rakétatechnika – Rakétafegyver, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1969
- [3] Kakula János: Rakéták szerkezetana, Magyar Néphadsereg Kilián György Repülőműszaki Főiskola, Szolnok, 1989, 3-12. oldal
- [4] A repülőfedélzeti fegyverberendezések működésének és üzemeltetésének alapjai I. könyv (920/531 szabályzat)
- [5] Zsilák András mk. alez.: Repülőgép-fedélzeti fegyverek megsemmisítő eszközei, 598/479, Kilián György Repülőműszaki Főiskola, Szolnok, 1984
- [6] Francis Crosby: Vadászipülő (Az Imperial War Museum fotóival), Zrínyi Kiadó, Budapest, 2003
- [7] Repülőgép fegyverzet üzemben tartásának elméleti alapjai III. rész Repülőfegyverzet (Re/985)
- [8] В. Г. Григорьев: Авиационные управляемые ракеты Часть 1-2, изд. ВВИА им. профю. Н.Е. Жуковского, 1984
- [9] Gunston, Bill: Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó, 1995
- [10] Repülőgép-fedélzeti fegyverberendezések fejlesztési eredményeinek elemzése (Tanulmány), Kilián György Repülőműszaki Főiskola, Szolnok, 1990
- [11] <http://agat.rosprom.org/prod.htm>
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Active\\_radar\\_homing](http://en.wikipedia.org/wiki/Active_radar_homing)
- [13] [http://en.wikipedia.org/wiki/Semi-active\\_radar\\_homing](http://en.wikipedia.org/wiki/Semi-active_radar_homing)
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/Track-via-missile>
- [15] [http://érdekességek.hu/index13\\_11.htm](http://érdekességek.hu/index13_11.htm)
- [16] <http://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9giharc-rak%C3%A9ta>
- [17] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%A1m%C3%ADt%C3%A1stechnika>
- [18] <http://mek.oszk.hu/00000/00060/html/085/pc008593.html>
- [19] [http://wapedia.mobi/en/Semi-active\\_radar\\_homing](http://wapedia.mobi/en/Semi-active_radar_homing)
- [20] <http://wapedia.mobi/hu/L%C3%A9giharc-rak%C3%A9ta>
- [21] <http://www.aerospaceweb.org/question/weapons/q0187.shtml>

- [22] <http://www.astronautix.com/lvfam/rusdabms.htm>
- [23] <http://www.ausairpower.net/TE-Radar-AAMs.html>
- [24] <http://www.canit.se/~griffon/aviation/text/missiles/aam.html>
- [25] <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-7.html>
- [26] [http://www.f-16.net/f-16\\_armament\\_article10.html](http://www.f-16.net/f-16_armament_article10.html)
- [27] [http://www.freefalcon.com/index.php?page=ff3\\_weapons](http://www.freefalcon.com/index.php?page=ff3_weapons)
- [28] <http://www.gruntsmilitary.com/airdic.shtml>
- [29] <http://www.missiles.ru/>
- [30] <http://www.mult-kor.hu/cikk.php?article=10755&page=1>
- [31] [http://www.niip.ru/main.php?page=library\\_sky17](http://www.niip.ru/main.php?page=library_sky17)
- [32] [http://www.pyro-technic.hu/pt\\_tuztor/pt\\_tuztor.htm](http://www.pyro-technic.hu/pt_tuztor/pt_tuztor.htm)
- [33] <http://www.sulinet.hu/tori/szakkor/hirek/urhajo/mir.htm>
- [34] <http://www.bibl.u-szeged.hu/bibl/mil/ww1/technika/repules/>
- [35] [http://pictopia.com/perl/ptp/ghosts/?ptp\\_photo\\_id=201329](http://pictopia.com/perl/ptp/ghosts/?ptp_photo_id=201329)
- [36] <http://www.britannica.com>
- [37] [http://www.szgti.bmf.hu/opto/2\\_EM\\_Spektr.htm](http://www.szgti.bmf.hu/opto/2_EM_Spektr.htm)