



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



**Fedélzeti Rendszerek Tanszék
Repülőfedélzeti Fegyvertechnikai szakirány**

REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI OPTIKAI ESZKÖZÖK - REPÜLŐFEDÉLZETI IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTÁK OPTIKAI CÉLKOORDINÁTORAI

SZAKDOLGOZAT

**Készítette:
CSATLÓS PÉTER 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

Csatlós Péter

repülőfedélzeti fegyvertechnikai szakos
hallgató részére

1. Feladat:

Repülőfedélzeti optikai eszközök – repülőfedélzeti irányítható rakéták optikai célkoordinátorai

2. Elkészítendő:

- A repülőfedélzeti irányítható rakéták felépítése;
- Az optikai célkoordinátorok alkalmazási területei;
- Az optikai célkoordinátorok típusai, jellemzői;
- Az optikai 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,
- Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök (Id/16 szabályzat)
- A repülőfegyverzet üzemeltetésének elméleti alapjai IV. Repülőfegyverek (Re/997)
- Gunston, B. Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó 1995
- Dr. Ábrahám György Optika, Panem – McGraw-Hill, Budapest, 1998
- Lőrincz Attila: Repülőfedélzeti fegyverzet Komplexum-Magyar Honvédség
- Killán György Repülő Műszaki Főiskola 1990

- Lőrincz István: Az infravörös technika katonai alkalmazása-Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1962
- V. A. Orlov Új eszköz a haditechnikában – A lézer, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1981
- 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

.....
bíró

9. A záróvizsga bizottság döntése:

A szakdolgozatot eredményűnek minősítjük.

Szolnok, 2008. hó-n

.....
ZV bizottság elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	7
1.1 Történeti áttekintés	8
2. IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTÁK	10
2. 1 Irányítható rakéták csoportosítása a cél kiválasztásának módszere szerint.....	10
2.2 A repülőgép fedélzeti irányítható rakéták általános felépítése	12
3. OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOROK	13
3.1 Az optikai célkoordinátorok feladata.....	13
3.2 Az optikai célkoordinátorok felosztása	16
4. A RASZTERES OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR.....	18
4.1 Az infravörös sugárzás fejlődése	18
4.2 Az infravörös sugárzás	20
4.3 A passzív infravörös önirányítás	24
4.4 A passzív infravörös önirányítás működésének alapjai	24
4.5 Az infravörös önirányítású rendszer optikai rendszerének anyagai	27
4.6 Az amplitúdó-fázis modulációs optikai célkoordinátor	32
4.7 A frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátor	39
4.8 Az impulzus modulációs optikai célkoordinátor	42
4.9 A fotoellenállás.....	45
4.10 A céljel átalakítása	51
4.11 Az infravörös technika további alkalmazási területei	52
4.12 A passzív infravörös berendezések elleni védelem	52
5. KÜLÖNBBSÉGKÉPZŐ OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR	53
5.1 A lézer	53
5.2 Lézerek működési elve és jellemzői.....	54
5.3 Félvezető lézerek	64
5.4 A gázlézerek.....	65
5.5 Lézeres rávezető rendszerek	71
5.6 A különbségképző optikai célkoordinátorok működése	72
5.7 A félaktív lézeres önirányítású rakéták elleni védelem.....	76
6. A TELEVÍZIÓS OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR	77

6.1 A sor-kép eltérítésű koordinátor működése.....	77
7. A MOZAIKRENDSZERŰ OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR.....	84
8. A KOMBINÁLT OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR.....	86
9. BEFEJEZÉS.....	87
FELHASZNÁLT IRODALOM.....	88

1. BEVEZETÉS

A rakéták bármely fegyvernem alapvető harci eszközének tekinthetők. Rendszerbe állításuk óta számos típus jelent meg. Ezek jelentősen különbözhetnek egymástól, mivel különbözik a rendeltetésük, alkalmazásuk, irányító rendszerük, harci részük valamint a megsemmisítő hatásuk.

Az indítás és a cél helyzete szerint léteznek:

- föld-föld;
- levegő-levegő;
- föld-levegő;
- levegő-föld rakéták.

Attól függően, hogy a röppályájukon képesek-e irányváltoztatásra léteznek:

- irányítható;
- nemirányítható rakéta.

A nemirányítható rakétáknak nincs fedélzeti irányító berendezésük. A célzás hasonlóképpen a fedélzeti lőfegyverekhez, az indítóberendezés valamilyen térbeli helyzetbe való állításával valósul meg.

Az irányítható rakéták azonban olyan berendezésekkel rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik a rakéta célra irányítását a rakéta repülése közben.

Az irányítási rendszer típusa szerint a következőképpen csoportosíthatók:

- távvezérlésű;
- önirányítású;
- programvezérlésű;
- kombinált irányítási rendszerek.

Távvezérlő irányítási rendszerekben az irányító jel (parancsjel) a rakétán kívül jön létre, például rávezető állomáson. A parancstovábbítás történhet vezetékkel, rádió- illetve elektromágneses hullámok, valamint infrasugárzás segítségével.

Önirányító rendszerekben a rakéta és a cél egymáshoz viszonyított helyzetét a rakéta fedélzetén lévő célkoordinátor határozza meg.

Programvezérlésű irányítási rendszerekben pedig a rakéta előre betáplált program szerint repül. A rakéta nincs kapcsolatban sem a céllal sem az indítási ponttal. A repülés alatt az irányító rendszer összehasonlítja a rakéta

mozgásparamétereinek változó értékeit a program szerinti értékkel. Ennek megfelelően továbbítja az irányítási parancsokat a vezérlő szerveknek. Ennek nagyfokú a zavarvédeltsége, de a rakéta indítása után már nem lehet a programon változtatni.

A kombinált irányítási rendszerek az előbb említett irányítási rendszerek valamilyen keverékét alkalmazzák. Például a nagy hatótávolságú légi harc rakéták célkörzetbe juttatását távvezérléssel vagy programvezérléssel valószínűsítják meg, majd ez után a rakéta a cél befogása után önirányításra vált. Ezzel nagy indítási távolság mellett is nagy pontosság érhető el. [3]

1.1 Történeti áttekintés

Az első légi irányítású rakétákat az első világháború idején, szárazföldi és haditengeri célpontok ellen fejlesztették ki. A légi harc osztályú rakéták kifejlesztése a második világháború kezdetére tehető, de a rendszer különleges bonyolultsága miatt kevésbé pártfogolták. Az első nagy tömegben gyártott, és hamar hadrendbe állított irányítható rakéták a német H-298 és X-4 típusok voltak. Mindkét típusnak alapvető hiányosságai voltak, így a szövetségesek a háború utáni kutatásaikat a zsákmányolt rakéták lokátorirányítására összpontosították. Ezek nem tudtak hangsebesség felett repülni az ellenséges gép elfogásakor. Majdnem mindegyik félaktív lokátoros önirányítórendszerrel rendelkezett melyeknél a célrepülőgép, a rakétát hordozó repülőgép lokátorernyőjén jelent meg, és a rakétát a célról visszaverődő lokátorjelek segítségével vezette a célra. Néhány légi harc rakéta aktív lokátorral készült, ahol a rakéta fedélzeti lokátorával be lehetett fogni a célpontot. Ez nagyméretű, nehéz és költséges rakétát eredményezett, emiatt a hordozásához nagy repülőgépre volt szükség. Az ilyen nagy rakétát bonyolult pontosan a célra irányítani, a hatótávolság korlátai miatt, valamint szükség volt egy saját idegen azonosítóra, hogy mindenképp az ellenséges gépet találja el, nehogy egy saját repülő ellen forduljon. [1, 2]

1950-61 között két olyan kisméretű rakétacsalád került kifejlesztésre, amelyek nagy hatást gyakoroltak a mai légi harc rakétákra. Az egyik az AIM-4 (GAR-1) Falcon nemcsak kicsi, gyors és eredményes volt, de számos irányító-

rendszert is kifejlesztettek hozzájuk. A másik rakéta az AIM-9 (GAR-8) SideWinder volt, amely jelentős technikai és gazdaságossági áttörést jelentett. Ezek a rakéták már nem taroztak a nagyméretű, illetve műszaki színvonaluk miatt a kiemelkedően költséges rakéták közé. A SideWinder alapelve a „csináld egyszerűen és olcsón” volt. Ezt a megbízhatóság és a világpiac meghódítása ellensúlyozta. [2]

2. IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTÁK

Az irányítható rakétáknál az irányítás a rakéta teljes repülése alatt, illetve csak egy bizonyos részén történik. Az első kifejlesztése után folyamatosan fejlődött ki a ma ismert irányítási módszerek többsége. [1]

A korai levegő-felszín rakétákon távirányítást alkalmaztak. Az irányító majdnem mindig az indító repülőgépből vezette célba a rakétát. Néhány rakéta vezetéken keresztül kapta az információkat, de ez a módszer inkább csak a páncéltörő rakétáknál terjedt el annak ellenére, hogy nehezen zavarható. Manapság a legáltalánosabb megoldás a rádiójelek felhasználásával történő parancsközlés, ezek viszont jobban zavarhatók. Ezek mellett létezik még félaktív lokátoros önirányítási rendszer, amely egy alternatív megoldás. Ezek olyan célpontot követelnek, amelyek kontrasztosan kiemelkednek és visszaverik a lokátorimpulzust (például: egy fémépítésű hajó). [2]

2.1 Irányítható rakéták csoportosítása a cél kiválasztásának módszere szerint

Félaktív lokátor önirányítás: az indító repülőgép vagy helikopter lokátorral megvilágítja a célt, majd a rakéta, az orrába épített antenna segítségével érzékeli a visszavert sugárzást, majd innen a jelek az irányító rendszerbe kerülnek, ami a célra vezeti a rakétát. Eddig az indító-repülőgép olyan pályán repül, amely biztosítja a cél megvilágítását a becsapódásig.

Aktív lokátor önirányítás: itt a rakéta irányító része rendelkezik adó és vevő berendezéssel is, a rakéta önmaga világítja meg a célt, és veszi a visszaverődő jeleket. A legújabb aktív lokátor irányítású rakéták frekvenciaváltót alkalmaznak, véletlenszerűen váltogatják a frekvenciájukat, így még nehezebb a kisugárzásuk meghatározása, valamint a cél felé közeledve, csökkentik az adóteljesítményüket, ami szintén nehezíti az észlelésüket. Csak időközönként pásztázzák végig a területet, hogy ellenőrizzék, nem tértek-e le az adott röppályáról a cél felé. Lokátora kisméretű. [2, 3]

Tehetetlenségi vagy inerciális irányítással működő rakéták: nagyobb, álló célpontok elleni rakéták. Egy giroszkóp tartja a rakétát az adott irányban. A földi gravitációt használja fel, mivel az mindig lefelé hat. A gyorsulásmérők a

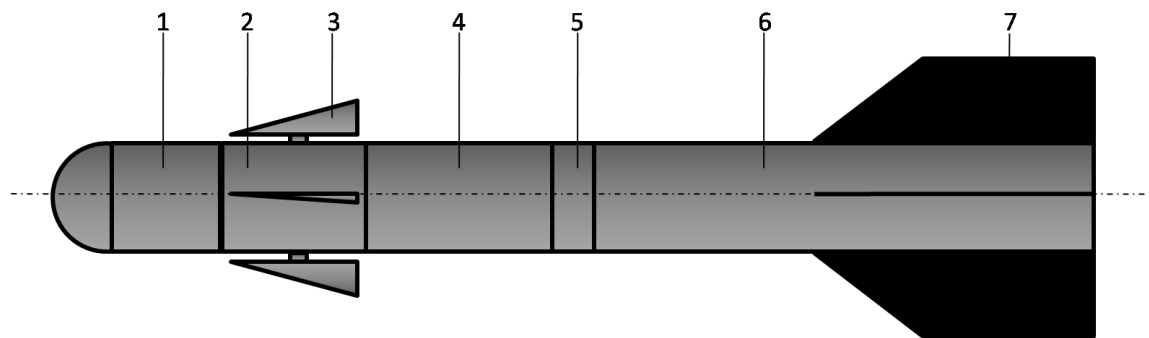
rakéta gyorsulását illetve irányváltoztatását mérik, lehetővé téve egy kis súlyedést is, amit a Föld görbületének követése okoz. A gyorsulás vektorok összegzése adja a rakéta földfelszínhez viszonyított sebességét és irányát. Az összes sebességvektor eredménye adja a rakéta pillanatnyi helyzetét. Ha ismerjük a rakéta indításának pontos helyét lehetőség van arra, hogy több ezer mérföldről is célba találjunk. Ezen rendszerek pontossága sajnos a legjobb esetben is csak néhány 10 méter körül mozog. Ezt az irányítási rendszert főleg manőverező robotrepülőgépeknél alkalmazzák, amelyeket „cirkáló rakétáknak” is neveznek. Sok más levegő felszín rakéta szuperszonikus vagy hiperszonikus lövedékként repül, persze rendelkezik az irányváltoztatás nagyon fontos képességével. [2]

Passzív önirányítás: a működés alapelve: a beérkező infravörös, fény vagy elektromágneses sugárzást a kereső egységre kell fókuszálni. Az optikai rendszer szögirányba való mozgását pedig fel kell erősíteni, majd ez alapján az irányítórendszer, a célba irányítja a rakétát. Az eddig tárgyalt rakétairányítási rendszerekben az volt a közös, hogy a rakéta indítása után az eszköz célon tartásához szükség volt egy, a célon kívül elhelyezett adóberendezésre. Ez vagy besugározta célt, láthatóvá téve így a rakéta számára, vagy az irányító fejnek rádióparancsokat adott. Ezek az elektromágneses hullámokat kisugárzó berendezések könnyen felderíthetőek, és így zavarhatóak is. A félaktív-lokátor önirányítási rendszerrel rendelkező rakéták, a repülésük teljes ideje alatt kénytelenek besugározni a célt. Mivel a vadászgépek lokátorait az orrészbe helyezik, ezért kénytelenek a célpont felé repülni a rakéta indítása után is. Az infravörös önirányítású rakétáknak, azonban nincs sugárzása (passzív fegyver) ami észlelhető lenne, azaz a „Tüzelj és felejtsd el” elven működik. Amint a rakétahordozó eszköz az ellenséget befogta, azonnal tüzelni lehet, és a tüzelés tényét el lehet felejtetni. Ezzel fel lehet gyorsítani a támadást is, mivel az indító repülőgép azonnal irányt változtathat, és egy újabb cél elfogását kezdeményezheti, ugyanis a rakéta önmaga végzi el az célpontra irányítást. A passzív infravörös önirányítású rakéták, még számos előnnyel rendelkeznek az aktív rendszerekkel szemben, de nagy hátrányuk, hogy nagyon kicsi az érzékelési távolsága, max. 25 km, ezért az Amerikai Egyesült Államok Légierője és Haditen-

gerészete a nagy hatótávolságú elfogásokra inkább a lokátorirányítású fegyvereket alkalmazza. Néhányat közülük nagy érzékenységre terveztek az ellenséges repülőgépek által kibocsátott rádiójelek észlelésére. [2, 3]

2.2 A repülőgép fedélzeti irányítható rakéták általános felépítése

Az 1. ábra az irányítható rakéták felépítését szemlélteti.



1. ábra Az irányítható rakéták felépítése [3]

- Ahol: 1 – önirányítófej;
2 – kormányrekesz;
3 – kormányfelületek;
4 – harci rész;
5 – gyújtószerkezet;
6 – rakétahajtómű;
7 – stabilizátorok. [3]

Az önirányítófej vagy más néven célkoordinátor feladata, hogy a rakétát a célba vezesse. A kormányrekesz a célkoordinátortól jövő jelek alapján mozgatja a kormányfelületeket. Ha a rakéta elég közel kerül a célhoz a gyújtószerkezet begyűjtja a harci részt, és a rakéta megsemmisíti a célt.

$$\operatorname{tg} \varepsilon_c = \frac{R_c}{D} = \frac{\rho_k}{f} \rightarrow R_c = D \frac{\rho_k}{f}, \quad \varphi_c = \varphi_k \quad (1)$$

Derékszögű koordinátarendszerben pedig:

$$\cos \varphi_k = \frac{R_y}{R_c} = \frac{R_y}{D \frac{\rho_k}{f}} \rightarrow R_y = D \frac{\rho_k}{f} \cos \varphi_k \quad (2)$$

$$\sin \varphi_k = \frac{R_z}{R_c} = \frac{R_z}{D \frac{\rho_k}{f}} \rightarrow R_z = D \frac{\rho_k}{f} \sin \varphi_k \quad (3)$$

A célravezetéshez $\vec{D}$ és $\vec{x}_k$ vektorok szükségesek, ezek ε_c , φ_c szögek segítségével meghatározhatók:

$$\varepsilon_c = \arctg \frac{R_c}{D} = \arctg \frac{\rho_k}{f}, \quad \varphi_c = \varphi_k \quad (4)$$

A szögkoordináták meghatározásához szükséges ρ_k és φ_k , polárkoordinátarendszer esetén. Derékszögű koordinátarendszernél pedig $\rho_{k1} = \rho_k \cos \varphi_k$ és $\rho_{k2} = \rho_k \sin \varphi_k$.

A fókuszsíkra eső kép megvilágítottsága annál erősebb, minél nagyobb az S_0 felület (bemeneti armatúra). Ekkor ugyanis ω térszög nagyobb. Ez az a szög, amelyben a célról érkező sugarak behatolnak a célkoordinátorba. Ezek optikai rendszere kis fókusztávolságú, a céltávolság viszont nagy, ezért a célkép mérete a fókuszsíkon nagyon kicsi, szinte egy pontban összpontosul. Ez a gyakorlatban nem így van, mivel az ideális optikai rendszer gyártása nem megvalósítható a különböző gyártási pontatlanságok miatt, ezért a cél a fókuszsíkon állandó mérettel fog rendelkezni. Ha a rakéta minimális indítási távolságán belül van a cél, akkor a célkép mérete nagyobbá válik, mint ez az állandó méret. Az állandó méretű célkép könnyebbé teszi a célkép koordinátáinak meghatározását. Az optikai jelek elektromos jelekké történő átalakítását fotoellenállások vagy fotodiódák végezhetik, ezeket összefoglaló néven sugárenergia-vevőknek nevezik, melyek továbbítják a jeleket valamilyen erősítőbe és átalakító berendezésbe.

Ha a cél az optikai rendszer fókuszsíkjának középpontjában van, akkor nincs kimenő jel, mivel a rakéta a célra néz. Manőver közben a $\vec{D}_0$ és $\vec{x}_{k0}$ vektorok elté-

rőek és megjelennek ε_c és φ_c szögek. Ekkor van kimenőjel, amely a cél helyzetének megfelelően változik. Ez a jel a következőképpen állítható elő:

- A sugárenergia-vevő lassan változó kimenőjelét modulálni kell, így változó feszültséggé alakul, melynek paraméterei a cél helyzetét jellemzik.
- A sugárenergia-vevőben elhelyezett érzékelő elemekkel előállított jel amplitúdója, vagy két egymás mellett lévő érzékelő különbsége alapján lehet a célt detektálni.

A modulálás elektromechanikai vagy elektrooptikai eszközökkel végezhető (raszteres modulálótárcsa vagy érzékelők leolvasása elektronsugárral). Ezután a jel az érzékelő elemről vagy váltakozó feszültségként (melynek paraméterei: amplitúdó, frekvencia, fázis), vagy impulzusként (melynek paraméterei: amplitúdó, impulzushossz, ismétlődési periódus) jelenik meg. A mért paraméterek a cél helyzetével arányosak.

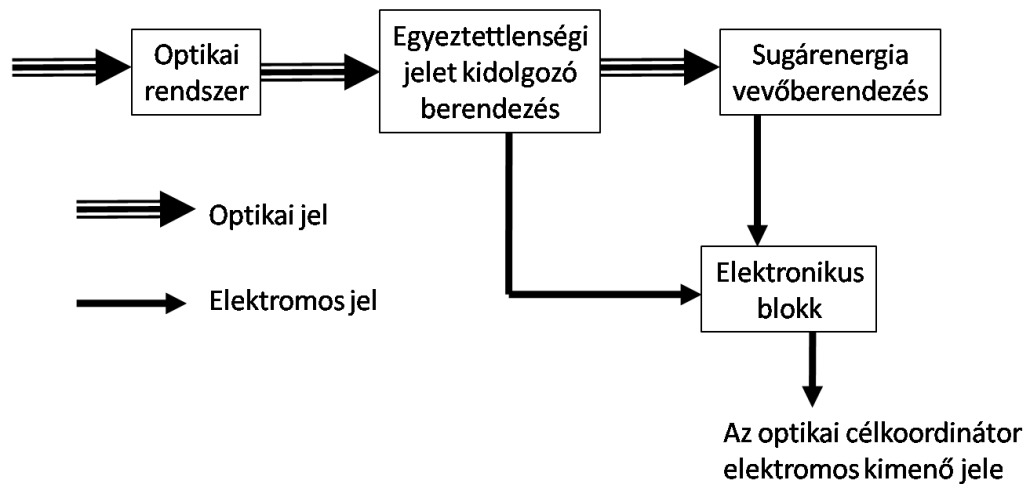
Az utóbb említett megoldás esetén két érzékelő segítségével meghatározható a cél egyik koordinátája derékszögű koordinátarendszerben, a másik koordinátát pedig szintén két érzékelő elem méri. Nagyszámú érzékelő elem is alkalmazható (mozaik), ha van olyan elektronikus berendezés, amely minden elem koordinátáját meg tudja határozni. Ilyenkor a cél koordinátáit a célról érkező optikai energia segítségével az érzékelő adja meg.

Az egyeztetetlenségi jelet létrehozó blokkban van egy referens feszültséget kialakító áramkör, ami biztosítja a számítás kezdetét, amihez képest mérik az eltérést, vagyis a cél helyzetét a középponthoz képest. Ez a célbefogás folyamata. Ezeket a jellemzőket figyelembe véve az 3. ábra szemlélteti az optikai célkoordinátorok általános felépítését.

Az optikai rendszer részei: az áramvonalazó burkolat, ernyő a célkép ábrázolására, optikai szűrő és a célképről kapott sugárjelet a bemeneti lencsére gyűjtő berendezés (kondenzor-gyűjtőlencse).

Az egyeztetetlenségi jelet kidolgozó blokk részei a megoldó- és koordináta-meghatározó, vagy modulációs berendezés, amelynek a feladata, hogy kiszűrje a célról vett hasznos jelet a háttér zavaró jelei közül.

A sugárenergia-vevőberendezés részei a tápegység, érzékelő elemek, és ha szükséges akkor hűtőberendezés.



1. ábra Az optikai célkoordinátor általános felépítése [7]

Az elektronikus blokk részei különböző erősítők, mint a feszültség erősítő, teljesítményerősítő és az automatikus erősítés szabályozás átalakító berendezései. Tartalmaz még kiegészítő berendezéseket, mint a modulációs elemek és a referens jelet biztosító feszültséggenerátor forgását és fordulatszámát szabályozó berendezés, a közelségi gyújtó élesítési parancsait kidolgozó berendezés, speciális berendezés a valós cél és a háttérzaj, illetve imitált célok szétválasztására. [7]

3.2 Az optikai célkoordinátorok felosztása

A felosztás alapelvei a következők:

1. Az optikai sugárzás frekvenciatartomány alapján
 - látható sugarak frekvenciatartományában működő célkoordinátorok (általában lencsés optikai rendszere van);
 - infravörös célkoordinátorok, melyek az infravörös sugárzás közepléghullámú frekvenciáján működnek (az objektíven keresztülhaladó infravörös sugárzás veszteségeinek csökkentésére tükrös, vagy tükrös-lencsés kombinációs optikai rendszere van)
2. Az egyeztetettlenségi jelet létrehozó blokk kialakítása szerint:
 - raszteres optikai célkoordinátor, ahol az optikai sugárzás modulációját modulálótárcsa végzi, amelyet áteresztő és nem át-

eresztő szektorok alkotnak. A tárcsa vagy a célkép forgatásával megkapható a modulálandó jel. A célkép forgatása esetén a moduláló raszteres tárcsa helyett használhatók, a raszter áteresztő vonalaiba helyezett érzékelő elemek is. Az elektronikus jel modulációja alapján lehetnek: amplitúdó-fázis, frekvencia-fázis és időimpulzus modulációs célkoordinátorok.

- különbségképző optikai célkoordinátor, amely az optikai kvantumgenerátor előállított és a célról visszaverődött impulzus jellegű jele alapján működik. A célkép koordinátáinak meghatározása a jel-amplitúdók különbsége alapján történik. Ezeket a különbségeket a sugárenergia-vevőben elhelyezett négy párban összekötött érzékelő adja. Ebben az esetben nincs jelmodulálás, mivel a beérkező jel impulzusa kicsi (ns nagyságrendű), és az ismétlődési periódusa ehhez képest nagy (μ s nagyságrendű).
- televíziós optikai célkoordinátor, ahol az optikai jelek televíziós képfelvevő cső által modulálódnak. A televíziós képfelvevőben az elektronsugár biztosítja a célkép koordinátáinak leolvasását. Az elektronsugár az eltérítés hatására a teljes fókuszsíkot letapogatja. Az optikai rendszer fókuszsíkjában helyezkedik el a cső fotokatódja. Két típusa van: spirális eltérítésű, valamint sor-kép eltérítésű célkoordinátor.
- mozaikrendszerű optikai célkoordinátor, ahol a célmeghatározást mozaikrendszerű sugárenergia-vevő berendezés diszkrét, elektronikus koordináta-számító áramköre végzi.
- kombinált rendszerű optikai célkoordinátor, amely az előzőekben felsorolt célkoordinátorok valamilyen „keveréke”. [7]

4. A RASZTERES OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR

A raszteres optikai célkoordinátorok általában passzív infravörös önirányítással rendelkeznek. Mielőtt kifejteném a típus működését, említést kell tennem az infravörös sugárzásról.

4.1 Az infravörös sugárzás fejlődése

Az infravörös sugárzás felfedezése W. Herschel angol csillagász nevéhez köthető, aki 1800-ban tanulmányozta a prizmával felbontott fénysugár színeképét. Ekkor a fehér fénysugárnyaláb prizmával történő felbontásakor létrejövő színek teljesítményét vizsgálta a tárgyak felmelegítése és megvilágítása szempontjából. Ha sötét szobában keskeny résen át párhuzamos fehér fénysugárnyalábot bocsátunk keresztül egy prizmára, akkor a prizmán áthaladva színes sugarakra bomlik szét, mivel a prizma a különböző színű fénysugarakat nem egyformán téríti el. Vörös, narancs, sárga, zöld, kék, indigó és ibolya-kék színeket láthatunk. Ez a színekép. Herschel a színekép egyes színeinek tulajdonságát vizsgálta hőmérővel. A kísérlet eredményeképpen kiderült, hogy a színekép ibolya színétől a vörös felé haladva emelkedik a hőmérséklet. Az vörös színű sáv három és félszer melegebb volt, mint az ibolyaszínű. Ez az érték - ahol már látható fény nem mutatkozott az ernyőn - a fehér fény prizma színeképének vörös határán túl, már négy és félszer nagyobb volt, mint az ibolyaszíne. A kísérlet bebizonyította a létezését a láthatatlan sugárzás, infravörösnek nevezett elektromágneses színeképtartományának.

Katonai alkalmazására már az 1900-as évek elején érdeklődést mutattak, a színekép infravörös sugárzásának láthatatlansága miatt, ami rejtett hírközlést tesz lehetővé egyszerű eszközökkel. Emellett fel tudták deríteni a célt annak saját, természetes sugárzása alapján. Az első katonai infravörös berendezések hő elemeikkel 180 méterről embert, 1600 méterről repülőgépet tudtak felderíteni. 1917-ben már 28 km-ről villanójeleket tudtak venni. Az első világháború után következő évtizedekben az infravörös technikai fejlődés megtorpant, de az 1930-as évektől ismét elkezdték fejleszteni katonai programokban. Elsősorban jelző és hírközlő berendezéseknél alkalmazták őket. Az infravörös technika fejlődés után már a repülőgépek ellen alkalmazott fény-

szórók és légvédelmi ágyúk tűzének irányítására, felderítésre, távolságmérésre céltárgyak felderítésére szolgáló repülőgép műszerekhez, illetve repülőgépek fegyvereinek irányzékai és közelségi gyújtók érzékelőiként is elterjedtek. Emellett beszédátviteli eszközként is használták a második világháborúban.

Ezek az eszközök felderíthető elektromos jeleket adtak, de képalkotásra még nem voltak képesek. 1929-ben létrehozták a képalkotásra is alkalmas infravörös készüléket, de az előgőzölögtetési módszeren alapuló készülék nagy tehetetlensége és sérülékenysége miatt nem terjedt el katonai alkalmazásban. Ezt az elektronoptikai képalkotó csövek tették lehetővé. Ezeket alkalmazták infravörös távcsövekben, éjszakai fegyverirányzékokban, illetve éjszakai gépjárművezető eszközökben. Az éjszakai leszállásokhoz infravörös sugárzókat alkalmaztak a repülőtereken. Az új típusoknál infravörös sugárzásra érzékeny foszfort fejlesztettek ki amely – előzetesen ultraibolya, vagy látható fénnel illetve ultraibolya sugárzással gerjesztve - infravörös sugárzás hatására látható fényt bocsát ki. Ezek az eszközök egyszerűbbek, könnyebbek és olcsóbbak voltak, de érzékenyséjük valamint képfeloldó képességük rosszabb volt, mint a képátalakító csöveseké.

Az infravörös szűrők és nagy teljesítményű sugárforrások kutatása is fontos szerepet játszott a katonai infravörös technikában. Az addigi nagy teljesítményű sugárforrások nagymértékben sugároztak a látható színekben is. Így nagy gondot okozott az élesen határolt áteresztő képességű, hosszú hullámokat jól áteresztő szűrők kifejlesztése. Mindemellett ezeknek nagy szilárdsággal és jó hőálló képességgel kellett rendelkezniük. Infravörös sugárforrásnak fűtött szálú izzólámpákat, ívfénylámpákat és nagynyomású gáztöltésű lámpákat használtak. Az infravörös távolság- és iránymérő berendezésekhez pedig mikro-villanólámpákat alkalmaztak 30, 3 és 1 ezredmásodperces villanás-időtartammal, amik lehetővé tették emberek illetve part közeli hajók 1,5 km távolságból történő felderítését. Az alacsonyabb hőmérsékletű célok észlelésére a hő detektoros érzékelőelemeket tovább fejlesztették. Ilyen detektorokat alkalmaztak hordozható hajó-, ember-, jármű felderítő eszközökben, valamint alkalmazták egy önműködő bombakioldó szerkezetben is. A második világháborúban fejlesztették ki az előzőektől eltérő hő detektort a

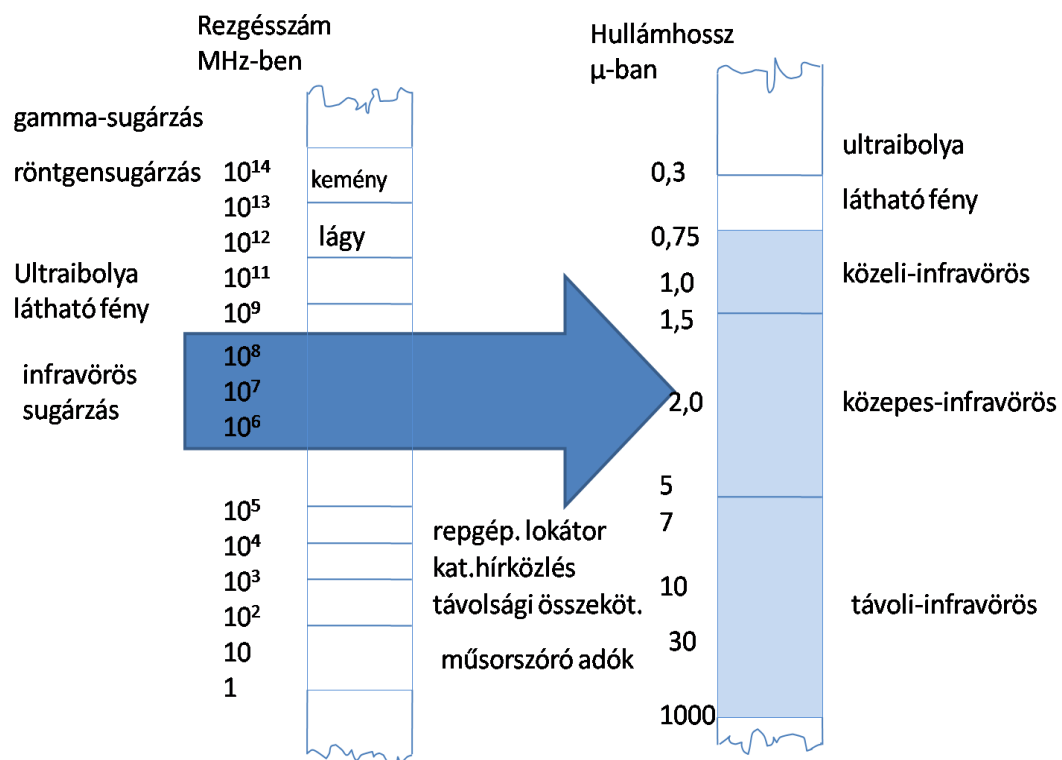
Golay-cellát. Itt kis térfogatú gáz nyeli el az infravörös sugárzást, ami a sugárzás hatására felmelegszik, kitágul, és eltorzít egy membránt. A membrán változása miatt változik a rá bocsátott látható fény visszaverődése, melyet rácson át egy fényelem érzékel. A második világháború után is folytatódott a fejlődés, főleg a detektorok területén, amit nagymértékben elősegített a félvezetők ismeretének fejlődése. Így az infravörös eszközök katonai alkalmazását kiterjesztették a hosszabb hullámhosszakra is. [4]

4.2 Az infravörös sugárzás

Az infravörös sugárzás az elektromágneses rezgések közé tartozik. Az elektromágneses sugárzásoknak csak kis részét lehet az emberi érzékszervekkel felfogni. Ezek a sugárzások a kozmikus sugaraktól a nagyfrekvenciás rezgésekig terjednek, melynek főbb részei sorrendben: a kozmikus sugarak, gammasugárzás, röntgensugarak, ultraibolya sugarak, látható fény, infravörös sugarak, mikrohullámok, rádióhullámok és nagyfrekvenciás rezgések. Ezek alkotják az elektromágneses sugarak színeképét. A másodpercenkénti rezgésszám (γ frekvencia) és a hullámhossz (λ) segítségével meghatározhatók az elektromágneses rezgések egyes tartományai. A szorzatuk minden rezgésfajtára azonos, ami a fénysebességgel (c) egyenlő. Tehát minél nagyobb egy sugárzás hullámhossza annál kisebb a rezgésszáma. A szem a különböző hullámhosszú és rezgésszámú sugárzásokat különböző színűnek látja. A látható fény tartománya 0,4 (ibolya) mikrontól 0,76 (vörös) mikronig terjed. A vörös határon túli rezgéseket, amelynek hullámhossza a látható fény és a mikrohullámok között található infravörös sugárzásnak nevezik. Ezek három szakaszra bonthatók fel:

- közeli infravörös tartomány: 0,76-1,5 mikronig;
- közepes infravörös tartomány: 1,5-5,6 mikronig;
- távoli infravörös tartomány: 5,6-1000 mikronig.

A katonai céltárgyak jelentős hányada – jellemző hőmérsékletének köszönhetően – a távoli és a közepes infravörös hullámsávban sugároz ki, még hozzá maximális erősséggel. Az 4. ábra az elektromágneses rezgések színeképét mutatja.



4. ábra Az elektromágneses rezgések színeke [4]

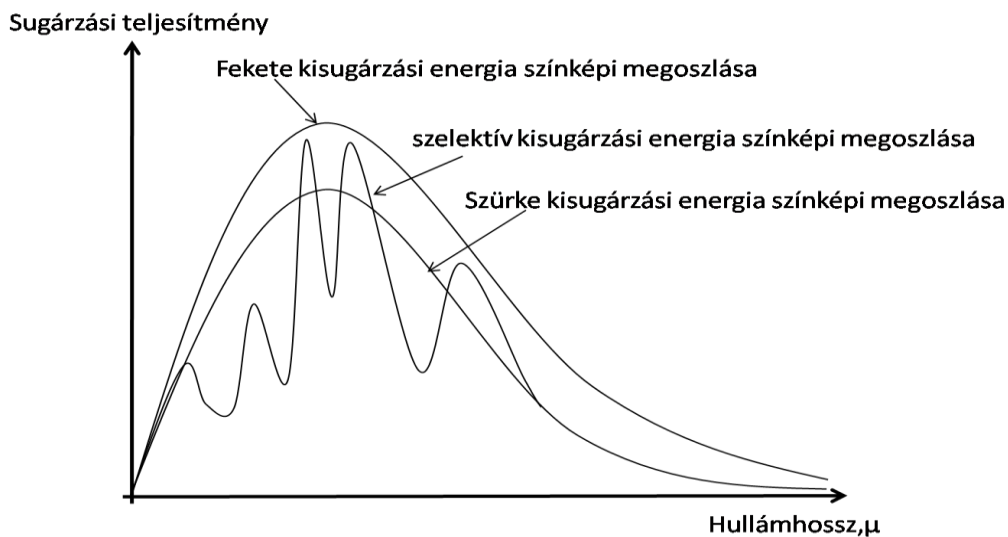
Minden test, aminek hőmérséklete nagyobb, mint az abszolút nulla fok (-273°C), elektromágneses sugárzást bocsát ki magából, az anyag atomjainak vagy molekuláinak forgó, rezgő mozgásának köszönhetően, amelyek mozgási sebessége a hőmérséklet emelkedésével fokozódik. Az elemi részecskéknek elektromos töltése van, így mozgásuk közben elektromágneses rezgések forrásaivá válnak. Ezért lehet az infravörös sugárzást hőszugárzásnak is nevezni mivel a sugárzás erőssége és hullámhossza függ a sugárforrás hőmérsékletétől (abszolút fekete testnek nevezik az olyan testet, amely a rá eső sugárzást teljesen elnyeli). A különböző testek infravörös sugárzása különböző rezgésekből tevődik össze, de a legnagyobb energiájú sugárzás a test hőmérséklete által pontosan meghatározott hullámhosszú. Kísérletek bizonyítják, hogy az abszolút fekete test hőmérsékletének növelésével csökken a legnagyobb energiájú rezgés hullámhossza. 525°C felett a sugárzás az emberi szemnek is részben láthatóvá válik. 2727°C -nál alacsonyabb hőmérsékletű testek sugárzása az infravörös sugárzás tartománya. A test hőmérsékletének emelkedésével a kisugárzott energia egyre szűkebb hullámsávra korlátozódik. A természetben

nincsen abszolút fekete test. A természetben fellelhető testeket sugárzásuk alapján két csoportba sorolhatjuk:

- szürke sugárzók;
- szelektív sugárzók.

A szürke sugárzók színképi megoszlásuk alapján hasonlóak az abszolút fekete testéhez, de sugárzásuk energiája, minden hullámhossznál és minden hőmérsékletnél kisebb. A különbséget az elnyelő képesség okozza, ami független a hullámhossztól. A szürke sugárzó a rá eső sugárzás egy részét elnyeli, egy részét pedig visszaveri. E kettő hányadának összege mindig egységnyi. A testek kisugárzási tényezőjét az adott anyag felületi érdessége is befolyásolja. Az érdes felületű anyagok jobban sugároznak, mint a sima felületűek, ugyanazt az anyagot figyelembe véve. Ezért szokták haditechnikai eszközök felületét fényezni, polírozni, mivel csökken az infravörös felderíthetőségük mértéke.

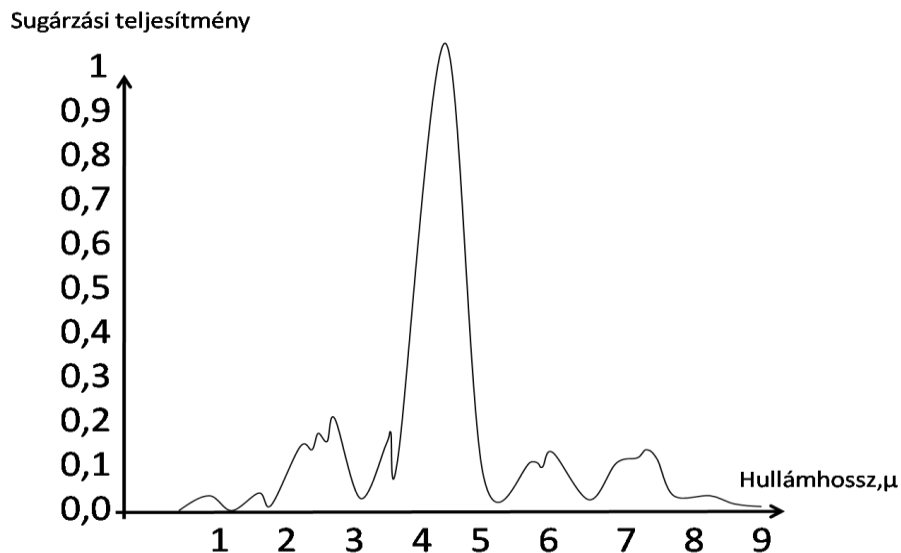
Szelektív sugárzás, amely a színképnek csak meghatározott keskeny sávjaiban kis mértékben bocsát ki sugarakat. Azoknak az anyagoknak az elnyelő képessége, amelyek szelektíven sugároznak, függ a hullámhossztól és a hőmérséklettől. Az 5. ábra néhány anyag színképi megoszlását mutatja.



5. ábra Különböző anyagok színképi megoszlása [4]

A színképi megoszlást mutató ábrán jól látható, hogy a szürke sugárzás görbéje hasonló a feketéhez. A szelektív kisugárzás görbéjén több maximum és minimum található.

A gázoknál ez a színekép nem folytonos, hanem frekvenciasávokra korlátozódik a molekula részecskének megfelelően. A gázok sávos színeképében a sugárerősség kisebb, mint a fekete testté, tehát a gázok teljes kisugárzása kisebb, mint a szilárd testeknek.



6. ábra A Bunsen-égő kibocsátási színeképe [4]

Az 6. ábrán látható a Bunsen-égő kibocsátási színeképe két maximumot tartalmaz a vízgőz és a CO_2 gőzénél 2,8 illetve 4,8 mikron hullámhossznál. Ezek a maximumok ugyanúgy megtalálhatók a robbanómotorok és a sugárhajtóművek kipufogógázainál is. A gázzal töltött kisülési csövekben, a neonnal, higannyal vagy nátriummal töltött lámpákban a kisugárzást az elektronok vagy ionok egymással való ütközése idézi elő. Ilyenkor a kisugárzás nagyobb is lehet, mint a fekete testnél.

A rövid hullámhosszú infravörös sugarak tulajdonságai a látható fényhez hasonlóak. Ezért infravörös sugarakkal is lehet egy tárgyról olyan képet alkotni, amelyen az egymáshoz közel lévő pontok is jól megkülönböztethetők. De ez szabad szemmel nem látható. Az ember az infravöröstől az ultraibolya sugarakig látja a sugárzásokat. Az infravörös sugarak fotonjai nagyon kicsik és a szem retechártyájának anyagán nem idéznek elő kémiai változást. Ha ezt lehetne érzékelni, akkor a tárgyak még színesebbek lennének, éjszaka pedig felismerhetők lennének a melegebb tárgyak, például házak, élőlények. [4]

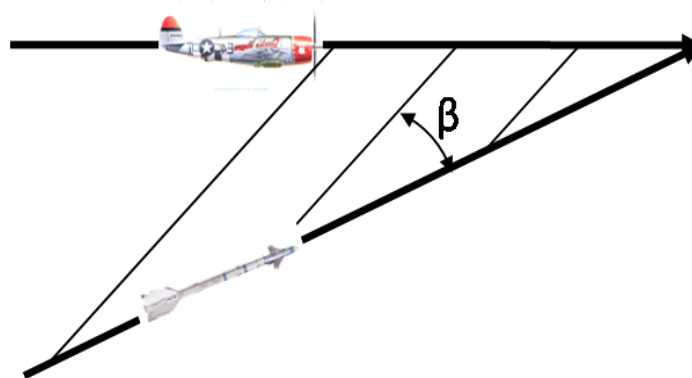
4.3 A passzív infravörös önirányítás

Az első infravörös irányító egységek a Napba igyekeztek, vagy a Nap sugarainak visszaverődését követték (tó, üvegház, stb.), illetve különböző hőforrásokra is beindultak. Eleinte nagyon sok rendellenesség jelentkezett ezeknél az eszközöknél, szinte képtelenek voltak a pozitív célbefogásra, kivéve abban az esetben, ha a rakétát az ellenséges repülőgép mögül, kis távolságról, illetve annak utánégetőjének teljes működése közben indították. Manapság a passzív infravörös önirányítású rakéták százszor érzékenyebbek, mivel sokkal újabb, érzékenyebb anyagokat, jobb optikai eszközöket illetve különleges anyagokat használnak. Így a rakéta ma már nem vesz tudomást egyéb zavaró tényezőkről (sugárzásokról), csak azt a bizonyos sugárzást követi, ami a célpont elfogásához kell. Nincs olyan repülőgép, amely ne bocsátana ki infravörös sugárzást. Még a legkorszerűbb lopakodó technológiával kifejlesztett gépek is sugároznak, a hajtómű működési technológiájából adódóan. Napjaink legkorszerűbb passzív önirányítású rakétái, már képesek bármilyen irányból, akár még szemből is befogni az ellenséges célrepülőgépet. Vietnámban ezeknek a rakétáknak a megsemmisítési aránya igen csekély volt. 100-ból 92 alkalommal nem találtak célba a légi harc rakéták. A Falkland-szigetekért vívott háborúban ez az arány jelentős mértékben javult az AIM-9L SideWinder 26 alkalomból 20-szor célba találtak, ami 77%-os találati valószínűségi arányt jelent. Jelentősen jobb a korábbi 8%-nál. [2]

4.4 A passzív infravörös önirányítás működésének alapjai

Mint azt már korábban említettem a rakétairányítás passzív módszere egy nagyon fontos tulajdonságban különbözik az egyéb önirányítási rendszerektől. Ez pedig, hogy nem bocsát ki semmiféle sugárzást, hanem a cél sugárzását felhasználva fogja az irányítójeleket a rakétának továbbítani. Az infravörös önirányítófejek alkalmazásának egyik hátránya az, hogy ha a céltárgy hőmérséklete alacsony, akkor az általa kibocsátott sugárzás hullámhossza nagy és teljesítménye kicsi, azaz nehezen érzékelhető. Napjainkban mégis egyre elterjedtebb az ilyen technika alkalmazása, mivel a rakéták egyre érzékenyebb detektorokkal vannak felszerelve. A rakéta irányítófej érzékeli a rakétának

valamilyen kisugárzását (ez a legtöbb esetben infravörös sugárzás), és ezt követően olyan vezérlőjelet dolgoz ki, ami a későbbiek során a rakéta irányítását végzi, a cél mozgásának megfelelően. Az önirányító fej a cél által kisugárzott jelek alapján, a cél pillanatnyi helyzete és az önirányítófej tengelye közötti szögeltérésből hibajelet határoz meg. A kereső a lövedék céltárgyra irányítását úgy végzi, hogy a rakétát a céltárgy pályáját keresztező útvonalon vezeti (7. ábra).



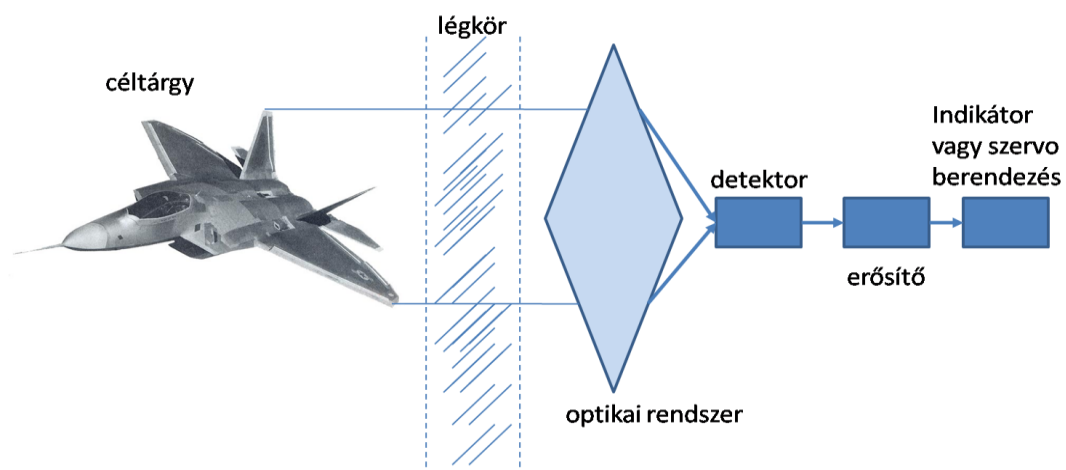
7. ábra A cél és a lövedék pályája [4]

A lövedék pályája jellemzője, hogy a céltárggyal alkotott β látószög értéke minden időpillanatban állandó. A rakéta ütközési pályáján való vezetéshez a keresőnek olyan adatokat kell továbbítania, amelyek biztosítják, hogy a látószög állandó értékű legyen. Ezt, ha kell, a kormánylapok kitérítésével valósítja meg. Bár a szögsebességmérés egyszerű feladat, de ezt egy kis helyszükségletű, könnyű, és különleges környezeti viszonyok között haladó szerkezettel kell megoldani. A rakétán elhelyezkedő passzív vevőberendezések nagyon nehezen felderíthetőek, éppen ezért a rakétát működés közben is bonyolult érzékelni. Nagy a valószínűsége, hogy a rejtett megközelítés után megsemmisíti a célt. A légi harc rakétáknál gyakran alkalmazzák ezt a fajta irányítást. Ennek egyik egyszerű magyarázata, hogy a repülőgépek többsége működés közben infravörös, azaz hőszugárzást bocsát ki. A passzív irányítóberendezéseknél, a cél infravörös sugárzásának érzékelését megnehezíti az egymásnak ellentmondó követelményrendszer. Például, hogy a kereső érzékenyebbé tételéhez nagy optikai nyílásra lenne szükség, de ezt a lövedék korlátozott átmérő-

je nehezebbé teszi. Olyan optikai rendszert kellene alkalmazni, amelynek nagy a felbontó képessége, ezt viszont a rakéta hossza miatt, az optikai út rövid tengelyirányú mérete korlátozza. A nagy felbontást még a szabályozható optikai elemek is segítik, de a rakétában a stabilitás, és a könnyebb gyárthatóság érdekében csak rögzített optikai elemek alkalmazhatók. A szilárdság pedig vastag, merev optikai elemekkel valósítható meg, de a kis tömegre és tehetetlenségre, illetve kis méretre vonatkozó követelmény, ezt is megnehezíti. Mindemellett nagy valószínűséggel lehet számítani a működés közbeni jelentős rázkódásra, és irányításkor a környezeti hőmérséklet nagymértékű változására.[4]

Az infravörös sugárzás feldolgozható jellé alakítását a vevőberendezés végzi. Nem lehet befolyásolni az infravörös sugárzás légkörön való áthatolásának mértékét, ezért fokozni kell a vevőberendezés érzékenységét, hogy minél nagyobb hányadát érzékeli a rá érkező sugárzásnak, így nagyobb távolságból észrevehető a cél. A vevőberendezés általában a következő részekből áll (8. ábra):

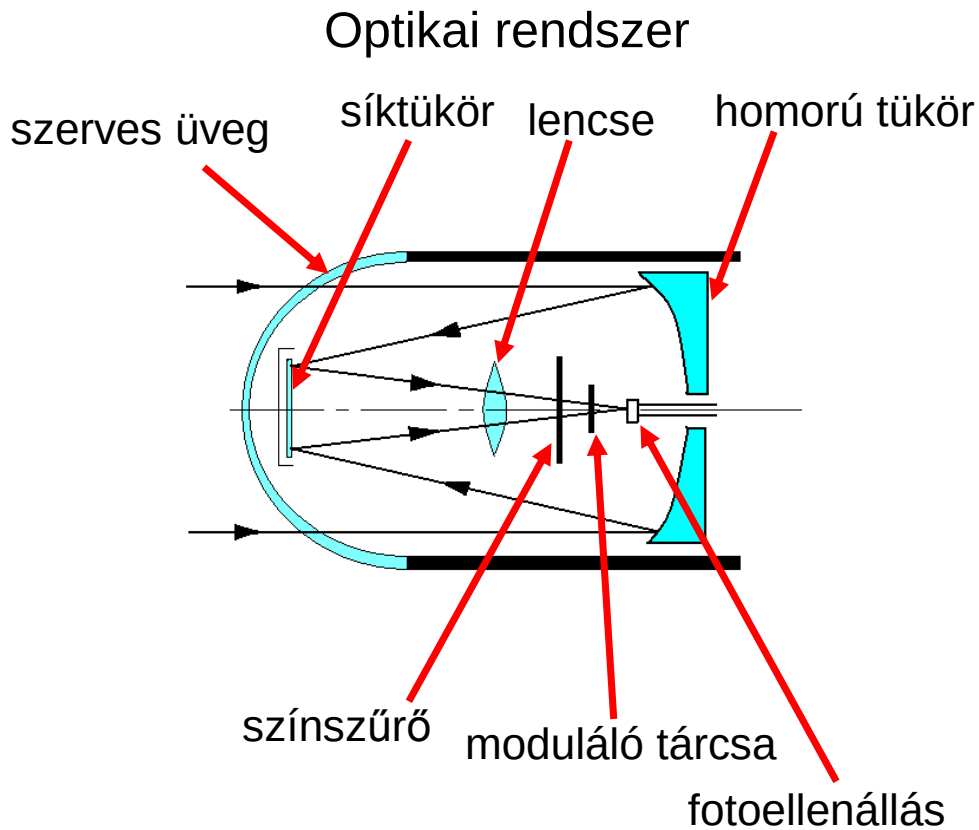
- optikai rendszer (burkolat, szűrő, tükrök, lencsék);
- detektor;
- szervo berendezés vagy indikátor.



8. ábra Az infravörös sugárzás vevőberendezésének részei [4]

Az optikai rendszer első tagja egy, a detektor hullámtartományának megfelelő színképsávban jól áteresztő burkolat. Ezután a légkör által gyengített infravörös sugárzás a burkolaton keresztül jut egy parabolatükörre. Ezután a parabolatükör által összegyűjtött jel egy közbenső tükrök segítségével jut az érzékelő elemre, vagy detektorra. A detektorból érkező elektromos jel erősítőn keresztül

az indikátorra jut, ahol a detektor felerősített jelét a szervó berendezés vezérlésére használják.



9. ábra Az infravörös vevőberendezés optikai rendszere [3]

Az infravörös sugárzás a fénysugárzáshoz hasonló tulajdonságú. A rakéta orr-résében - az önirányító fejben - elhelyezett optikai eszközök a céltól jövő sugárzást elektromos vezérlőjellé alakítják át. Az infravörös önirányító fej kis helyszükségletű eszköz, nagy szögfelbontó képességgel. Ezért jó irányítást biztosít. Az optikai rendszer (9. ábra) összegyűjti a céltárgyról érkező infravörös sugarakat, majd azokat a modulálótárcsára fókuszálja. [4]

4.5 Az infravörös önirányítású rendszer optikai rendszerének anyagai

A burkolat: nehéz problémát jelent, hogy a látható színeképtartományban használatos optikai üvegek az infravörös technikában kevésbé alkalmazhatók. Az infravörös sugarak számára az átlátszó buroknak a következő tulajdonságoknak kell megfelelni:

- nagy áteresztési tényező a szükséges hullámhossz tartományon belül;

- meghatározott mechanikai szilárdság;
- a légkör kémiai hatásaival szemben ellenálló legyen;
- hőálló legyen.

Egyetlen ma ismert anyag sem tud megfelelni minden követelménynek teljesen, mivel egymásnak ellentmondóak a feltételek. Ezért kell valamilyen engedményeket tenni. Az infravörös technika optikai elemei: a burkolatok vagy ablakok, a szűrők, a lencsék és prizmák, illetve a tükrök.

Az átlagos üvegek csak kb. 2,7 mikron hullámhosszúságig alkalmazhatók infravörös rendszerekben. Emellett már léteznek olyan különleges üvegek, amelyek áteresztő képessége 5-6 mikronig terjed. De ezek az üvegek többnyire nagyon ridegek, ezáltal nehezen megmunkálhatók. A zafír például maximum 5,5 mikronig ideális. Vízben oldhatatlan kemény és színtelen. Olvadáspontja 2000 °C felett van. A magnéziumoxid tulajdonságai hasonlóak, de áteresztőképessége a 9,5 mikront is eléri. A fluorid vegyületek közül a stroncium-, bárium- és ólomfluorid is csak 10-11 mikronig átlátszó. Néhány műanyag is vékony réteggként alkalmazva széles hullámtartományban lehet áteresztő. A tiszta germánium és a szilícium a látható fény számára nem hatolható át, de az infravörös sugárzás számára átlátszó. A germánium 1,8, míg a szilícium 1,0 mikront meghaladó hullámtartományban is kiváló áteresztő.

A színszűrő olyan optikai elem, amely megváltoztatja a sugárzó energia színképi összetételét, függetlenül, hogy azt látható vagy láthatatlan hullámtartományban kerül alkalmazásra. Minden anyag kisebb vagy nagyobb mértékben elnyeli a rajta áthaladó sugárzási energiát. Ez az energia idézi elő az anyagban lévő elektronok, atomok, molekulák rezgését. A szabad elektronok által mutatott elnyelés az egész színképben azonos mértékű, mivel ezek csak a beeső sugárzás nagyságának megfelelő rezgést végezhetnek. Az atomok, molekulák vagy kötött elektronok rezgése által való elnyelés, egyes elnyelési sávok alakjában jelenik meg. Ez a szelektív elnyelés.

A szűrők osztályozása színképi jelleggörbéik alapján:

- rövidhullámú sávszűrő, amely csak a jellemző határ-hullámhossznál rövidebb sugárzást engedi át;
- sávszűrő, amely csak keskeny hullámhossz-sávban engedi át a sugárzást;

- hosszúhullámú sávszűrő, amely a jellemző határ-hullámhossznál nagyobb hullámhosszt enged át.

A szűrők felmelegszenek, ahogy a sugárzás keresztülhalad rajtuk. Emiatt fontos, hogy jó hőállóságuk legyen. Ha a szűrőn áthaladó sugárzás nagy teljesítményű, és kicsi a szűrő áteresztési tényezője, akkor a szűrő nagyon felmelegedhet. Anyaguk általában különleges üveg, műanyag vagy kristály. Ezek lehetnek vékony rétegű ebonit-, csillám-, zselatin- és celluloidlemezekből.

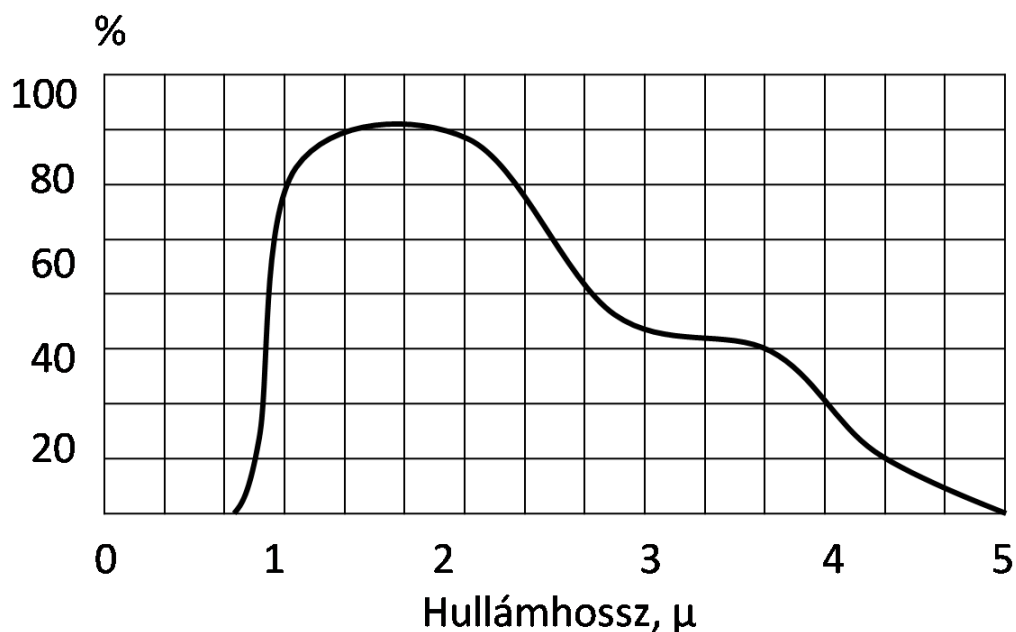
A zselatin színszűrő 0,5-0,1 mm vastagságú, festett zselatinhártya. A nedvesség és hőmérséklet elviselése miatt üveglapok közé teszik a zselatint. Hátrányuk a kis szilárdság és a nedvességtől időjárástól függő szűrőképesség.

Az üveg színszűrőket molekuláris vagy kolloid festékekkel színezett üvegből állítják elő. Jó a hőállóképességük, és színekpi jelleggörbéik nem változóknak, és tömegesen állíthatók elő.

A mangándioxidot tartalmazó üveg színekpi áteresztési görbéje az 10. ábrán látható. Ez a fajta üveg nem bocsátja át a látható sugarakat, de 0,9 és 2,8 mikron között az áteresztési tényezője több mint 60%, valamint áteresztési küszöbe 4,6 mikron körül van. Tehát a közeli infravörös sugárzás számára jó szűrőként alkalmazható.

A műanyag színszűrők előállításához szerves színező anyag felhasználására van szükség. Ezek festését vagy színező anyag elgőzölögtetésével, vagy anyagában való színezéssel oldják meg. Az ilyen szűrőkben a festékhordó réteg a cellofán-, nylon-, vagy polivinilvegyület.

A por-alapú színszűrők működésének alapja, hogy az átlátszó réteg felületére apró anyagrészecskéket visznek fel, amelyek csak a náluk meghatározott mértékben nagyobb hullámhosszú sugárzásokat engedik át, a többit pedig szétszórják.



10. ábra A mangándioxidot tartalmazó üveg színeképi áteresztési görbéje [4]

Ezek anyagai általában szelén, tellúr, cinkoxid vagy magnéziumoxid.

Az érdes felületű színszűrők hasonlóak a por-alapúakhoz a működésüket tekintve. Az érdesített felületű színszűrők által átengedett sugárzási színekép jelleggörbéje, az érdesítettség létrehozó részecskék méretének és egyenletességének függvénye. Akkor kapható meredek áteresztési görbe, ha a részecskék mérete egyöntetű.

A lencsés optikai rendszer egy vagy több lencsét tartalmaz. Az optikai anyagból készült optikai elemet, amelynek minimum az egyik felülete gömbkiképzésű, lencsének nevezzük. A másik felülete lehet gömbkiképzésű vagy síkfelület. A lencsét a görbületi középpontok helyzete, a határfelületeik görbületi sugarai valamint lencsét alkotó optikai anyag törésmutatója alapján jellemezhetjük. Az optikai sugárzás, ahogy a látható fény, egyenes vonalban terjed, egynemű közegben. Két különböző közeg határánál az infravörös sugárzás is részben megtörik, részben pedig visszaverődik. A látható fényhez hasonló tulajdonságai lehetővé teszik hasonló elemek például, lencsék prizma használatát. Az optikai elemeken áthaladó sugárzás energiája csökken mivel a sugárzás egy részét elnyeli az elem, valamint mivel nem teljesen egynemű, ezért a sugárzások bizonyos részét szétszórja, és a különböző törésmu-

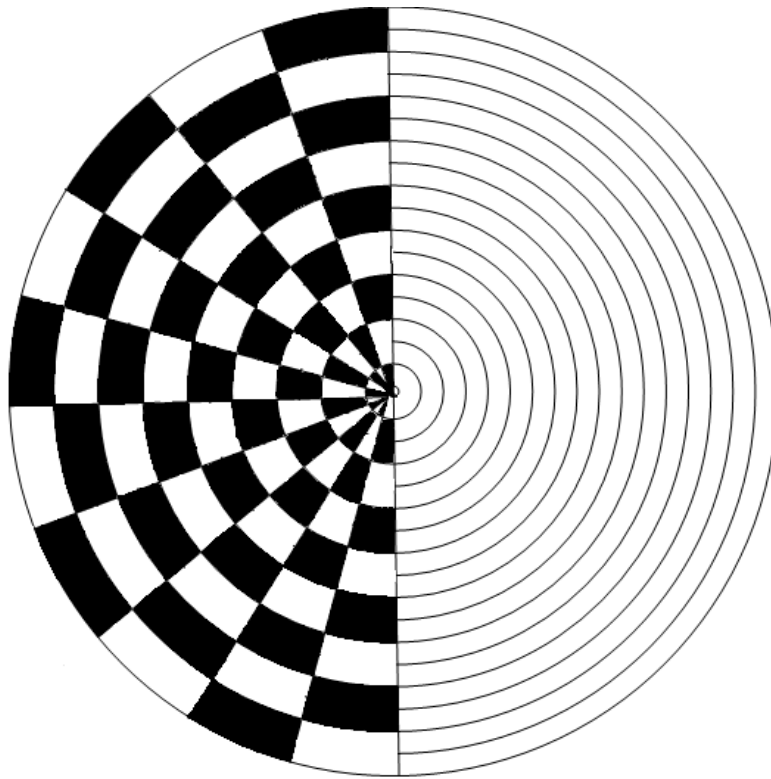
tatójú felületek határán a sugárzás egy részét visszaveri. Ez a veszteség csökkenthető, ha az optikai elem felületét visszaverődés gátló felülettel látják el.

A tükrös optikai rendszerekben parabolikus vagy gömb visszaverő felületű homorú tükröket alkalmaznak. Anyaguk lehet fém vagy üveg. Az üvegből készült tükrök esetén a visszaverő felületet az üveg hátsó részére viszik fel, de az is előfordulhat, hogy az üveglap homlokfelületére kerül ez a réteg. Problémát okozhat a homlokfelületi bevonásnál, hogy a visszaverő réteg sérülésmentes maradjon a használat közben. Előnye viszont, hogy a sugárzásnak nem kell kétszer áthaladnia a veszteséget jelentő üvegen, mivel az csak formát és szilárdságot adó alapréteggént van jelen. Az üveg hátsó felületére felvitt visszaverő réteget általában védőbevonattal látják el, amire többnyire galvanikus úton felvitt vörösreztet használnak melyet lakkal és festékkel vonnak be. A visszaverő réteg anyaga általában 1 mikron vastagságú ezüst vagy alumínium réteg. Ezt gőzölögtetéssel viszik fel az üveg felületére. Az ezüst visszaverő képessége az egész infravörös tartományban 98%-ot is elérhet, míg az alumíniumé a 95%-ot.

A fémből készült tükrök esetében tömör anyagból vagy fémlemezről kialakított alapra viszik fel a visszaverő réteget. Ezek a tömör fémtükrök szilárdak, de emellett nagy tömegűek. Ezek a tükrök kevésbé tartósak csak kisebb mértékben alkalmazhatók. A visszaverő képesség, ahogy az üvegből készült tükröknél elsősorban a felületi érdességtől függ. Ezért felületüket védeni kell szennyeződéstől, karcolástól, nedvességtől.

A tükrök és lencsék által fókuszált infravörös sugárzás, szűrés után egy fotoellenállásra kerül. A fotóellenállásról a vezérlőjel erősítés után kerül a kormánygép megfelelő csatornájába, ahol a vízszintes és függőleges kormánylapok kitérítését végzi. Ahhoz azonban, hogy a fotóellenállás jele vezérlőjellé alakulhasson, és alkalmas legyen a cél rakétához viszonyított helyzetének kifejezésére, szükség van a céljel fázis és amplitúdó szerinti modulálására. Ezt egy úgynevezett modulálótárcsa segítségével érik el, ami különböző mértékben ereszt át a célról érkező és az optika által fókuszált infravörös sugárzásokat. [4]

4.6 Az amplitúdó-fázis modulációs optikai célkoordinátor

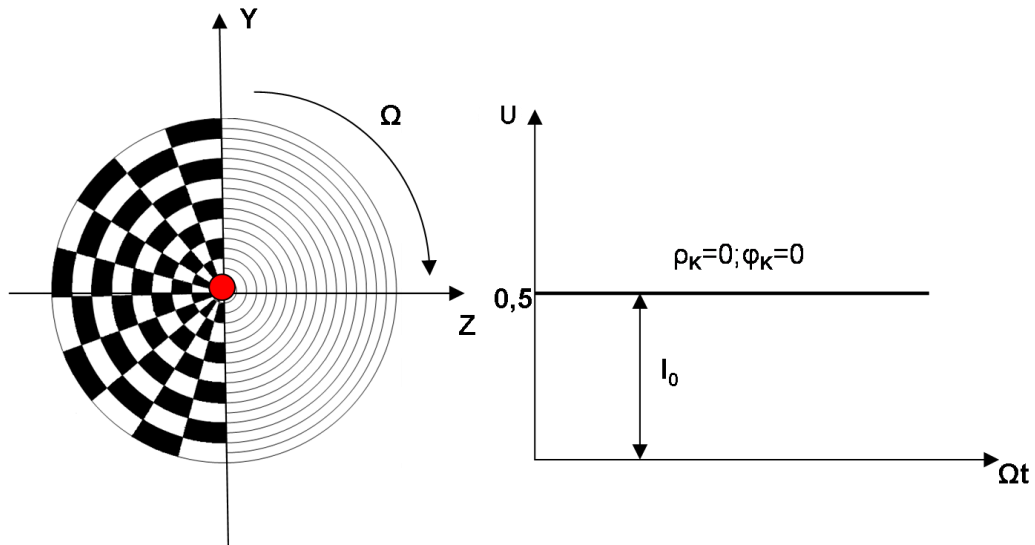


11. ábra Moduláló tárcsa [3]

Az optikai rendszer egy kis pontba fókuszálja az infravörös sugárzásokat. Ennek az optikai rendszernek a fókusz síkjában található a moduláló tárcsa (11. ábra). A moduláló tárcsát festéssel félig áteresztő felületté alakították. Amelynek fekete körcikkei a sugárzásból semmit, az átlátszóak pedig a teljes sugárzást átengedik. Ezáltal a detektor váltóáramú jeleket állít elő. A moduláló tárcsa mindkét felén biztosítva van az, hogy 50%-ban átengedje a jelet. Az egyik felén a koncentrikus csíkozással, a másik felén pedig a sugár irányban sakktáblaszerűen kialakított, meghatározott számú körcikkekkel. A szektorok rovátkáinak területei azonosak. Az optikai rendszer valamint a moduláló tárcsa adott szögsebességgel forog. Amíg a rakéta önirányító fejének tengelye nem esik egybe a cél irányzási vonalával, a modulálótárcsa úgy viselkedik, mint egy megszakító, és a célról érkező infravörös sugarakat a körfrekvencia által meghatározott impulzusokká alakítja. Az optikai rendszeren és a modulálótárcsán keresztül a kialakított váltakozó értékű modulált jel a fotoellenállásra kerül.

A fotóellenállásról levett vezérlőjel (feszültségjel) így szintén egy modulált vezérlőjel lesz, mivel a fotoellenállás a rá érkező infravörös sugárzás hatására, változtatja az ellenállásának értékét. [3, 7]

Ha a cél a rakéta hossz tengelyének vonalában van és a cél jele C_1 a modulálótárcsa középpontjába esik, a fotóellenállásról levett feszültségjel U_0 állandó értékű lesz (12. ábra).

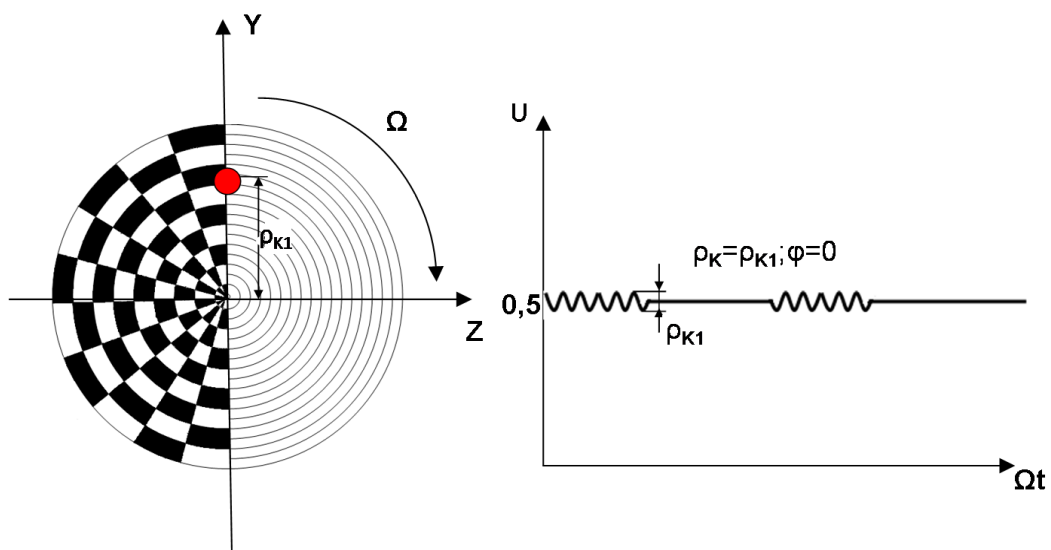


12. ábra A fotóellenállás feszültségjele a cél helyzete alapján [3]

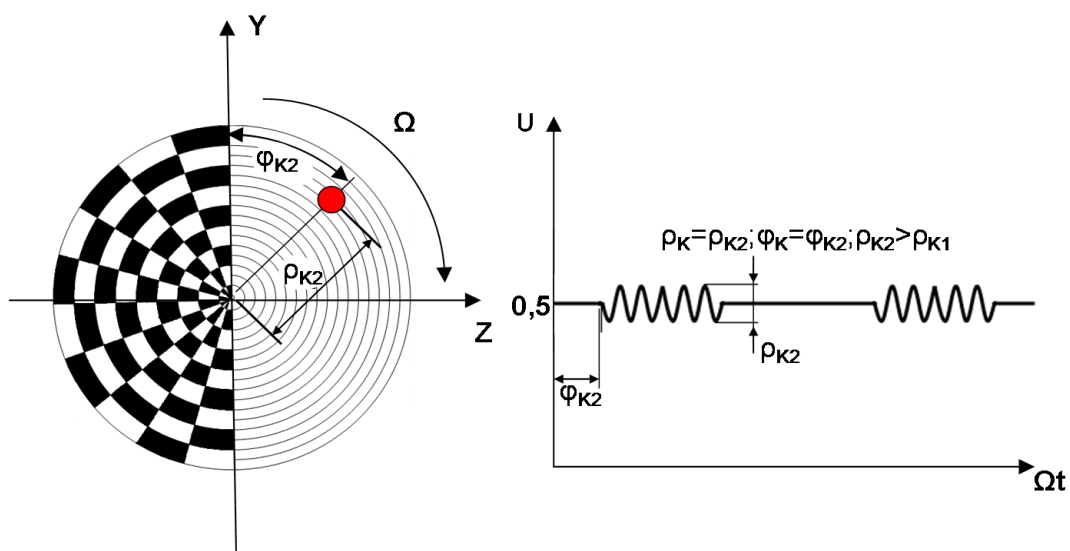
Ez a jel állandó 50%-os értékű. Ha a cél nem a rakéta hossz tengelyének irányába esik és a cél jele C_2 , akkor a kimeneten ρ_K amplitúdójú és φ_K fázisú ($\varphi_K=0$, tehát nincs fázisban eltérés) jelet kapunk. [3]

A 13. ábrán a céljel az Y tengelyen a középponttól való távolsága ρ_{K1} . A moduláló tárcsán egy periódus alatt kétfajta jel fog megjelenni. Az első fél periódusban egy amplitúdó modulált jel jelenik meg a sugárirányú színezés miatt, amely amplitúdó a ρ_{K1} távolsággal arányos. A második fél periódusban pedig az 50%-os koncentrikus színezés miatt egy 50%-os állandó értékű jel fog megjelenni.

A 14. ábra kimenőjele hasonló az előbbihez, de nagyobb amplitúdóval rendelkezik ($\rho_{K1} < \rho_{K2}$), valamint megjelenik φ_{K2} értékű fáziseltolódás, ami az Y ten-



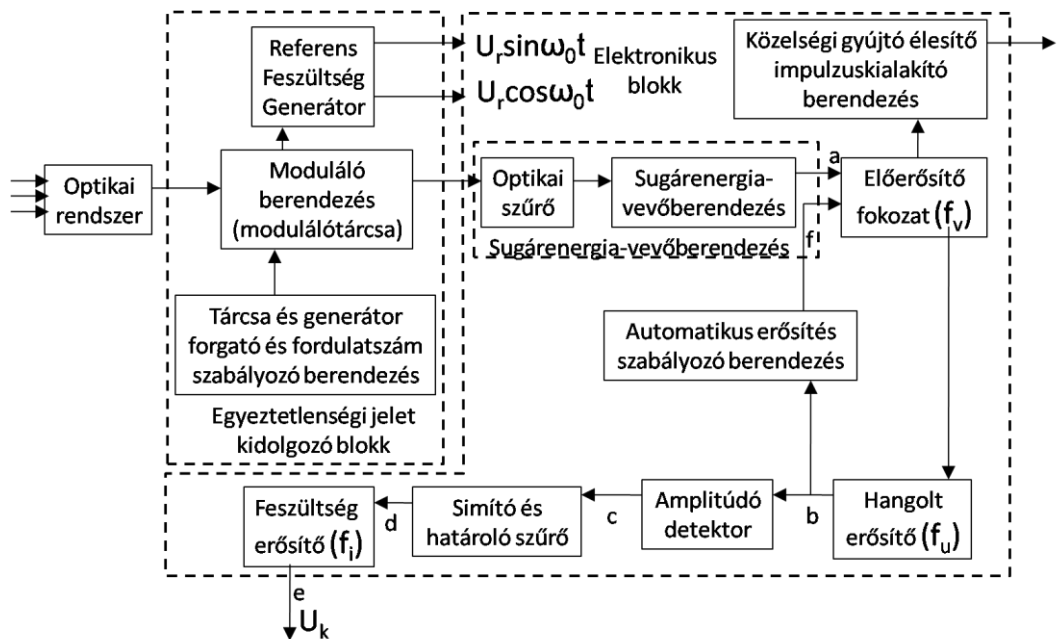
13. ábra A fotoellenállás feszültségjele a cél helyzete alapján [3]



14. ábra A fotoellenállás feszültségjele a cél helyzete alapján [3]

gelytől való eltéréssel arányos. Ebből következik, hogy a fotoellenálláson megjelenő jel amplitúdója az önirányítófej tengelye és a cél közötti távolsággal, míg a fázisa a célnak Y tengelytől való eltérésével lesz arányos. [3]

A moduláló tárcsa hátrányai: a ρ_K koordinátáknak megfelelő jel csak a tárcsa közepén lineáris, egyébként nem lineárisan változik, valamint a tárcsa közepén található egy jelentős érzéketlenségi zóna, ami rontja a moduláló tárcsa jelleggörbe linearitását.



15. ábra Amplitúdó-fázis modulációs optikai célkoordinátor blokkvázlata [8]

Az 15. ábrán látható az amplitúdó-fázis modulációs optikai célkoordinátor blokkvázlata. Az 16. ábrán pedig a 15. ábrán betűkkel jelzett pontokhoz tartozó jeldiagramok. Az első diagramon a célkép a fókusz síkban van és az elektronikus blokk bemenetére kerülő jel az ábrán látható módon alakul. A szinuszosan váltakozó jel amplitúdója az R_c koordináta információját hordozza. A feszültség jel vivőfrekvenciája:

$$f_v = n \cdot 2m \quad (5)$$

ahol n - a modulálótárcsa fordulatszáma másodpercenként;

m - a nem áteresztő szektorok száma a modulálótárcsán, $\omega_0 = 2\pi n$.

A φ_c koordináta értéke a φ_K kezdeti fázis értékével egyenlő: $\varphi_c = \varphi_K$. A ρ_K koordináta pedig a jel amplitúdójának a megfelelője. Az egyeztetetlenségi jelet kidolgozó blokk részei:

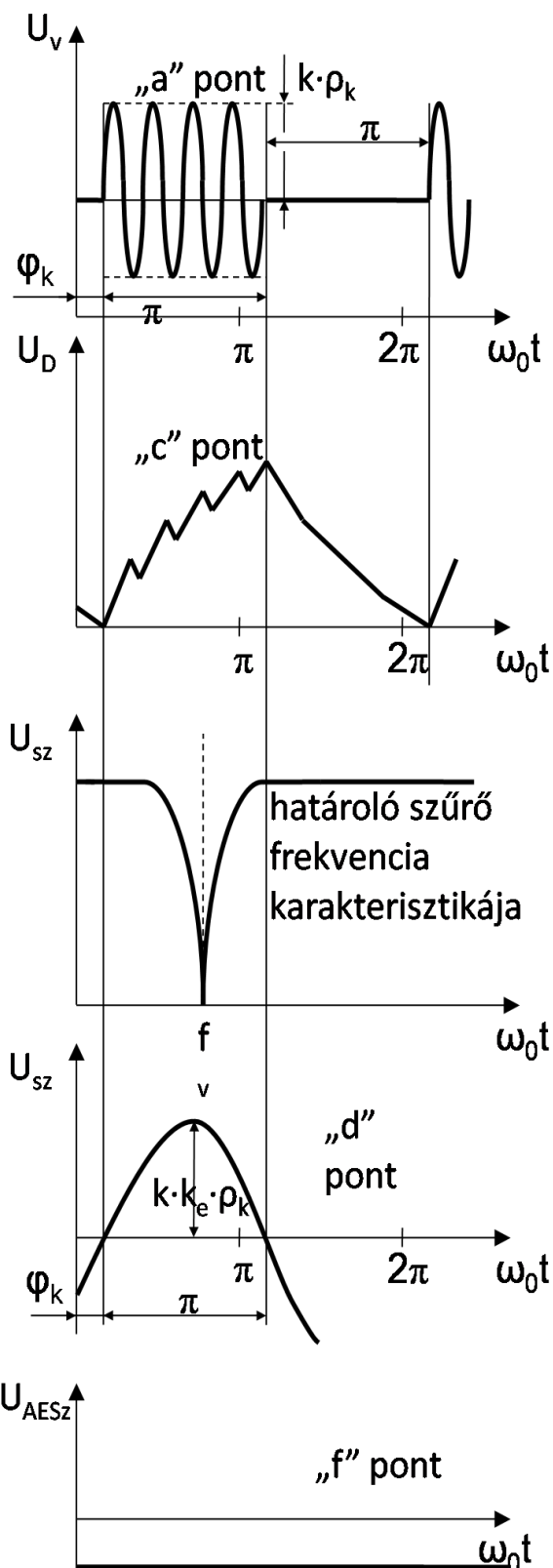
- moduláló tárcsa
- referens-feszültséggenerátor
- a tárcsa és a generátor forgását biztosító modul
- a tárcsa forgási sebességét stabilizáló és szabályozó modul

Az elektronikus blokk részei:

- az előerősítő, amely a vevő érzékelőihez közel helyezkedik el, mert így az erősítő bementén jelentkező mágneses és elektrosztatikus áthallás nagysága lecsökkenthető ($D_{\max}$ távolságnál a jel legkisebb amplitúdója $[(1,5 \dots 2,5) \cdot 10^{-6} \text{ V}]$;
- váltakozó feszültségű hangolt erősítő fokozat, amelynek erősítési tényezője néhány V-ra emeli a kimeneti jel értékét. Az f_v frekvencián maximális az erősítés, elnyomva a többi frekvencián keletkező zajokat;
- amplitúdó detektor, amely a különálló szinuszos jelkötegeket, folyamatosan változó feszültséggé alakítja. Ennek az ismétlődési frekvenciája a modulálótárcsa fordulatszámaival egyenlő $[f_i = n \cdot \omega_0 / (2\pi)]$;
- simító és határoló szűrő, amely megszünteti a detektor kimeneti jelének lüktetését (16. ábra: „c” pont). A határoló szűrő minden kis- és nagyfrekvenciás jelet átereszt az f_v frekvencia kivételével. Karakterisztikája az 16. ábrán látható.

A simító szűrő megközelítőleg szinuszoszá teszi a jelet. A jel amplitúdója a ρ_k koordinátának, a jel kezdeti fázisa pedig φ_k koordinátának felel meg (16. ábra: „d” pont);

- feszültségerősítő $f_i = n$ frekvenciára hangolva, amely erősíti a koordinátor kimeneti jelét: $U_k = U_0 \cdot k_e \cdot \rho_k \cdot \cos(\omega_0 t - \varphi_k)$
- automatikus erősítés szabályozás áramköre: U_k feszültség amplitúdóját ρ_k koordináta, míg kezdeti fázisát φ_k koordináta határozza meg. Amikor a rakéta a cél közelébe ér, megnövekszik az optikai jel teljesítménye, azaz megnő az U_k jel amplitúdója. Annak kivitelezésére, hogy az amplitúdó csak a ρ_k függvényében változzon, meg kell valósítani $U_0 k_e$ viszonylagos állandóságát. Ezt az automatikus erősítés-szabályzó áramkörrel valósítják meg úgy, hogy folyamatosan változóvá teszik az erősítési fokozatok erősítési tényezőjét (k_e), a rakéta és a cél távolságának a függvényében. Ha viszont az automatikus erősítés szabályozó áramkör kis tehetetlenségű, akkor a jel állandó amplitúdójú marad ($U_0 \cdot k_e \cdot \rho_k$), amely nem alkalmazható a koordinátorban. A rakéta és a cél közötti távolság csökkenésekor a jel amplitúdója (U_0) lassan változik,



és ρ_k koordinátának megfelelő ε_c változása-kor pedig gyorsan változik. Ezért az automatikus erősítésszabályozó időállandóját úgy kell megválasztani, hogy az áramkör ne reagáljon $\varepsilon_c(\rho_k)$ gyors megváltozására, de változzon a k_e értéke a D csökkenésekor, azaz az U_0 lassú változásakor. Ekkor $U_0 k_e \approx \text{konstans}$ (16. ábra: U_{AESz} jele).

- közelségi gyújtó élesztő impulzusát kidolgozó berendezés, amely biztosítja a rakéta célravezetésének biztonságát (A rakéta indítási távolsága nem függhet a közelségi gyújtó konstrukciójától).

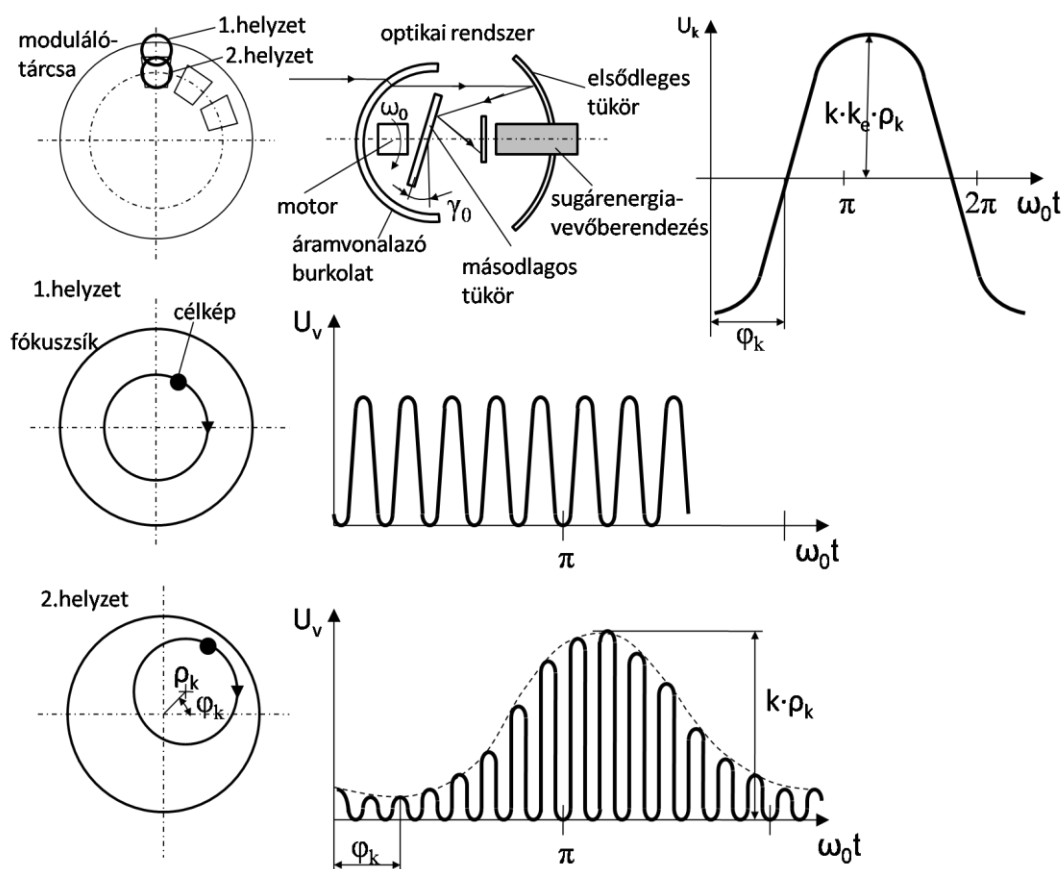
16. ábra Az elektronikus blokk pontjainak jelldiagramjai [7]

Az elektronikus blokkot még kiegészítheti egy olyan modul, amely feladata a cél megkülönböztetése az imitált céloktól, a háttér zavarás viszonyai között. A blokkvázlaton (15. ábra) a „b” pont jelldiagramja alakra megegyezik az „a” ponttal, de amplitúdója k_e -szer nagyobb, és emiatt a koordinátor kimeneti jele is megegyezik a „d” pont alakjával, de amplitúdója szintén k_e -szer nagyobb.

Következésképpen megállapítható, hogy az optikai célkoordinátor poláris koordinátarendszerben méri a célkép koordinátáit, az elektronikus blokk pedig váltakozó feszültségű jelet állít elő.

Az amplitúdó-fázis modulációs optikai célkoordinátorok egyeztetetlenségi jelet kidolgozó berendezésének egy másik kialakítása is ismert. Ekkor az optikai rendszer másodlagos tükrre a koordinátor x_K tengelyéhez viszonyítva γ_0 állandó szöggel el van térítve, és ω_0 állandó szögsebességgel forog. A modulálótárcsa nem mozog ebben az esetben, és a fókusz síkban található. Felületén megadott sugarú gyűrűn áteresztő és nem áteresztő gyűrűk követik egymást (17. ábra). Amikor a rakéta hossz tengelye a célra irányul, akkor a célkép egy koncentrikus körön fog keringeni. Ekkor a körvonal és a modulálótárcsa közepe egybeesik. Ebben az esetben a célkép az összes cellát egyenlő mértékben metszi és a vevőberendezés kimenetén egy állandó amplitúdójú, f_v frekvenciájú jel keletkezik, amely csaknem szinuszos váltakozású (17. ábra: 1. helyzet).

Ha nem esik egybe a célkoordinátor hossz tengelye és a cél, akkor a célkép excentrikus kört ír le, amely közepének koordinátái (ρ_K, φ_K) arányosak lesznek a cél koordinátaival. A célkép a modulálótárcsán különböző mértékben fogja leárnyékolni a különböző cellákat. Ez a leárnyékolás a forgás középpontjához viszonyított távolság függvénye. Így megkaphatjuk az amplitúdó modulált jelet, amelynek moduláló frekvenciája a másodlagos tükr forgási frekvenciájával lesz egyenlő (f_f). A kezdeti fázis egyenlő lesz φ_K koordinátával (a koordináta kezdetétől az amplitúdó minimális értékéig), a maximális amplitúdó értéke pedig arányos lesz ρ_K -val. Az elektronikus blokk része még az előerősítő és a hangolt erősítő, melyek f_v frekvenciára vannak hangolva, valamint az amplitúdó detektort, amelynek kimeneti jelének burkoló görbéje az 17. ábrán látható (U_k).



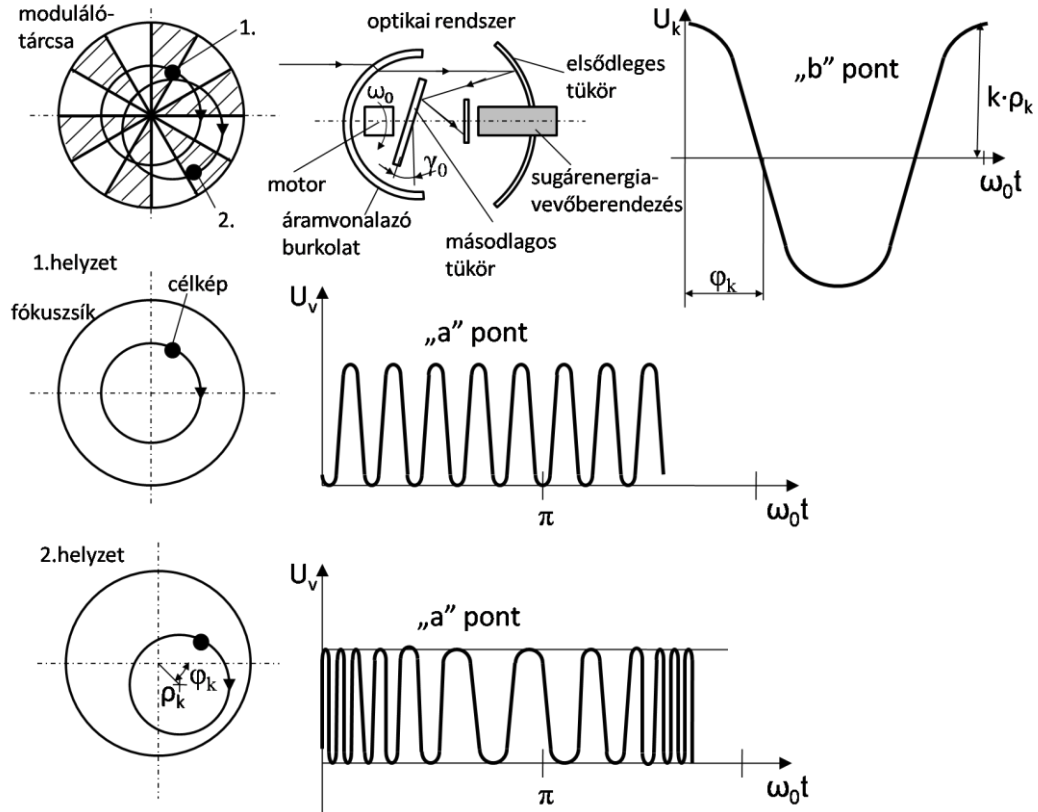
17. ábra Az elektronikus blokk és az optikai rendszer jelldiagramjai [7]

Emellett megtalálható minden elem, amit az előző konstrukciónál említettünk. Ennek a kialakításnak nagyon nagy előnye, hogy az „érzéketlenségi-zóna” nagymértékben lecsökkent, mivel a modulálótárcsa középső része nem vesz részt a sugárzás modulációjában. [7]

4.7 A frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátor

Ebben az esetben a modulálótárcsa szintén mozdulatlan, és szintén a fókusz-síkban helyezkedik el, de itt a tárcsa teljes felülete áteresztő és nem áteresztő szektorokra van felosztva. A modulálótárcsa mögött helyezkedik el a sugárenergia-vevő berendezés. A másodlagos tükör az előzőekben tárgyalt optikai rendszeréhez hasonlóan γ szöggel van megdőltve a modulálótárcsához képest, valamint ω_0 állandó körfrekvenciával forog. A célkép kör alakban mozog a modulálótárcsán. Ha a célkoordinátor hossz-tengelye metszi a célt, akkor a célkép által leírt kör és a modulálótárcsa

középpontja egybe esik. Ekkor a sugárenergia-vevő berendezés kimeneti jele állandó amplitúdóval rendelkezik, melynek szélessége és ismétlődési periódusa állandó. Az 18. ábra szemlélteti a fent említett tulajdonságokat.

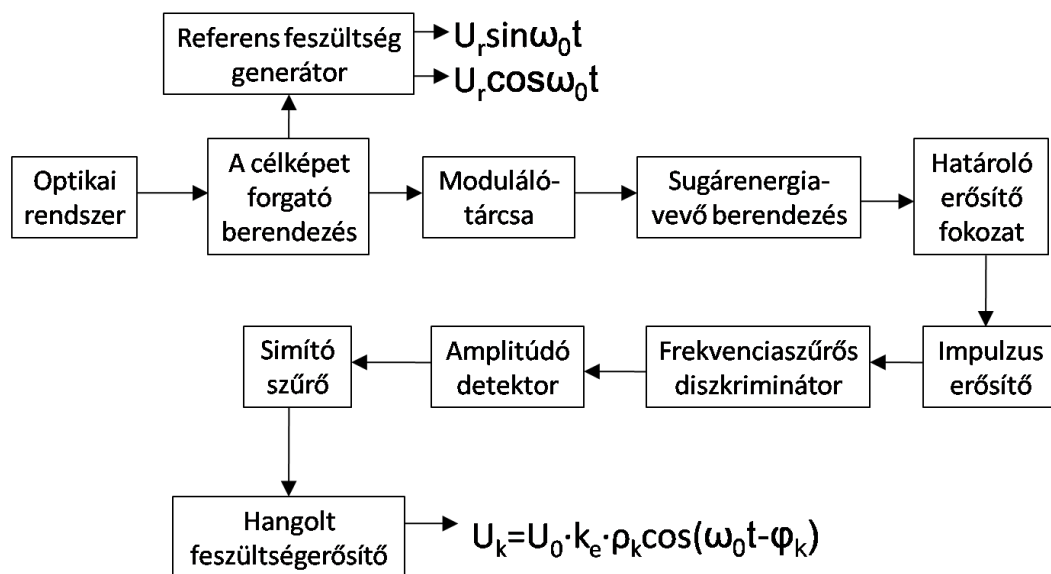


18. ábra Frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátor elektronikus blokkpontjainak jel diagramjai [7]

Ha a célkoordinátor tengelye és a cél nem esik egybe, akkor a kör középpontja, amin a célkép mozog, nem esik egybe a fókuszszík középpontjával. Ekkor a célkép által leírt kör középpontját ρ_k és φ_k koordináták jellemzik.

Az áteresztő sávokat különböző rádiuszokon metszi a célkép, és így különböző területekkel jelenik meg a különböző szektorokban. Az áteresztő szektorokban való megjelenés ismétlődési periódusa is változó. Ebből következően az impulzus amplitúdója csak kis mértékben változik, míg hossza annál inkább. Mivel a cél helyzetének meghatározásához nem használják az amplitúdó megváltozását, ezért olyan határoló-erősítő áramkört alkalmaznak, amely azonos nagyságú impulzusokat állít elő.

Ha a célkép távol esik a tárcsa közepétől az impulzusok ismétlődési periódusa és hossza nagyobb lesz, ha pedig közeledik a középpont felé, akkor csökken, ahogy a 18. ábra, 2. helyzete is mutatja. Ezen változások miatt megváltozik az impulzusok ismétlődési frekvenciája. Ha ezt az impulzussort erősítés után egy frekvencia diszkriminátorra kapcsolják, akkor a kimeneten megjelenő impulzus-sor különböző frekvenciájú, de azonos hosszúságú lesz (18. ábra: 2. helyzet). A diszkriminátor után egy amplitúdó-detektor van kapcsolva, melynek kimenetén a jel minimális amplitúdójú, ahol az impulzusok ritkán követik egymást, és maximális, ott ahol jelek gyakran következnek egymás után. A jel szinusz jellel közel megegyező, körfrekvenciája pedig megegyezik a másodlagos tükrör körfrekvenciájával (ω_0). A jel amplitúdója ρ_K értékkel arányos, kezdeti fázisa pedig φ_K koordinátával egyenlő (18. ábra „b” pont).



19. ábra A frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátor blokkvázlata [7]

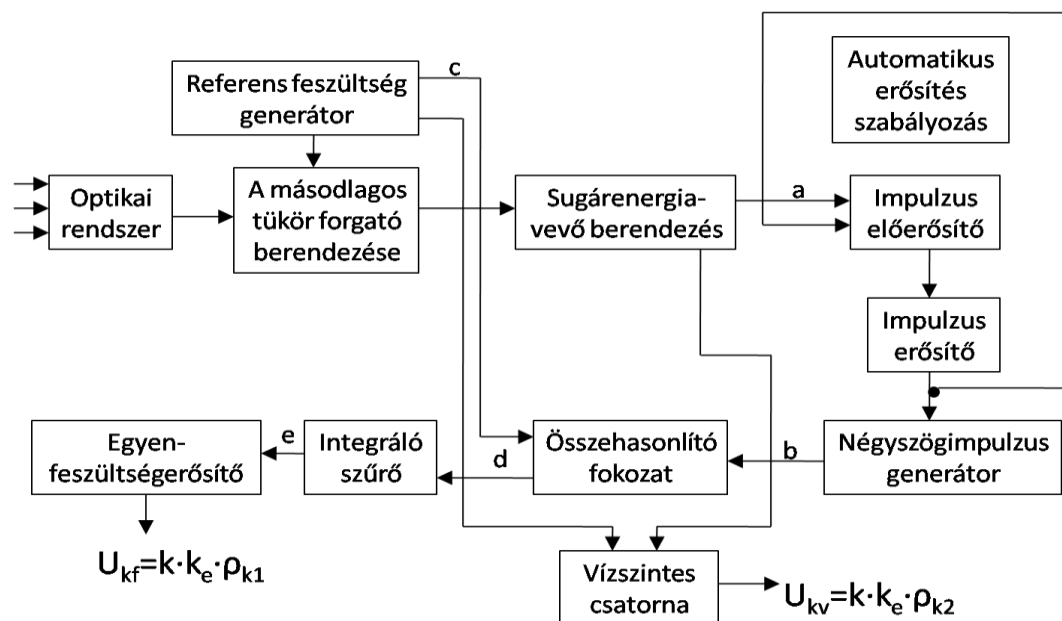
Az 19. ábrán egy olyan frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátor blokkvázlata látható, amely poláris koordinátarendszerben méri a célkép koordinátáit. Ennek előnye, hogy sokkal pontosabban képes megállapítani a koordinátákat közepes és kis távolságokon, mert a cél közelítése során a változó jelszint nincs hatással a koordinátor kimeneti jelére.

Tehát a frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátorokat kis és közepes távolságokon, míg az amplitúdó –fázis modulációs optikai célkoordiná-

torokat nagy távolságokon érdemes alkalmazni, a hasznos jel és a zajszint viszonyát figyelembe véve. A frekvencia-fázis modulációs optikai célkoordinátorok modulálótárcsái készülhetnek más kivitelben is, például, hogy az át-eresztő és nem át-eresztő szektorok különböző ismétlődési frekvenciával követik egymást, ami változhat körvonalanként vagy körgyűrűnként is. [7]

4.8 Az impulzus modulációs optikai célkoordinátor

Az ilyen elven működő optikai célkoordinátorokban forgó célképes optikai rendszer van. Nem található benne modulálótárcsa, hanem a fókusz síkban, sugárirányban elhelyezett vékony érzékelő elemek vannak, mint a sugár-energia-vevő berendezés részei. A vízszintes és függőleges koordináták mérőcsatornáiban egy vagy két érzékelő található. Amint áthalad a célkép az érzékelő elemeken, azok kimenetén megjelenő impulzus jelek időbeni helyzete fogja jellemezni a cél elhelyezkedését. A koordinátor mindkét csatornájában egyenáramú jel keletkezik, amelyek amplitúdója arányos a ρ_{K1} vagy ρ_{K2} koordinátával. A kimenőjel előjele pedig annak függvényében változik, hogy a $\vec{D}$ távolságvektor lefelé vagy felfelé, illetve a vízszintes csatornában balra vagy jobbra tér el a koordinátor x_K tengelyétől. Az 20. ábra szemlélteti a rendszer blokkvázlatát.

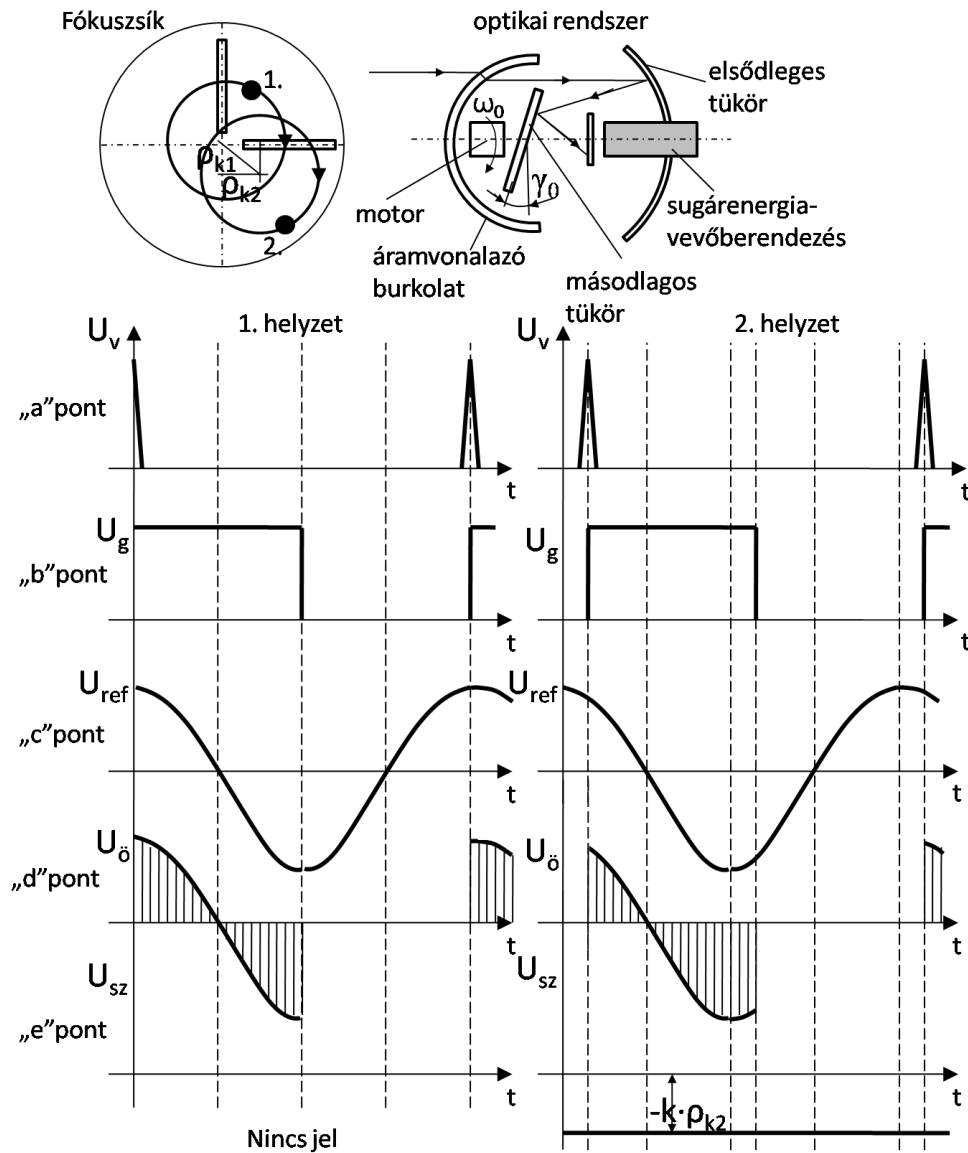


20. ábra Az impulzus modulációs optikai célkoordinátor blokkvázlata [7]

Az elektronikus blokk részei: impulzus-erősítő, négyszög-impulzus generátor, referens-feszültség generátor, egyeztető fokozat, integráló szűrős erősítő, kimenőjel erősítő.

Az 21. ábra az elektronikus blokk és az optikai rendszer különböző pontjainak jeldiagramjait szemlélteti. A másodlagos tükör egy fordulata alatt egy impulzus jelenik meg az érzékelő elem kimenetén (21. ábra: „a” pont). Ez erősítés után a négyszög-impulzus generátorra kerül. Ez a generátor egy bistabil multivibrátor, amely az érzékelő elem felerősített impulzusára indul. A kimenetén a másodlagos tükör félfordulatával azonos idejű, állandó hosszúságú jel keletkezik (21. ábra: „b” pont). Innen a jel az összehasonlító fokozat egyik bemenetére kerül, a másik bemenetre pedig a függőleges csatorna referens-feszültség generátorának jele kapcsolódik, ami $U_r = U_r \cos \omega_0$ (21. ábra: „c” pont). Az összehasonlító fokozat nyitott marad a négyszögimpulzus ideje alatt, és átereszt a referens-feszültséggenerátor jelének megfelelő részét (21. ábra: „c” pont). Ez lesz az integráló szűrő bemenőjele. Ez a szűrő az összehasonlító fokozat által lehatárolt jel területével arányos jelet hoz létre. Ha a cél a célkoordinátor hossztenge-lyén helyezkedik el, akkor koncentrikus lesz a célkép által leírt kör, melynek középpontja a fókuszsík középpontjával megegyező helyen lesz (21. ábra: 1. helyzet, x_K , y_K , z_K koordináta rendszer kezdete). Ekkor az összehasonlító fo-kozat kimenetének, a pozitív és negatív félperiódusainak területe megegyező lesz, ezért az integráló szűrő $U_{sz}=0$ jelet fog előállítani. Ha viszont a koordiná-tor x_K tengelye és a $\vec{D}$ távolságvektor nem esik egybe, akkor a célkép excent-rikus kört fog leírni, melynek középpontja ρ_{K1} , és ρ_{K2} koordinátákkal rendel-kezik (21. ábra: 2. helyzet). Ekkor az érzékelő elem kimenőjele valamelyik irányba eltolódik, az eltérés arányának megfelelően, így a négyszög-impulzus generátor is vagy előbb, vagy később fog indulni. Ezalatt a referens feszültség változatlan marad, ezért az összehasonlító fokozat jelének, pozitív és negatív félperiódusának területe nem fog megegyezni egymással, és az integráló szű-rő kimenetén feszültség jelenik meg, mely ρ_{K1} koordinátával arányos ampli-túddal fog rendelkezni. A negatív előjel azt mutatja, hogy a célkép által leírt kör középpontja lefelé mozdult el (21. ábra: „e” pont). Erősítés után ez a jel lesz a koordinátor függőleges csatornájának kimenőjele: $U_{kf} = k_e \cdot k \cdot \rho_{K1}$, a víz-

szintes csatorna kimenetén pedig megfelelő előjel a következő feszültség jelenik meg: $U_{kv} = k_e \cdot k \cdot \rho_{K2}$.



21. ábra Az elektronikus blokk és az optikai rendszer jeldiagramjai [7]

Mindkét csatorna felépítése megegyezik. Ez az optikai célkoordinátor derékszögű koordinátarendszerben mér, és $\vec{x}_K$ és $\vec{D}$ vektorok eltérése esetén két egyenfeszültségű jelet hoz létre. Ha csatornánként két érzékelő elem van, akkor a négyszög-impulzus generátor egy trigger lesz, melynek vezérlését az érzékelőelemek jelei végzik. [7]

4.9 A fotoellenállás

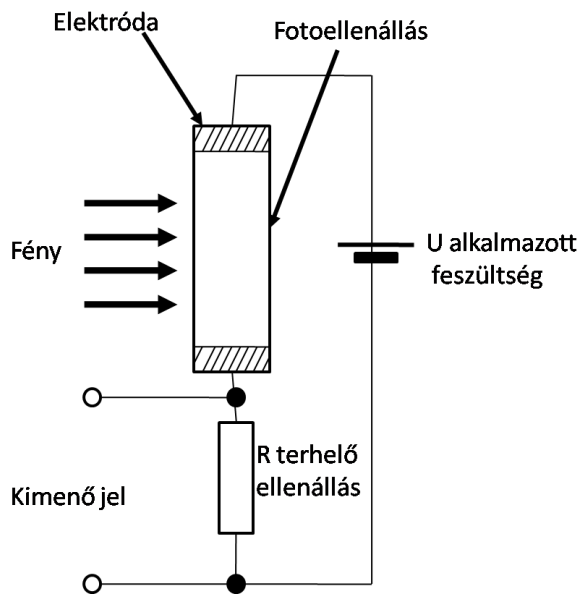
Az előző esetekben modulált jel tovább halad a detektorra. Az infravörös sugárzás detektorainak feladata, hogy a vevőberendezésbe jutó infravörös jelet érzékeljék, kimutassák. Ezek a detektorok a beeső sugárzást olyan energiafajtvá alakítják, amelyek láthatóvá tehetők és mérhetők, vagy egyes esetekben csak mérhetők. Az infravörös detektorral szemben támasztott követelmények:

- a tervezett hullámhossz tartományon belül nagy érzékenységgel rendelkezzen, kicsi legyen az időállandója, azaz a beeső sugárzás változásait gyorsan kövessék a detektor elektromos jellemzőinek megváltozásai;
- alacsony legyen a zajszintje, ami azt jelenti, hogy besugározatlan állapotban kis elektromos jelet bocsásson ki. Az passzív infravörös önirányítású rakétáknál leggyakrabban alkalmazott detektorok a fotoellenállások. [4]

Az önirányító fej áramkörében elhelyezkedő fotóellenállás képes az infravörös sugárzás hatására változtatni az ellenállásának értékét. Ezt a tulajdonságát használják fel az irányításban. 1873-ban W. Smith figyelte meg először a fotovezetés jelenségét. Tapasztalat, hogy a szelénrúd ellenállása megvilágítás hatására csökken. A fotovezetés elve az alapja a fotoellenállások működésének, ami a következőt takarja: a fotoellenállást megvilágítva, nemegyensúlyi (többslet) töltéshordozók alakulnak ki, amelyek megváltoztatják a kristály fajlagos ellenállását illetve vezetőképességét. Az n_0 a félvezető adott hőmérsékleten érvényes elektronsűrűsége és p_0 a lyuksűrűség. Δn és Δp a megvilágítás hatására keletkező többsletsűrűségek. A vezetőképesség a következő képlet alapján írható fel:

$$\sigma = q[\mu_n(n_0 + \Delta n) + \mu_p(p_0 + \Delta p)] = q(\mu_n n_0 + \mu_p p_0) + q(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p) = \sigma_0 + \Delta \sigma \quad (6)$$

ahol σ_0 a megvilágítás nélküli vezetőképesség, a $\Delta \sigma$ pedig a megvilágítás hatására létrejövő vezetőképesség növekmény. Ennek értéke arányos a mintát érő sugárteljesítménnyel, ennek az arányosságnak az értéke a félvezetőanyag és a megvilágító fény kölcsönhatásától függ. Az 22. ábra a fotoellenállás működését szemlélteti.



22. ábra A fotoellenállás működése [5]

A fotoellenállásoknál a félvezető két szemben lévő oldalát ohmos kontaktussal látják el, majd áramvezetésre alkalmas huzalokat csatlakoztatnak a kontaktusokhoz. A két kontaktus között lévő kristálytartományra érkezik a megvilágítás, vagy némely esetekben a minta felületén az egyik elektródát képezik ki átlátszóvá és ezen át lép be a fény a kristályba, míg a hátsó elektróda a hordozólemezhez rögzíti a kristályt. Az ábrán látható minta változó ellenállásként van jelen az áramkörben. Ha a fotoellenállás kivezetéseire egyenáramot kapcsolnak - amit egy áramgenerátor szolgáltat - a körben állandó értékű áram folyik, és a megvilágítás arányában változik a rajta eső feszültség. Ha a mintára feszültséggenerátort kötnek, akkor a feszültség állandó értékű lesz és megvilágítás hatására létrejövő ellenállás változás a körben folyó áram értékét fogja modulálni. Ez esetben a következő képlet írható fel:

$$I = G_0 U + \Delta G U = I_0 + \Delta I \quad (7)$$

ahol: G_0 – a vezetés értéke megvilágítás nélkül;

ΔG – vezetésnövekmény a megvilágítás hatására;

I_0 – a sötétáram;

ΔI – a fényelektromos áram.

A vezetés mértéke megadható a minta fajlagos vezetőképességével és méretével is, a következő összefüggés alapján:

$$G_o = \sigma \frac{ad}{l} \quad (8)$$

ahol: d – a minta vastagsága

a – a minta szélessége

l – a minta hosszúsága (téglatest esetében).

A világítás okozta vezetésnövekmény:

$$\Delta G = \Delta \sigma \frac{ad}{l} \quad (9)$$

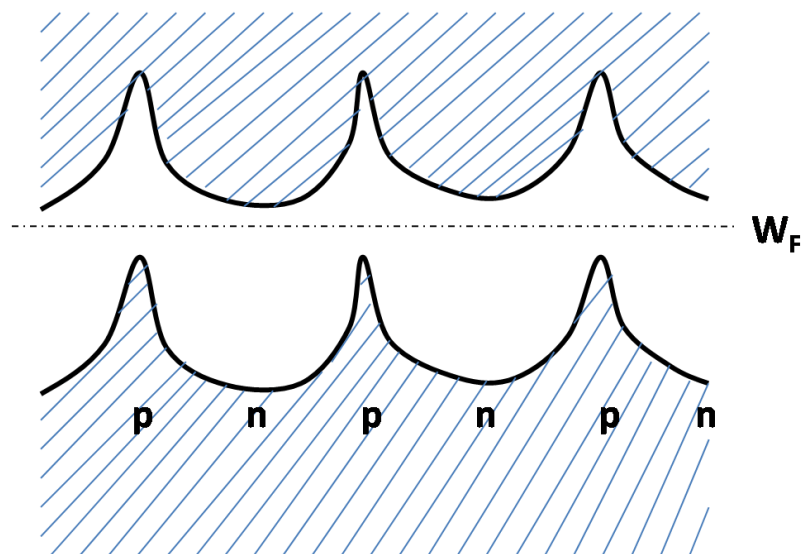
A megvilágított fotoellenállás értékét, illetve a sötétben mért értéket a következő hányados jellemzi:

$$\frac{\Delta G}{G_0} \quad (10)$$

Ezt célszerű minél nagyobbra kialakítani. A vezetésnövekmény, azaz ΔG abban az esetben lesz nagy, ha a mintában lévő töltéshordozók gerjesztésének a nagysága mindenhol azonos mértékű lesz, a beeső fény hatására. Ez abban az esetben valósul meg, ha $d \ll 1/\alpha$. Az α abszorpciós tényező a hullámhossz függvénye, értéke széles határok között mozoghat. Emiatt az előbb említett feltétel általában nem megvalósítható a teljes érzékelési tartományban. Kis behatolási mélységű fotonokkal történő gerjesztés esetén, csak a minta felületi rétegében jönnek létre töltéshordozó párok. Ezek közül csak azok jutnak el a hátsó elektródára, amelyek nagyobb diffúziós úthosszal rendelkeznek, a minta vastagságánál. Ebből következik, hogy a diffúziós úthossz, és a vele arányos töltéshordozó-élettartam, befolyásolja a vezetés modulációt. A $\frac{\Delta G}{G_0}$ értékének növelése úgy is megoldható, hogyha csökken a nevező, azaz nő a minta sötétellenállása. Ez az illesztés szempontjából is fontos, mivel ha nagyobb a minta ellenállása, az kedvező a fotoellenálláshoz kapcsolt erősítő számára.

A fotoellenállások készítésére félvezető egykristályokat, illetve polikristályos szerkezeteket is alkalmaznak. Ez utóbbi előnye a kis rétegvas-

tagság kialakíthatósága, valamint a nagy érzékelő-felületre vonatkozó követelmények elérhetősége. Először égetett mikrokristályos szerkezeteket alkalmaztak, amelynél a fotovezető kristályport behelyezik két vezetőréteg közé, amelynek az egyike fényáteresztő. Ezeket a rétegeket összesajtolás után égetik. Újabban már más megoldásokkal is létre lehet hozni polikristályos szerkezeteket, mint például a hidrotermikus szintézis. Ennek az előállítása kedvezőbb körülmények között is lehetséges, és kisebb, de egyenletesebb szemcseréteg alakul ki. Szinterezési eljárásokat akkor alkalmaznak, ha nagyobb felületű rétegeket akarnak létrehozni. Ennél a módszernél könnyebben lehet bevinni szennyező anyagokat, így könnyebben is tapasztható a hordozófelületre. Hátránya viszont, hogy romlik az előállítás során a reprodukálhatóság, valamint csak kadmium vegyületek esetében alkalmazható. A napjainkban leginkább elterjedt fotoellenállások vagy vákuumpárolgatás, vagy kémiai úton felvitt vékonyréteg-cellák módszerével készülnek. Ezek többnyire rendelkeznek a felsorolt előnyökkel, és többnyire sikerült kiküszöbölni náluk a felsorolt hátrányokat is. A polikristályos szerkezet viselkedése eltérő az egykristályos szerkezetű fotovezetőkhöz képest. A mikrokristályos mintánál a feszültség-áram karakterisztika az alacsony feszültségű tartományokban egy bizonyos küszöbszintig a lineáristól eltérő. Az eltérés mértéke csökkenthető a szinterezéssel vagy párolgatással kialakított rétegeknél. Számos kísérlet, ami a fotovezetést vizsgálja, arra utal, hogy a kristálypor szemcséi fotoérzékenység szempontjából kevésbé hatásosak, de a szemcsék érintkezésénél lévő átmeneti tartomány nagy fotoérzékenységű. Ha megvilágítják a fotoellenállást a részecskék közötti ellenállás lecsökken, és nagyobb áram folyhat keresztül rajta. A megfelelő áramerősség eléréséhez, egy bizonyos térerősségi küszöbszintet el kell érnie a sugárzásnak, amely csökkenti a részecskék között fellépő potenciálküszöböt. Az 23. ábrán az ólomszulfid típusú polikristályos fotoellenállás-réteg feltételezett energiasáv-szerkezete látható, amelynél hasonló jelenség tapasztalható.



23. ábra Az ólomszulfid típusú polikristályos fotoellenállás-réteg feltételezett energiasáv-szerkezete [5]

Ez egy PbS típusú réteg. A kiinduló anyagra ami „n” típusú, vékony oxidréteg rakódik, ami „p” típusú, és behatol a szemcsék közé, majd végtelen sok, periodikusan változó p-n átmenet keletkezik. A W_F a Fermi-szintnek felel meg. A kristályhatárok mikrotranzisztorokként viselkednek, és ha megvilágítás éri az átmenetek megnyitnak.

Néhány szakember szerint csak nagyobb szemcsék esetében lehetséges a p-n átmenet. A polikristályos réteg szemcseméretei jelentősen befolyásolják a minta spektrális menetét. Kísérletek bizonyítják, hogy ha kisebb szemcsemérettel, csökken a hosszúhullámú határ is. A nagyszemcsés szerkezetek azt a spektrális menetet adták vissza, amit az egykristályok. A felületi tulajdonságoknak a polikristályok esetében sokkal nagyobb szerepe van, mint egykristályok esetében. Ebből következik, hogy a kristályszemcsék kontaktusa erősen befolyásolja a polikristályos réteg makroszkópikus elektromos jellemzőit. Ezzel magyarázható, hogy az egykristályos réteg sokkal jobban reprodukálható, és stabilabb fotoellenállás, mint a polikristályos. [5]

Infravörös érzékelésre a leggyakrabban ólomszulfid, ólomszelenid, indiumantimonid, germánium és indiumarzenid, valamint Ge:Hg és Ge:Cu fotoellenállásokat használnak. Az ólomszulfid cella 3 mikronig érzékeny az infravörös sugárzásra. Előny, hogy hűtés nélkül alkalmazható, és ezért a

+350°C feletti céltárgyak esetében ez a legmegfelelőbb detektortípus. Ennél kisebb időállandójú detektorok készíthetők ólomszelenidből, germániumból, valamint indiumantimonidból. Ezek már 3-5 mikronos hullámsávban a legérzékenyebbek, tehát „észreveszik” az alacsonyabb hőmérsékletű céltárgyakat is. De ezeket már hűteni kell az optimális hatásfok eléréséhez, ami nehezíti a felhasználásukat. [4, 5]

Az infravörös detektorokat a kereső érzékenységének növelése miatt a lehető legkisebbre kell tervezni, mivel minél nagyobb a detektor és a gyűjtőkör viszonyszáma annál kisebb sugárzási energiasűrűségre van szükség a követés végrehajtásához, tehát nagyobb távolságról is érzékelní fogja a kereső a céltárgyat. A ma használatos infravörös keresők már a 10^{-9} W/cm²-nél kisebb sugárzási energia esetén is célba találhatnak. Az, hogy ilyen nagy érzékenységgű, akár nehézségeket is okozhat a háttér kisugárzásából adódóan. Mivel a keresők a felhőkről, domborzatról és vízfelszínről visszavert sugárzást is érzékelik. Ennek a kiküszöbölésére alkalmazzák a korábban tárgyalt optikai szűrőket. Így a rakéta a háttérzaj ellenére is megfelelően működik. [4]

A rakéta önirányító rendszerébe épített céljelet vezérlőjellé alakító berendezés működésének lényege, hogy a célpont helyzete alapján olyan vezérlőjelet dolgozzon ki, és továbbítsa a kormánygépbe, amelynek hatására a rakéta hossz tengelye a cél irányába fordul, és ezáltal a rakéta a cél felé fog mozogni. Ebből következik, hogy a rakéta önirányító fejének, még a rakéta indítása előtt látnia kell a célt, és be kell fognia azt. Ez az egyik feltétele a passzív infravörös önirányítású rakéták indításának. Az indítás távolságát több tényező is befolyásolhatja. Ezt függ a céljel erősségétől, a sugárzás terjedési közegének csillapító hatásától, valamint a fotóellenállás értékétől. Ezen tényezők közül a céljel erőssége adott. Legfeljebb úgy tud változtatni rajta a támadó, hogy milyen irányból közelíti meg a célrepülőgépet, mivel a hátulról a hajtóműből érkező forró gázok infravörös sugárzásának értéke nagyobb, mint az előlről érkezőké. Az infravörös sugárzás terjedését befolyásolja a felhő vagy köd jelenléte. A nagyobb érzékenység elérésére a fotóellenállás értékén kell változtatni, amit általában mélyhűtéssel, folyékony nitrogén befúvatásával oldanak meg. A céltárgy érzékelését zavaró háttérsugárzás leválasztását hul-

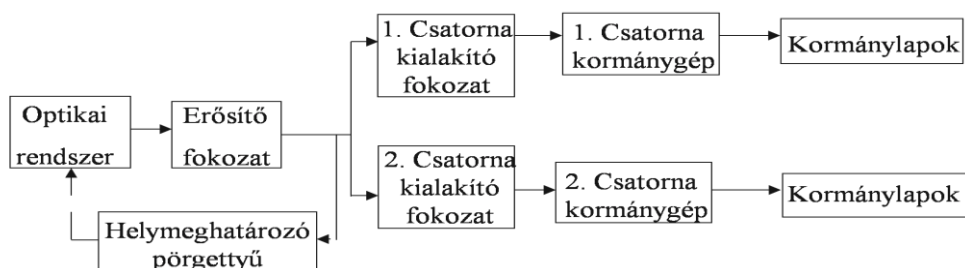
lámhosszfüggő szűréssel vagy térbeli szűréssel is meg lehet valósítani. A hullámhosszfüggő szűrés azt jelenti, hogy a céltárgynak megfelelő hullámsávban áteresztő szűrőt vagy optikai anyagot alkalmaznak, és emellett erre a hullámsávra érzékeny detektorokat használnak. Így a céltárgyra érzékenyebb lesz az önirányító fej a háttérhez képest.[3, 4]

A térbeli szűrés jelentése pedig, hogy a tárgylencserendszer képsíkjaiba megfelelő szerkezetű rácsot helyezünk. Ez a rács lehet mozdulatlan vagy mozgó. A kívánt szűrés a céltárgy képének modulációjának, szaggatásának köszönhető.[4]

4.10 A céljel átalakítása

A fotoellenállásról érkező hibajel, erősítés után lesz a vezérlőjel a kormányberendezés számára. Az erősítő kimenő fokozatának egy helymeghatározó pörgettyű helyesbítő tekercse biztosítja a terhelést. A tekercsen átfolyó változó áram hatására olyan forgatónyomaték keletkezik, melynek hatására a pörgettyű és vele együtt az önirányítófej optikai rendszere precessziós mozgást végez. Ez olyan irányú, hogy csökkenti a forgástengely és a cél megírási vonala közötti eltérést.

Az erősítő után a kialakító fokozatok vannak beépítve, melyek egyenirányítják a váltakozó feszültséget, valamint két egyenáramú összetevőre bontják, a rakéta 1. és 2. csatornájának kormány síkjai számára. Ezek merőlegesek egymásra, és a kormánylapok meghajtását végzik, a vezérlőáramnak megfelelően. Ekkor a megfelelő aerodinamikai erők a cél felé fordítják a rakétát. A 24. ábra a vezérlőjelek kialakítását szemlélteti. [3]



24. ábra Vezérlőjel kialakítás [3]

4.11 Az infravörös technika további alkalmazási területei

Nem csak légi harc rakétáknál alkalmazható az infravörös technika, hanem szárazföldi és tengeri harcok ellen is. Például az ellenséges vadászbombázók elleni csapatlégvédelemben, elsősorban alacsonyan repülő gépek ellen. A földi rádiólokátoros tűzvezetés a földreflexió miatt, nem olyan hatékony, mint egy infravörös kereső egység, valamint a rádiólokátoros rávezető rendszer méretei, és tömege miatt nem alkalmazható első vonalban harcoló egységeknél. Vannak infravörös rávezető egységgel ellátott vállról indítható rakéták, például a Red Eye, Stinger, Igla, amelyeknek hatótávolsága 3-5 km. Feladata a géppuskatűzzel, fedélzeti rakétákkal, bombázással támadó ellenséges repülőgépek megsemmisítése. Emellett alkalmazható harckocsik ellen is, azok felhevült részegységeit támadva. [4]

4.12 A passzív infravörös berendezések elleni védelem

Az egyik megoldás a haditechnikai eszköz infravörös sugárzásának csökkentése. Ez azonban nehézséget okoz a jó üzemi feltételek biztosítása mellett, például a motorok hűtésénél, manőverező képességnél, illetve a tömegcsökkentésnél.

Másik lehetőség a megtévesztő sugárforrások alkalmazása. Így a repülőgépek ún. infracsapdákat alkalmaznak, amelyek félrevezethetik a tűzvezető rendszert. [4]

5. KÜLÖNBSÉ GKÉPZŐ OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR

A különbségképző optikai célkoordinátort félaktív-lézeres önirányításként is lehet említeni. A működésének bemutatása előtt, említenünk kell a lézerek felépítését és működését.

5.1 A lézer

Az első optikai kvantumgenerátor a lézer volt. Az első lépéseket a fénysugarak összegyűjtésére Buffon francia fizikus tette a XVIII. században, amikor is létrehozott egy olyan tükörrendszert, amivel fókuszálni tudta a napsugarakat és különböző tárgyakat tudott felgyújtani. Erre több tudós is azzal az ötlettel állt elő, hogy ezt lehetne alkalmazni katonai területen is, az ellenséges eszközök felgyújtására, vagy megolvasztására. A két világháborúban is sokat foglalkoztak a kérdéssel, hogy létrehozzanak a fény összegyűjtése elvén működő „halálfegyvert”. Ezekben az volt a közös, hogy tükör segítségével akarták fókuszálni a nagy teljesítményű fénysugár forrásait, megfelelő távolságba. Ennél a módszernél csak reprodukálni lehetett az energiasűrűséget – így a hőszugárzást is - növelni nem, ezért nem kerültek magvalósításra. Ez csak a lézerek¹ megjelenésével vált lehetővé. A lézersugárzás a mikrohullámú technika területén használt mézer²² továbbfejlesztett változata a rövidebb hullámhosszú tartományokban. A gerjesztett emisszió alapjai a XX. század elejéről, Einstein kutatásaiból származnak. A mézer fizikai alapjainak kidolgozása Schawlow, Townes, illetve Prohorov és Bászov nevéhez köthetőek. A mézer sikereinek következtében felmerült a kérdés, hogy lehet-e a stimulált vagy gerjesztett emisszió elvét a fényhullámoknál is alkalmazni. 1960-ban sor került az első lézereffektus észlelésére Maiman által. Még ez év őszén már működött az első hélium-neon gázlézer Javan-nak köszönhetően a Bell Telephone Laboratories-ban. 1962-re már működtek a félvezető lézerek. A lézerek fejlődése két fontos megoldást eredményezett: olyan sugárforrások létrehozása, amelyek energiája jóval nagyobb a kvarcgenerátorokénál, illetve rendkívül gyenge elektromágneses rezgések erősítésére alkalmas berendezés

¹ laser: light amplification by simulated emission of radiation - fényerősítés gerjesztett emisszió útján

² maser: microwave amplification by simulated emission of radiation - mikrohullámok erősítése gerjesztett emisszió útján

létrejött. A fejlődés során a lézer számos felhasználási lehetőségére fény derült. Például 1963-64-ben megjelentek a lézeres távmérők, optikai lokátorok, 1964-ben létrehozták az első nagy teljesítményű CO₂ gázlézereket. 1971 orosz tudósok lézeres lokátorral végeztek kísérleteket az Apolló-15 által a Holdon elhelyezett szögvisszaverők segítségével. A szilárdtest- és gázlézerek energiasűrűségével már megoldhatóvá vált több lézerenergetikai probléma megoldása is, mint például az irányított termonukleáris szintézis, izotópok hasítása, valamint energiatovábbítás kozmikus távolságokba sugárzás formájában. Bizonyították, hogy a lézersugár fókuszában az energiasűrűség 10^{12} - 10^{13} W/cm², és az ilyen nagy energia már nem a szokott módon terjed, hanem a sugárnyaláb önmagát fókuszálja. Ez lehetővé teszi a nagy távolságokra való továbbítást, illetve az eltérő közegek roncsolását. A lézerek felhasználása nagyon széleskörűvé vált. Sokan a lézert látják megoldásnak számos az orvostudományban, a számítástechnikában, az iparban, haditechnikában felmerült megoldatlan kérdésekben. [6]

5.2 Lézerek működési elve és jellemzői

Mint azt már korábban említettem az elektromágneses hullámoknak, csak csekély hányada esik a látható sugárzások közé. A lézerek és kvantumerősítők a 0,3-10,6 μm hullámhosszra és 10^{15} - $2,8 \cdot 10^{13}$ Hz frekvenciatartomány közé eső elektromágneses rezgések szakaszára terjednek ki. Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége légüres térben állandó, a hullámhossz (λ) és a frekvencia (f) szorzata: $c = \lambda \cdot f$. Eltérés mutatkozik a rádióhullámok és a fénysugárzás között - az elektromágneses rezgések általános tulajdonságai mellett - amelyek a sugárzás gerjesztő valamint anyaggal való kölcsönhatásuk folyamatában mutatkoznak. Az 1. táblázat az elektromágneses hullámok spektrumát, a hullámok gerjesztésének, vételének megoldásait, és katonai alkalmazásuk területeit mutatja be.

Hullámhossz	10m	1m	10cm	1cm	1mm	100µm	10µm	1µm	100nm	1nm	10 ⁻¹¹ m	10 ⁻¹³ m		
Sáv	Rádió-mikrohullámok					Infrasugárzás			Látha- tó fény	Ibo- lyán- túli	Rönt- gen- sugár.	Gam- ma- sugárz.	Kozmí- kus sugárz.	
	RH	URH	DM	CM	MM	Köze- li	Közben- ső	Távoli						
Frekvencia (Hz)	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹	10 ¹²	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵	10 ¹⁶	10 ¹⁷	10 ¹⁹	10 ²¹	10 ²²
Rezgéskeltők (oszillátorok)	Rezgőkörök		Üregrezonátorok			Felhevített testek (gázok) kisugárzásai				Elkt- romos kisülés, plazma		Rönt- gen- csővek	Radio- aktív bomlás	Atom- mag fluxus
Vevők és indikátorok	Rezgőrendszerek Radiométerek					Hőérzékelők, fotoemissziós vevők→Szczintillátorok Fotorezisztorok→Ionkamrák, számlálók Fényérzékeny emulziós rétegek→							Wilson- kamrák	
Katonai alkalmazás területei	Nagy táv. Rádióz.	Navigációs eszközök				Lézerek				Nukleáris fegyverek				
		FM rádiók		Rádió lokátorok		célmeg- jelölők	lézeres lokátorok		optikai eszköz					
		televízió												

1. táblázat Az elektromágneses hullámok spektruma, a hullámok gerjesztésének, vételének megoldásai, és katonai alkalmazásuk területei [6]

A fénysugárzás fókuszálása sokkal könnyebben megoldható, mint a rádiófrekvenciás sugárzásé, mert a hullám koncentrációja nagy terjedelmű antenarendszert igényel, míg az optikai fókuszáló berendezések viszonylag kis terjedelműek. Az anyagokat alkotó atomok atommagjainak és elektronjainak mozgási energiája csak meghatározott energiaszinteket vehet fel. Az energiaszintek összege adja a rendszer (atom) energiaspektrumát. A minimális energiával rendelkező szint az alapszint, a többi pedig a gerjesztett szint. Az atomok kisugárzott és elnyelt energiája nem folyamatosan, hanem kvantumokként megy végbe. A kvantumok energiája $E=h\cdot\nu$, ahol h a Planck állandó ($6,626\cdot 10^{-34}$ J/s), ν pedig a frekvencia. Ezeket a kvantumokat fotonoknak nevezik, fényenergia esetében. Ha az atom elnyel egy fotont, akkor energiája megnő, azaz magasabb energiaszintbe megy át. Ha viszont kisugároz egy foton, akkor alacsonyabb energiaszintre kerül. Tehát az elnyelt vagy kisugárzott fotonenergia mértéke egyenlő az adott energiaszintek eltéréseivel. Ha az atom valamelyik gerjesztett állapotban van, akkor ez az állapot instabil, még ha más részecskék nem is hatnak az atomra. Egy idő után az atom úgyis visszatér egy alacsonyabb energiaszintre, ennek következménye pedig a fotonkibocsátás. Ez az átmenet az energiaszintek között spontán kisugárzással jár. A kisugárzás időben és fázisban nem függ egymástól. Ez megfigyelhető a kisugárzás irányában és polarizációjában. Általános fényforrások ilyen nem koherens sugárzást bocsátanak ki. Ez a folyamat elektromágneses hullámok

hatására is létrejöhet, ha a hullámok frekvenciája közel van az átmeneti frekvenciához. Az ilyen rezonánshullám gerjeszti az elektront, és az kisebb energiaszintre lép. Ez a külső hatásra végbement átmenet az indukált átmenet. Az atom ilyen külső sugárzás hatására átadja energiáját az elektromágneses hullámnak, így annak megnő a hullámhossza. Ha a besugárzott rendszer rezecskéi olyan anyagok, amelyekben ez a folyamat létrejöhet, akkor a kisugárzott energiája a rendszernek jóval nagyobb lesz a besugárzotténál, a benne zajló átmenetek következtében. A gerjesztett sugárzás sajátosságai így a következők lesznek:

- frekvenciája a kiváltó hullám frekvenciájával egyenlő;
- terjedési iránya és fázisa is egyenlő a kiváltó elektromágneses hullámével;
- polarizációi, azaz az elektromos és mágneses terek irányvektorai is megegyeznek.

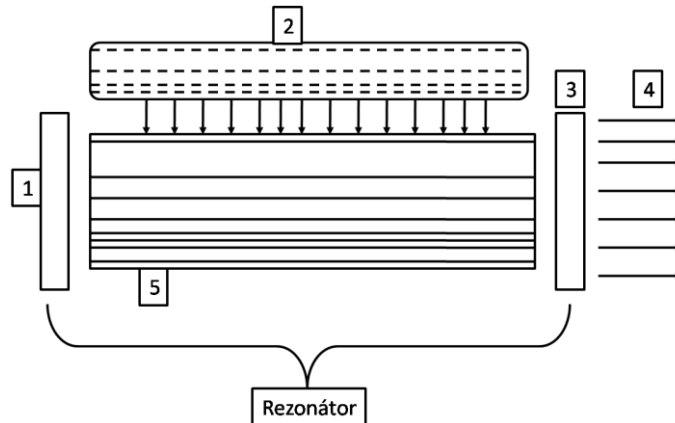
Ezen tulajdonságoknak köszönhetően a sugárzás koherens lesz. Az ilyen stimulált sugárzás létrehozásának feltétele, hogy az atomok száma alacsonyabb energiaszinten kisebb legyen, mint magasabb energiaszinteken. Az állapot ahol az anyag telítettsége magasabb energiaszinten nagyobb, az aktív vagy inverz állapot. Ha az aktív állapotban lévő anyagot, adott frekvenciájú elektromágneses sugárzással közlik, akkor lényegesen erősebb stimulált sugárzás keletkezik, ugyanabban a frekvenciában.

Lézersugárzás gerjesztéséhez szükséges az energia-visszacsatolás. Ez azt jelenti, hogy a kisugárzott energiának egy része az aktív anyag belsejében kell, hogy maradjon, hogy még több atomban váltsa ki a gerjesztett emissziót. Ez például két tükör segítségével valósítható meg. Az aktív anyag a rezonátor tükrök közé kerül, amelyek közül az egyik részben áteresztő. Miután a spontán átmenet hatására fényhullám létrejött, eléri a félig áteresztő tükröt, amin részlegesen áthalad. Így a fényenergia egyik része kisugárzásra kerül, míg a másik része újból behatol az aktív anyagba és fotonok újabb tömegét indítja el. Ahhoz, hogy ez a hatás létrejöjjön, az aktív anyagban a fényerősítésnek meg kell haladnia egy bizonyos küszöbértéket. Tehát a koherens fényforrás létrehozásának feltételei:

- aktív anyag két tükör között, melyek egyike részben áteresztő;

- az aktív anyagban lévő gerjesztett elektronok, atomok, molekulák száma egy adott küszöbértéknél nagyobb legyen. Ennek függvénye a létrehozott erősítés.

Ha ezek adottak létrehozható a lézer.



25. ábra Rubinlézer egyszerűsített vázlata [6]

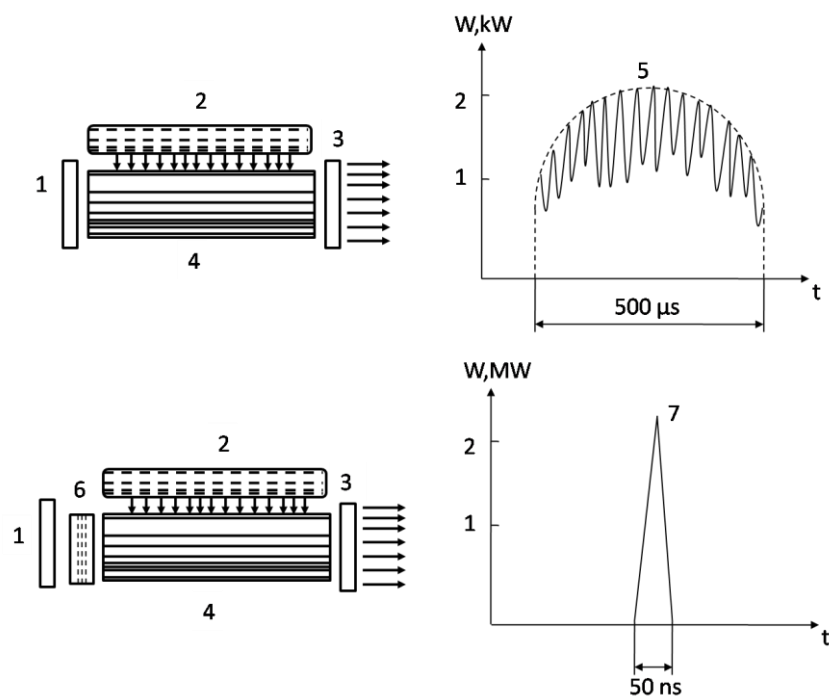
Az 25. ábrán egy rubinlézer egyszerűsített vázlata látható, ahol 1. tükör, 2. gerjesztés forrása, 3. részben áteresztő tükör, 4. gerjesztett (stimulált) sugárzás, 5. aktív anyag. A lézerben aktív anyagként használt rubin szintelen, szilárd, kristályos anyag. Dielektromos alumínium-oxid-korund kristály (Al_2O_3). Ha adott mennyiségű alumíniumiont krómionnal helyettesítenek, akkor a korund rózsaszín-vörös kristályából rubin keletkezik. Ennek a rubinnak 0,035-0,07 tömegszázaléka krómatom. A rubinban létrejövő gerjesztést a krómatomok stimulálják.

A lézereket háromféleképpen osztályozhatók:

- a gerjesztés jellege szerint;
- az aktív anyag halmazállapota szerint;
- a gerjesztett spektrum szerint.

A gerjesztés jellege szerint léteznek impulzus- és folytonosan sugárzó lézerek. Az impulzus üzemi lézerek a besugárzó energiaforrás pumpáló jellegének megfelelően a kisugárzást csak rövid ideig biztosítják. Ez az időtartam a felső energiaszint aktív állapotának elérésétől az alacsonyabb energiaszintre való visszatérésig tart. Ezeknek a lézereknek két üzemmódja van:

- Szabad gerjesztésű üzemmód: ebben az esetben az atomok felső energiaszintről az alsó energiaszintre való átmenete nincs korlátozva. Így a kisu gá r z o t t i m p u l z u s e g y r e z g é s s o r o z a t, é s i d ő t a r t a m a 100 é s 1000 μ s k ö z é e s i k.
- J ó s á g m o d u l á l t ü z e m m ó d, a m i k o r a z a k t í v á l l a p o t o t a r e z o n á t o r j ó s á g á n a k l e r o n t á s á v a l é r i k e l. E z a z e g y i k t ü k ö r v i s s z a v e r ő k é p e s s é g é n e k i d e i g l e n e s l e r o n t á s á v a l v a l ó s í t h a t ó m e g. E z u t á n a j ó s á g o t - a t ü k ö r á t e r e s z t ő k é p e s s é g é n e k n ö v e l é s é v e l - h i r t e l e n m e g n ö v e l i k, é s a f e l g y ü l e m l e t t m i n t a r ö v i d i d ő t a r t a m a l a t t 10-100 ns ó r i á s i m p u l z u s s a l f e l s z a b a d u l.



26. ábra A szabad gerjesztésű üzemmódban léterjövő sugárzás és a jóságmodulált üzemmód [6]

Az 26. ábra felső részén a szabad gerjesztésű üzemmódban léterjövő sugárzás, míg az alsó részen a jóságmodulált üzemmód található, ahol 1. nem áteresztő tükör, 2. gerjesztő energiaforrás, 3.részben áteresztő tükör, 4. aktív anyag, 5. kisu gá r z o t t i m p u l z u s, 6. modulátor (áttetsző tükör), 7-monoimpulzus.

Ha szabad gerjesztésű üzemmódban működik a rubinlézer 500 μ s időtartamú sugárzásnál, 0,1 J energia kibocsátása esetén, $0,1/500 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^2$ W enrgia

nyerhető. Ha a lézert ugyanilyen feltételek mellett jóságmodulált üzemmódban használják, akkor az energia kisugárzása 50 ns alatt megy végbe, és $0,1/50 \cdot 10^{-9} = 2 \cdot 10^6$ W energia sugárzódik ki. Így jelentősen növelhető a kimenőteljesítmény, aminek fontos szerepe van a lézerrel működő fegyverek esetén.

A folytonos kisugárzású lézereknél az aktív állapot az állandó gerjesztősugárzás hatására folyamatosan fennáll. Szilárd aktív anyaggal rendelkező rubinlézereknél a kimenő teljesítmény eléri az 1 W-ot, az Yttrium-Aluminum-Granat³ (YAG) lézer esetén pedig 1-250 W közé tehető. Gázlézereknél hélium-neon (He-Ne), a kriptongáz lézer 0,001-0,5 W, argonlézer esetében pedig 1-10 W közé tehető a teljesítmény. A nagyteljesítményű CO₂ lézerek teljesítménye pedig elérheti a 10-5000 W teljesítményt is.

A lézerek spektrumuk által is osztályozhatók, így léteznek ibolyántúli, látható fény és infravörös spektrum közeli és távoli tartományában működő lézerek.

Valamint a harmadik osztályozási módszer az aktív anyag halmazállapota szerinti felosztás. Ez alapján léteznek szilárd (szilárdtest-lézerek), folyékony aktív anyaggal működő (folyadéklézerek), és gázzal működő lézerek (gázlézerek). A szilárdtest-lézerek egyik fajtájánál félvezető anyagok képezik az aktív anyagot, ezeket félvezető lézereknek nevezik, amelyek a stimulált emisszió és a gerjesztés módjában különböznek az általános szilárdtest-lézerektől.

A szilárdtest-lézereknek fontos szerepük van a katonai berendezésekben. Ennek egyik oka, hogy nagy teljesítmény érhető el velük. A 2. táblázatban a szilárdtestlézerek néhány jellemzői láthatók.

A szakértők szerint a legjobb tulajdonságú aktív anyagok a ritka földfémekkel aktivált optikai anyagok, illetve a YAG lézerek. Az üveglézerek előnye, hogy nem igényel különleges berendezéseket, ezenkívül nem okoz gondot a különböző méretű kristály létrehozása, a mesterségesen növesztett kristályokkal szemben, amelyeknek méretei korlátozottak, ami a berendezés teljesítményét befolyásolja.

³ granat-gránát, drágakő

Aktív anyag	Aktiváló adalék	Hullám-hossz (μm)	Teljesítmény (W)		Impulzus-energia (J)	Divergencia-szög (mrad)	Üzemi hőfok (K)
			folytonos üzemmódban	impulzus üzemmódban			
Rubín	Cr	0,6943	1	10^9 -ig	1-500	10-ig	293
Kálcium-fluorid	U	2,613	1	-	-	5	300
Kálcium-wolframát	Nd	1,058	1	-	-	4	290
Kálcium-molibdát	Nd	1,06	0,005	-	-	5	293
Üveg	Nd	1,06	Nem működik	$4 \cdot 10^9$ -ig	1-5000	0,5-10	300
Ittrium-alumínium-gránát (YAG)	Nd	1,06	1-250	10^5 -ig	0,01-1	2-10-ig	300

2. táblázat Szilárdtestlézerek jellemzői [6]

Jelentős hátránya az aktivált üvegnek, hogy folyamatos üzemen nem működik. Ezért inkább a YAG-lézerek elterjedtebbek. Ennek előnye, hogy alacsony pumpáló energiaszintű gerjesztőre van szükség. Ennek köszönhetően kis méretű és tömegű berendezések használhatók. Folyamatos üzemmódban pedig nagy impulzusfrekvenciával képes működni. Emellett a 1,06 μm -es hullámhossztartományban dolgozik, ami láthatatlan infravörös tartomány.

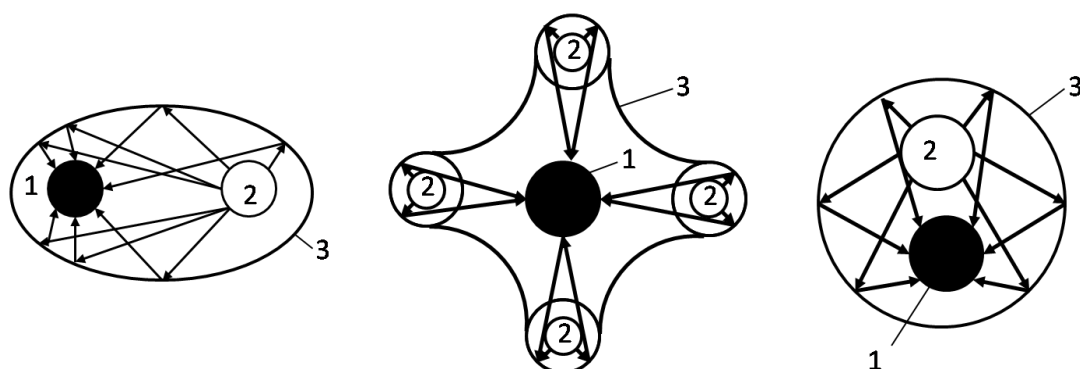
A lézerek korábbi típusaiban az aktív anyagra felvitt tükörbevonatokkal hozták létre a rezonátort. Az újabb lézerekben már ezüstréteget visznek fel üvegre, vagy dielektromos bevonatú tükröket alkalmaznak, amelyek visszaverődési maximuma a lézer üzemi hullámhossztartományán belül található. A tükör felülete lehet sík vagy gömbfelület. A síktükröknél fontos a tükrök párhuzamosságának szögmásodperc pontossággal való beállítása. Gömbtükrök nem igényelnek ilyen fokú precizitást. Alkalmaznak még párhuzamos síklappárokat, illetve egyes lézerekben a teljes visszaverődés érdekében pizmákat használnak rezonátorelemként.

A lézerek fontos részét képezik a külső gerjesztő, pumpáló energiaforrások is, amelyek biztosítják a stimulált emissziót. Szilárdtest-lézereknél általában villanólámpát használnak, amelyek kialakítása és teljesítménye a lézer

rendeltetésének függvénye. Ezek általában kvarcballonban elhelyezett gázkisülésű csövek. Ezeket rendeltetésnek megfelelően töltik meg nemesgázzal, ami lehet xenon vagy argon. Alkalmaznak még robbanózsínórokat, pirotechnikai elegyeket és félvezető fénydiódákat is külső gerjesztő energiaforrásként. Folytonos üzemmódban működő lézereknél folyamatosan égő lámpákat, vagy diódákat alkalmaznak. A napenergiával működő lézereknek fontos szerepe lehet például a világűrben alkalmazott eszközöknél.

A lézer által kisugárzott hasznos energiának, valamint az aktív anyag besugárzására alkalmazott energiájának a függvénye adja meg a lézer hatásfokát. A szilárdtest-lézereknek nem túl magas a hatásfoka, ennek egyik oka a pumpálóforrások alacsony teljesítménye. Mivel a lézer aktív anyagának gerjesztéséhez meghatározott hullámhosszú energia kell, ezért a nagy kimenőteli teljesítményű besugárzó eszközök alkalmazása a lézer működési frekvenciatartományában lehetővé teszi a hatásfok emelését. Az viszont problémát jelent, hogy olyan gerjesztőforrást hozzanak létre, amelynek meghatározott a frekvenciája, mivel a szórás következtében a fényerő nem biztos, hogy elég lenne a lézer gerjesztésére. Az egyik megoldás a hatásfok növelésére, hogy az aktív anyagot egy másik lézerrel világítják meg. De leginkább nagy intenzitású, vákuumos és gáztöltésű, folyamatos üzemi impulzus-villanólámpákat használnak. Az aktív anyag, a rezonátor és a gerjesztőlámpa rendszere a szilárdtestlézer, amelyet visszaverőfelületekkel vesznek körül, amelyek elősegítik a pumpálóenergia aktív anyagon való összpontosítását, az egyenletes és éles besugárzás biztosítása mellett.

A szilárdtestlézerek gerjesztő fényforrásainak néhány kialakítási lehetőségeit a 27. ábra szemlélteti. Ahol 1. az aktív anyag; 2. gerjesztőlámpa; 3. fényvisszaverő tükör. A visszaverő felületek anyaga általában nehezen olvadó üveg vagy kvarc. A gerjesztőlámpát, a rezonátortükröt és az aktív testet összefoglaló néven lézerfejnek vagy lézeradónak nevezik.



27. ábra Szilárdtestlézerek gerjesztő fényforrásainak kialakítási lehetőségei [6]

A stimulált emissziós folyamat szabad gerjesztésű üzemmódjában a villanólámpa sugárzásának ideje alatt, tetszőleges időtartamokban, több egymást követő, kaotikus impulzus jön létre, ezért a kimenő impulzusok is egyenetlenül lépnek fel. Ezért ebben az üzemmódban nem alkalmas a lézeres berendezésekben való alkalmazásra. Ezek a szabálytalan impulzusok a „spikingek” vagy tüskék. A különböző oszcillációmódok és a „tüskék” miatt a szilárdtest-lézerek kisugárzott energiájának koherenciája kisebb, mint a gázlézereké. A jóságmodulációval ezek a problémák kiküszöbölhetők. Amit az aktív anyag és az egyik rezonátortükör közé épített zárok segítségével valósíthatnak meg.

A lézer hatásfoka a szabadgerjesztésű üzemmódban nagyobb, mint a monoimpulzus üzemmódban. Ez annak köszönhető, hogy a rezonátorban lévő zárok nyitása előtt, az aktív anyag által tartalékolta gerjesztőenergiának, a „várakozás” időtartamában létrejön egy bizonyos vesztesége.

A legegyszerűbb szerkezeti kialakítású, a jóságmodulátorként is említhető folyadékos fototrop-zár vagy „áttetsző-szűrő”. Ha csekély intenzitású fénysugárzás halad át ezen a különleges folyadékkal töltött üvegcsövecskén, akkor az nem áttetsző. Ha viszont magasabb a fény intenzitása, akkor a folyadékmolekulák elnyelik a fényt, és magasabb energiaszintre emelik a molekulákat. Itt már nem történik elnyelődés és a rezonátortükör felé haladó lézersugarak áthaladnak a szűrőn. Ez a megoldás a szerkezeti és üzemeltetési egyszerűségének köszönhetően jól alkalmazható, hátránya viszont, hogy a szűrő vezérlésére nincs lehetőség, és így nem tudják szinkronizálni az

impulzus kezdetét. Az ilyen fototrop-zárban áteresztő folyadékként festékanyagot alkalmaznak (metanolban oldott kriptocián), a neodimiumüveg aktív anyaggal működő lézereknél pedig polimetint használnak színezőanyagként.

Modulátorként opto-mechanikai forgóprizmás zárat is szoktak alkalmazni. Ez körbe forog, az impulzusnak megfelelő sebességgel. Az ilyen típusú zárat csak katonai alkalmazásban terjedtek el, egyszerű felépítése miatt. Katonai eszközöknél ritkábban alkalmaznak elektrooptikai zárat, mint opto-mechanikaiakat. Az elektrooptikai zárokban az aktív minta és a rezonátortükrök egyike közé elhelyezett polarizátor akadályozza a fény terjedését, amíg az elektrooptikai elem nagyfeszültséget nem kap, amittől a polarizátor elfordul, és a fény ismét áthaladhat a rezonátortükrről. Az ilyen típusú zárat jól összehangolható a gerjesztő lámpával.

Zárként lehet alkalmazni az akusztikooptikai modulátorokat, ha periodikus impulzus üzemmódot szeretnének létrehozni. Ezt főleg folyamatos üzemi lézereknel használják. A kvarcátalakítóba feszültséget vezetve - a nagyfrekvenciás generátorból - a folyadékban vagy kristályban állóhullámok keletkeznek. Ezek diffrakációs rácsot képeznek, és a lézersugár megszakításai a kvarcátalakítóba vezetett feszültséggel azonos frekvencián fognak működni. Jóságmodulált lézerekben a villanólámpa és a zár nyitására összehangolására különböző áramköröket alkalmaznak.

Ezeket a szilárdtestlézereket lövedékek rávezető rendszereiben használják, de jól alkalmazhatók fénylokátorokban valamint távmérőkben is.

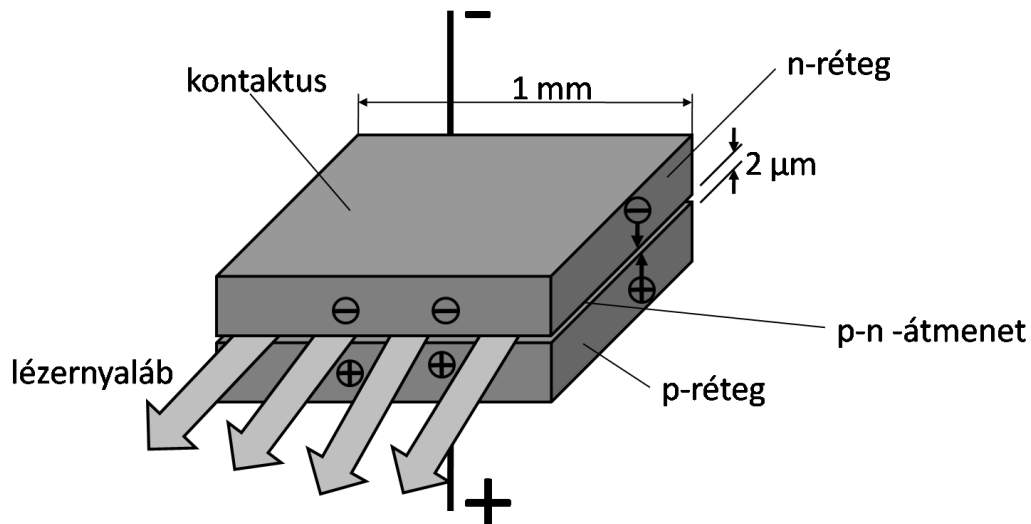
A szilárdtest-lézerek divergenciaszöge kicsi, kevesebb, mint 10 milliradián, ami azt jelenti, hogy 3-5 km távolságban a fénypont átmérője 10-15 méter lenne. Ez viszont nem alkalmas a cél jó megvilágítására, mivel túl kevés hasznos jel érkezne a vevőegységbe. Ezt a rezonátor finom beszabályozásával és emellett teleszkópos objektívet szerelve a kimenetre le lehet szűkíteni. A rendszereket megnövelt frekvenciájú impulzus üzemmódban húteni kell, ez kicsit bonyolultabbá teszi a felépítést.[6]

5.3 Félvezető lézerek

A félvezető-lézerek a szilárdtest-lézerekhez tartoznak, de gerjesztésükben, sugárzásmódjukban, illetve hatásfokukban különböznek tőlük. Ezekben a lézerekben p-n -átmeneteket alkalmaznak gerjesztésre. Alkalmazásával sok lehetőség nyílik, például az elektromos áram közvetlenül fénnnyé alakítása, valamint kis méretekkel rendelkeznek (kisebb, mint 1 mm^2). Pont a kis mérete okozza az egyik nagy hátrányát, azaz nagy divergenciaszöggel rendelkeznek. Ez lecsökkenthető a már korábban említett optikai lencsékkel. További hátrányként említhető, hogy ezeknél a lézereknél megjelenik a fényelhajlás jelensége, szintén a kis méret miatt, mivel a lézer kilépési helye csak $2 \text{ }\mu\text{m}$.

Működése: áram hatására a félvezetőben elektron-lyukpárok keletkeznek, amelyek arányosak az atomok gerjesztett állapotával. Az elektronok és lyukpárok rekombinációja során kisugárzás jön létre kvantum alakjában. A félvezetők többségénél a rekombináció sugárzásmentes, de lézereknél különleges félvezetőket alkalmaznak, amelyeknek rekombinációját jelentős fényemisszió követ. Erre a célra főleg gallium-arzenid (Ga-As) félvezetőket alkalmaznak. Az ilyen sáv-sáv jellegű félvezetőkben ez a folyamat igen rövid idő alatt megy végbe (10^{-10} s). Ezért az emissziós erősítés rendkívül nagy.

A félvezető-lézereket injektált vagy injekciós lézereknek is nevezik, mivel gerjesztésére leggyakrabban elektromos árammal elektronokat injektálnak az anyagba. Miután áramot vezetnek a félvezetőre a p-n -átmenetben elektronok és lyukak rekombinálnak, aminek spontán fényemisszió a következménye. Adott áramerősség felett ez felerősödik, kialakul az aktív állapot és lézersugárzás jön létre. A 28. ábra a félvezető lézer felépítését szemlélteti. A félvezető lézerek folytonos és impulzus üzemmódban egyaránt működnek. A félvezető lézereket nagyobb kristályokból állítják elő hasítással. Ezeknél az eszközöknél nincs szükség rezonanciatükrökre, mivel az ilyen kristályok törésmutatója igen nagy, és ez pont elég a fénysugárzás visszaverésére, lézersugár gerjesztésére. A félvezető anyagok nem homogének, és az ennek következtében fellépő veszteségek miatt hűtésre van szükség. Ez a kis méret miatt könnyen megvalósítható, például folyékony levegővel, nitrogénnel illetve héliummal.



28. ábra A félvezető lézer felépítése [6]

A hatásfokuk megközelíti a 100%-ot. Egyszerűen lehet modulálni ezen lézereket a gerjesztőáram segítségével, ami megkönnyíti a gyártást. Hátránya a viszonylag kicsi kimenőteljesítmény (1-10 W) 100-1000 impulzus másodpercenkénti ismétlődése mellett. Emellett hátránként említhető a hűtés fontossága, ami a nagy áramsűrűségnek is köszönhető (70 A/cm^2). Valamint igen nagy divergenciaszöggel rendelkezik (Ga-As esetén 20-400 mrad). [6]

5.4 A gázlézerek

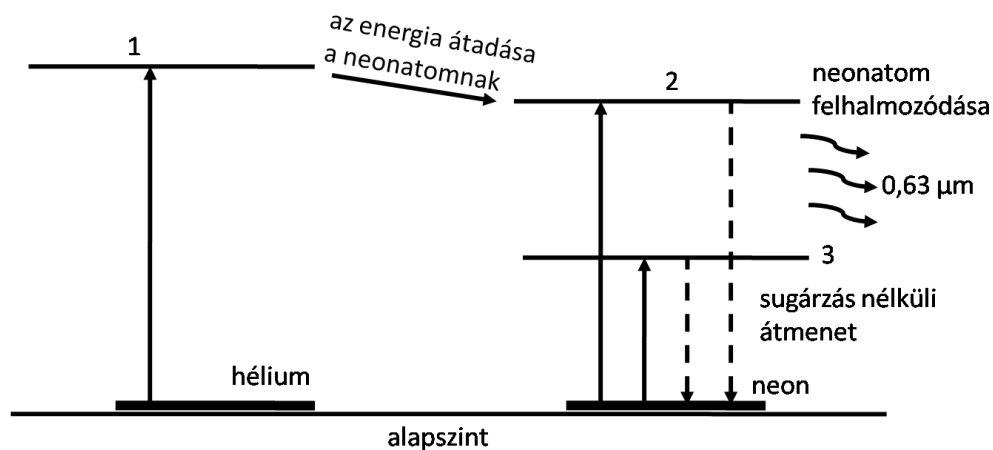
Mint a neve is mutatja a gázlézerekben aktív anyagként gázt vagy gázkeveréket használnak. Három típusát különböztetjük meg:

- ionlázerek: itt az átmenetek az ionok szintjei között jönnek létre 0,1-0,5 μm hullámhossztartományban,
- atomlázerek: ahol az átmenetek az atomok szintjén következnek be 0,5- 10 μm hullámhossztartományban
- molekulalázerek: amelynél az átmenetek a molekula rezgési és rotációs szintjei között jönnek létre 10-1000 μm hullámhossztartományban, azaz az infravörös és a mikrohullámú tartomány között.

Ezeknél a lézereknél az aktív állapotot elektromos kisüléssel (gázkisülésű lézerek), vagy a kis átmérőjű fúvókán áthaladó gáz gyors kiterjesztésével (gázdinamikai lézerek), vagy öngerjesztéssel érik el, ami az atomok és molekulák egyesülése során, vagy külső erő hatására az atomok és molekulák között fellépő gerjesztés hatására, kisülési- vagy fényenergia alakjában (kémiai lézer) alakul ki. Ezek a lézerek a távoli ibolyántúli sugaraktól egészen a távoli infravörös sugarakig 300-nál is több hullámhosszban működnek, kis divergenciaszög mellett. Az optikai homogenitás magas szintje és a gázok átlátszósága miatt, erre a célra gáztöltésű csöveket használnak. Ez több 10 méteres nagyságú is lehet. Jól irányíthatóak, a nagy kimenőteljesítmény elérése mellett.

A legszélesebb felhasználása a gázkisülésű lézereknek van. Aktív anyaga valamilyen nemesgáz (xenon, kripton, argon, neon), vagy gázkeverék (széndioxid CO_2 , hélium-neon He-Ne, hélium-xenon He-Xe). Alkalmazható mind folyamatos, mind pedig impulzus üzemmódban. A folyamatos kisülés lehet ívkisülés vagy egyenletesen izzó. Lehet nagyfrekvenciás vagy egyenáramú. Legelterjedtebb változata a hélium-neon atomi-optikai lézer, $0,6328\text{ }\mu\text{m}$ hullámhosszúságon. Ion-optikai lézerként az argongáz lézert alkalmazzák. Molekulalézerként a CO_2 , nitrogén és hélium gázkeverékű lézerek működnek. Ezeknek a legnagyobb a teljesítménye.

A 29. ábrán 1. a hélium gerjesztett szintje; 2. a neon gerjesztett szintje; 3. a neon elektronnal gerjesztett szintje. Gerjesztés után a neon- és héliumatomok elektronnal való ütközésük során a héliumatomok magasabb energiaszintre lépnek (29. ábra: 1.). A neonatomok is magasabb szintre kerülnek (29. ábra: 2., 3.). A 2. szint nemcsak a kisülési energia neonatomnak való átadásának lehet az eredménye, hanem a neon atomok gerjesztette héliumatomok energiaátadásának is. A héliumatomok visszatérnek az alapszintre miután leadták az energiájukat. A 3. szint csak akkor jöhet létre, ha a neonatomok energiát kapnak, az elektronokkal való ütközés hatására.



29. ábra Hélium-neon lézer energiaszintjének átmenete [6]

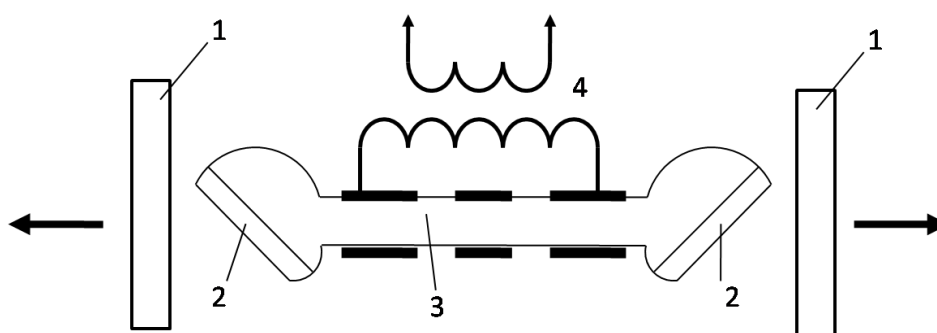
A 2. szintről gerjesztés hatására a 3. szintre kerülő neonatomok stimulált sugárzást bocsátanak ki. Ha a neonatom 3. szintről visszatér a kiinduló szintre akkor nem történik kisugárzás.

A CO_2 és N_2 molekulalézernél az aktív állapothoz szükséges energia egyrészt a nagyfrekvenciás egyenárammal gerjesztett CO_2 egyenletesen izzó molekulái által létrehozott energiából, másrészt pedig N_2 molekulákkal való összeütközések során keletkező segédenergiákból tevődik össze. Ezek az összeütközések rengetegszer megtörténnek, és a nagyobb gerjesztő hatás miatt a molekulák több ideig tartózkodnak magasabb energiaszinten. Ezért ezek a berendezések jobb hatásfokúak ($\eta=15\text{-}25\%$) és kimenő teljesítményűek, mint a hélium-neon gázzal működő lézerek ($\eta=0,01\%$). A CO_2 gázlézerek kb. 100 hullámhosszon sugároznak, de leggyakrabban 10,6 és 9,6 μm hullámhosszon dolgoznak. Az ilyen típusú generátorok hullámhossza a távoli infravörös tartományban helyezkedik el, ami megnehezíti a lencsék és ablakok elkészítését, mert a közönséges üveg ezekben a hullámtartományokban nem áttetsző. A 3. táblázatban a legelterjedtebb ion-, atom- és molekuláris lézertípusok jellemzői láthatók.

Aktív anyag	Hullám-hossz (μm)	Teljesítmény folytonos üzemmódban (W)	Impulzus-teljesítmény (W)	Impulzus-energia (J)	Az impulzusok ismétlődési frekvenciája (imp/s)	Divergencia-szög (mrad)
Hélium-neon	0,6328	0,001-0,1	-	-	Folytonos üzemmód	0,2-1
Argon	0,488	10	20	8	60-200	0,5-1
Kripton	0,6471	0,5	2	-	60	0,5-1
Szén-dioxid	10,6	10-5000	10^5	0,5-5	kb.100	04.jan
Nitrogén	0,3371	Nem működik	10^5	-	1-100	2x20
Oxigén	375	Nem működik		0,7		1

3. táblázat Gázkisülésű lézerek jellemzői [6]

A gázlézer szerkezete a 30. ábrán látható:



30. ábra A gázlézer szerkezete [6]

Az 30. ábrán 1. a rezonátortükrök; 2. gáztárolócső kimenőablakai (Brewster-ablakok); 3. gázkisülésű cső; 4. nagyfrekvenciás áramforrás. A nagyfrekvenciás áramforrás feszültsége a külső elektródokra van csatlakoztatva. Ha ez folytonos izzású vagy ívkisülésű, az anód és a katód egy csőben kerül elhelyezésre. A kimenőnyílásokat a beeső sugárzáshoz képest bizonyos szögben állítják be, úgy, hogy a lézersugár nyalábja lineárisan polarizált legyen. Ez az ún. Brewster-szög. Mindemellett a sugárzásnak az ablakokról való visszaverődése minimális lesz. A rezonátorként működő tükrök visszaverődési együttha-

tója kb. 90 %. A haditechnikában leggyakrabban alkalmazott gázlézerek a hélium-neon, argon- és a CO₂ molekuláris lézerek.

A gázdinamikai lézerek molekuláris gázlézerek. Az aktív anyaga CO₂ és N₂ gáz keveréke, kis mennyiségű vízzel, vagy héliummal. Az utóbbi kettő katalizátorként működik. A gázok kölcsönhatásának köszönhetően a rendszer 1127 °C hőmérsékletre melegszik fel. Ha ezt szubszonikus sebességre gyorsítva, a gáz ideiglenesen lehűl, és létrejön az aktív állapot, 10,6 μm hullámhosszúságú stimulált sugárzás jön létre. Ezeknek a lézereknek a legnagyobb teljesítménye, elérheti a néhány 100 kW-ot. Hatásfokuk eléri a 0,5-2%-ot is. Ezekből a lézerekből tervezik létrehozni az ún. lézerfegyvert.

A kémiai lézereknek, azért lehet fontos jelentőségük, mert alkalmazásukkal lehetőség nyílik az aktív állapot elérésére külső energiaforrás felhasználása nélkül, és folyamatos sugárzás is előállítható magas hatásfokon, csupán kémiai anyagok hozzáadásával. Ebben az esetben az atomok és molekulák potenciális energiával rendelkező új molekulákat hoznak létre. Ezek összeütközve átadják egymásnak energiájukat, és létrejön a stimulált sugárzás. De kémiai lézereknél is előfordul, hogy külső energiát használnak. Aktív anyaga lehet fluor és hidrogén, amelyek között létrejövő reakció hőenergiáját használják fel a sugárzásra. Kisugárzási hullámhosszuk 2,6-3,6 μm között van, teljesítménye 4500 W. A hidrogén deutériummal (nehézhidrogén) is helyettesíthető, ekkor a hullámhossz 3,6-5 μm közötti, teljesítménye 5000 W. Ha a nehézhidrogén-fluoridot CO₂-dal keverik, akkor az 5600 W teljesítmény is elérhető. Ez utóbbiban fúvókákön keresztül szubszonikus áramlást keltenek. Ezt az áramlást hirtelen térfogat növekedés követi, tehát a gázdinamikai lézerek közé sorolható, de az ilyen lézerek teljesítménye nagyságrenddel magasabb, mint a szubszonikus áramlású gázlézereké, kb. 4-5 kW és hatásfoka 4-5 %.

Impulzus üzemmódban működő kémiai lézerek is léteznek, amelyek aktív anyaga hélium-, CO₂-, fluor- és nehézhidrogén-keverék. Ezeket szikrakisütéssel gerjesztik. Ez kb. 20 000 J energia-kibocsátást biztosít 20%-os hatásfok mellett. Ehhez mindössze 1 liternyi kell elégetni az adott anyagból.

A lézerek katonai felhasználási lehetőségeinek szempontjai: a sugárzás üzemmódja, energetikai paraméterei, irányíthatóság, spektrális jellemzők,

koherencia. A gázlézereket főleg folytonos üzemmódban, a szilárdtest-lézereket inkább impulzus-üzemmódban használják, de mindkettőre találhatók ellenpéldák is. A szilárdtest-lézerek használatát korlátozta az, hogy anyaguk mekkora igénybevételt visel el. Napjaink lézerei már több 10 ezer gerjesztőimpulzust is elviselnek. A 60-as években volt olyan lézer, ami nem bírta ki 50-nél több gerjesztőimpulzust.

Szabadgerjesztésű üzemmódban működő impulzuslézereket nem alkalmaznak a haditechnikában, kivéve jeladásra. Impulzus üzemmódnál az impulzusok adott követési frekvenciával vagy szünetekkel jönnek létre, mint impulzussorozatok. Ennek felhasználása széleskörű katonai területen.

Energetikai paraméterek a folytonos lézereknél kimenő teljesítménnyel, míg impulzus lézereknél a kimenő energiával és az impulzusteljesítménnyel, illetve az átlagteljesítménnyel jellemezhetők.

A sugárzás irányítottsága határozza meg a célon a sugárzás intenzitását. Ezt adja meg a divergenciaszög (tér szög), mértékegysége: mrad. A gázlézereknél ez 0,1 mrad, szilárdtest-lézereknél, pedig 0,2 mrad. (1 mrad $\approx$ 3,44 szögperc). Fontos a cél besugárzásánál, hogy kis felületre nagy teljesítmény jusson.

A lézerek spektrumjellemzői azt határozzák meg, hogy mekkora a sugárzás hullámhossztartománya és spektrumszélessége (monokromatikusság). A gyakorlatban használt lézersugarak csak néhány tíz hullámhosszt használnak, de a lézerek több ezer hullámhossztartományban is alkalmazhatók.

Korábban rubinlézerek voltak elterjedve, amelyek a spektrum vörös szakaszában sugároztak, manapság viszont már hosszabb hullámtartományban működő lézereket alkalmaznak. Ezek előnyei a magasabb hatásfok, kisebb gerjesztő küszöbenergia, és a hosszúhullámú sugárzás nehezebben deríthető fel (0,9-1,06 μ m). A sugárzás monokromatikusságának mértékét a következő képlettel lehet megadni:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \quad (11)$$

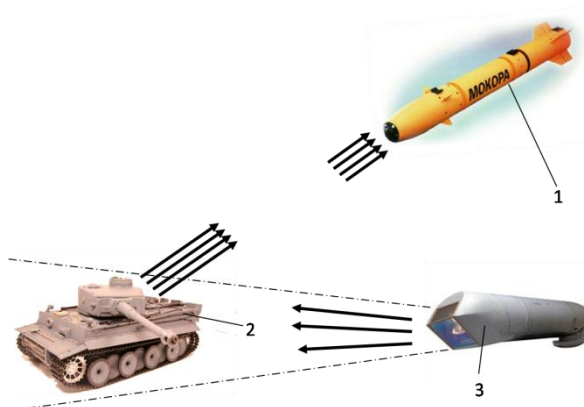
ahol, $\Delta\lambda$ a generátor sugárzásának spektrumvonal-szélessége, λ_0 pedig a spektrumvonal maximális hullámhossza. A monokromatikusság meghatáro-

zója a rezonátor, amelynek jósága a veszteségek függvénye. Ezt elsősorban a tükrök áttetszőségének korlátozottságai okozzák, illetve a rezonátortükrök párhuzamostól való eltérése.

A koherens tulajdonságokat nagyban meghatározza a nagyfokú irányítottság, monokromatikusság, és a polarizáció. A gázlézerek rendelkeznek a legnagyobb koherenciával, ennél kisebb a folyadéklézereké, és őket követik a szilárd-test lézerek egy nagyságrendnyi különbséggel. Ennek oka a heterogén aktív anyag, illetve a kis hosszúságú rezonátorok, amelyek rontják a monokromatikusságot. A legrosszabb koherenciája a félvezető lézereknek van, mivel nagyon kicsi a rezonátoruk, valamint a p-n -átmeneten sok veszteség lép fel.[6]

5.5 Lézeres rávezető rendszerek

A haditechnikában a legjobban elterjedt lézeres berendezések a lövedék-rávezető rendszerek. A félaktív lézeres önirányítással rendelkező rakéták főbb részei: a célmegjelölő berendezés és a rakétára felszerelt önrávezetőfej. A célmegjelölő berendezés arra szolgál, hogy folytonos vagy impulzus üzemű lézerrel megvilágítsa a célt. Ez olyan ismétlődési frekvencián megy végbe, hogy a lövedék közel 100%-os valószínűséggel eltalálja a célt. A célmegjelölő részei: a stabilizáló egység és a kezelő optikai megfigyelő eszköze.



31. ábra Lézeres félaktív rávezető rendszer [6]

Az 31. ábrán látható félaktív lézeres rávezető rendszer részei: 1. a lézerirányítású rakéta, 2. céltárgy, 3. célmegjelölő konténer. A célmegjelölő konténer által besugárzott célról, a visszaverődő jeleket a rakéta irányító egysége érzékeli, ami alapján a célra vezeti a lövedéket. A lézerekkel való célmegjelölés

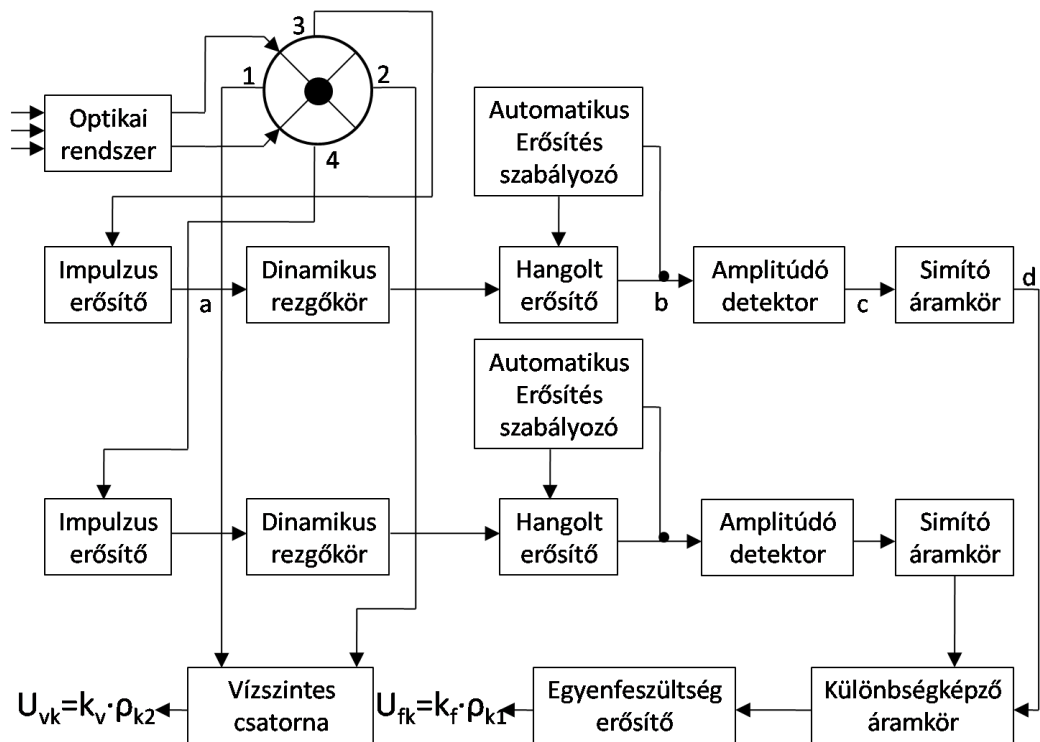
az 1-2 mrad divergenciaszögű sugárnyaláb segítségével, kiválóan alkalmas nagy távolságban lévő pontszerű célok megvilágítására. A keskeny sugárnyaláb jó zavarvédeltséget is nyújt. Az ilyen rávezető rendszerek széles körben kerültek alkalmazásra, légibombákban, föld-levegő, föld-föld és légiharc rakétákban, de emellett tábori vagy haditengerészeti tüzérségi lövedékekben is előfordulnak. A célfelderítő és megjelölő eszközöket bárhol elhelyezhetik lövészalegységeknél, előretolt tüzérmegfigyelőknél, hadihajókon, helikoptereken, merevszárnyú repülőgépeken és pilóta nélküli repülőgépeken is. Ez annak is a függvénye, hogy milyen feladatot hajtanak végre a csapás során. Például irányítható légi bombák esetén a célmegjelölő és a rávezető egy közös hordozóeszközön is lehet, illetve lehet egy külön repülőgépen, ami csak célmegjelölésre szolgál, és a bombázást egy másik repülőgépről hajtják végre.

Földi célok támadásánál a célmegjelölés helikopterről vagy szárazföldről is történhet. A megsemmisítést helikopterről rakétával vagy tüzérségi lövegekkel hajtják végre, amelynek végső szakaszán a célhelyesbítést a lézer segítségével oldják meg. Ahhoz, hogy a levegőből lehessen a célt megjelölni, nagyon jól stabilizált rendszerre van szükség, amihez különböző stabilizátorokat használnak fel. [6]

5.6 A különbségképző optikai célkoordinátorok működése

Mint azt már korábban említettem a lézeres félaktív optikai célkoordinátorok a lövedéket az optikai kvantum-generátor (lézer) által gerjesztett és a célról visszaverődött sugárnyaláb hatására létrejött foltra vezetik rá. A megfelelő nagyságú folt a kvantum-generátor által létrehozott sugárnyaláb légkörben való elmosódása során keletkezik. Ez az optikai rendszer kimenetének be rendezéseivel is elmosható. A sugarak általában minden irányba terjednek (szórt sugaras összetevő), azonban egy meghatározott irányba a terjedésük sokkal intenzívebb (tükrös összetevő). A visszaverődő sugárzás eloszlása a háttér milyenségétől, a cél anyagától és elhelyezkedésétől függ. Ha a célt megvilágító kvantumgenerátor impulzus üzemmódú, a rendszerben nem alkalmazhatók a korábban említett infravörös sugárzás érzékelését felhasználó jelmodulációs eljárások, mert ezek az impulzusok túl rövidek (néhány tized

ns), míg az ismétlődési periódusuk viszonylag hosszú (néhány tized sec). Ennél a berendezésnél a célkép koordinátáit az érzékelő elemek felületeinek különböző mértékű besugárzása segítségével lehet meghatározni. Sugárenergia vevő berendezésként érzékelő elemeket helyeznek el a fókusz síkban. Ezek csatornánként vannak párba kapcsolva, vízszintes csatornában 1-es és 2-es elem, illetve a függőleges csatornában lévő 3-as és 4-es elem. Ha a célkoordinátor hossz tengelye és a cél egy egyenesen van, akkor az összes érzékelő célkép által megvilágított felülete azonos nagyságú lesz, tehát nulla lesz a csatornák elempárjainak különbsége. Ha viszont a koordinátor x_K tengelye és a $\vec{D}$ távolságvektor nem esik egybe, akkor különböző mértékű lesz az érzékelő elemek besugárzott felülete. Ekkor a koordináta meghatározó csatornák kimeneti jele a különbséggel arányos lesz. Polaritásuk pedig az $\vec{x}_{K0}$ és $\vec{D}_{K0}$ vektorok eltéréseinek irányától függ. Az 32. ábra a különbségképző optikai célkoordinátor blokkvázlatát szemlélteti.



32. ábra A különbségképző optikai célkoordinátor blokkvázlata [7]

Különböző jelerősítő és jelfeldolgozó csatornák kezelik az érzékelők impulzusjeleit. Az impulzuserősítőn keresztül a jelek dinamikus rezgőkörre kerül-

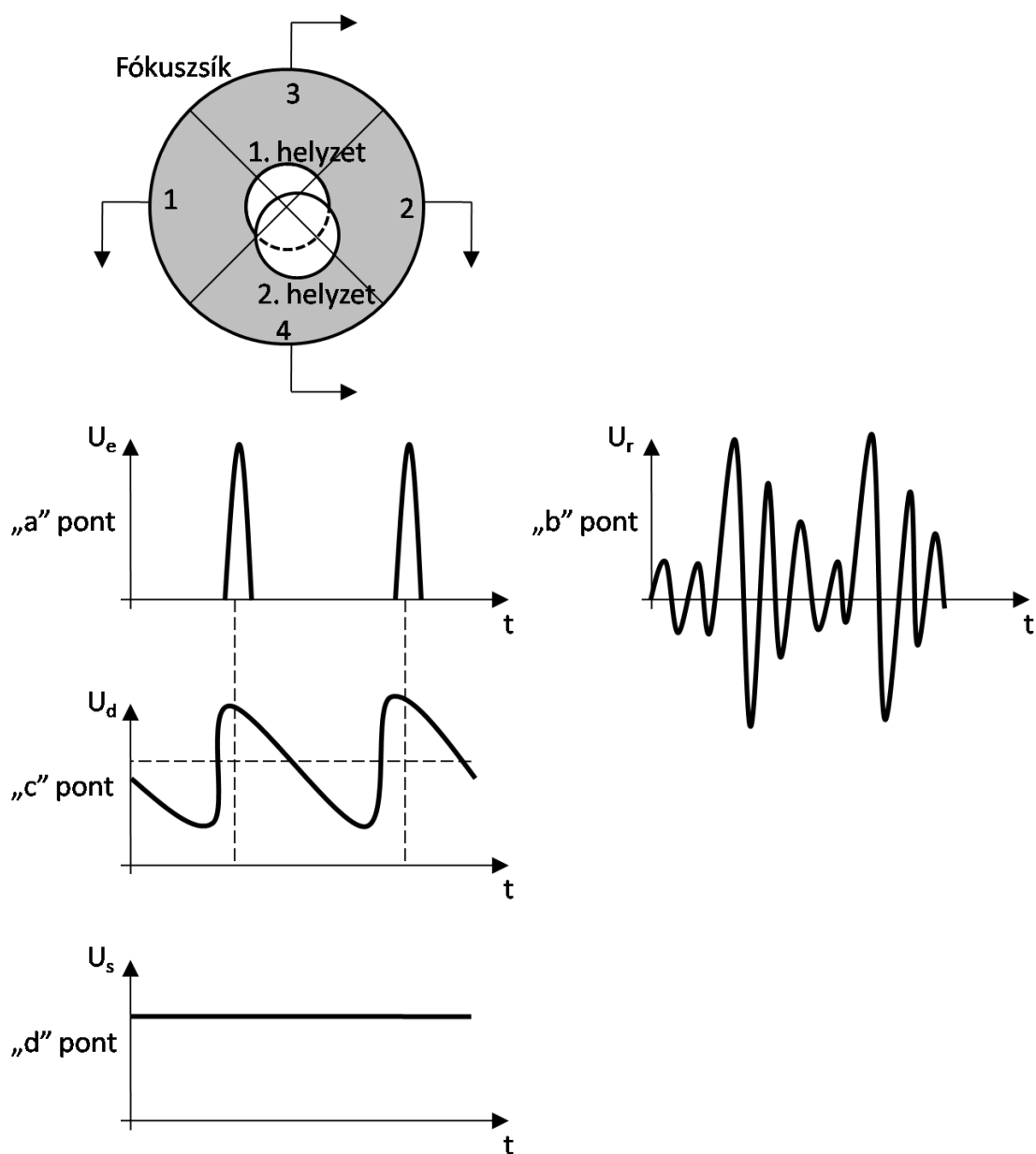
nek, melynek nagy a jósági tényezője. A túimpulzusok amplitúdójának különbségét nehéz megállapítani, ezért kellenek a rezgőkörök. Az impulzusok hosszának széthúzásával növelhető a koordináták mérésének a pontossága. A rezgőkör kimenetén szinuszosan váltakozó, rezonancia frekvenciájú jel jelenik meg a túimpulzus hatására. Az 32. ábrán látható blokkvázlatból látszik, hogy a célkoordinátákat derékszögű koordinátarendszerben mérik. Az áramköröket nem fontos minden érzékelő elektronikus blokkjába építeni, elég, ha a csatornák különbségképzői után bekötik őket.

A rezgőkör kimenetén keletkező rezgés amplitúdója exponenciálisan csökkenő, ideje pedig megfelelően hosszú (33. ábra: „a”, „b” pontok). Ez a feszültség erősítésre kerül, egy a rezgőkör rezonancia frekvenciájára hangolt erősítővel.

A rezgőkör jelének burkológörbéjét az amplitúdó detektor adja, ami az erősítőt követi (33. ábra: „c” pont). A detektor után lévő simító szűrő kimenetén megjelenő feszültség jele arányos a megfelelő érzékelő besugárzott felületével. A vízszintes és függőleges csatornák érzékelőinek kimeneteit a különbségképző áramkörre kapcsolva, annak kimenetén a fókusz síkban elhelyezkedő céljel koordinátaival arányos nagyságú jel keletkezik. Ezen jel polaritása a céljel eltérésének irányát jelöli (balra-jobbra, le-fel). A kapott jelek egyenfeszültségű erősítés után: $U_{vk}=k_v \cdot \rho_{k2}$, és $U_{fk}=k_f \cdot \rho_{k1}$.

Ha folyamatosan megvilágított a cél, akkor a korábban tárgyalt optikai célkoordinátorok alkalmazhatók, más fajta sugárenergia-vevő berendezéssel. A különbségképző optikai célkoordinátorok sugárenergia-vevő berendezései, a kvantumgenerátor által keltett jel hullámhosszának felelnek meg, és ebben a tartományban maximális színek érzékenységgűek. Egy keskenysávú diffrakciós szűrő segítségével, amit a vevő elé helyeznek, csak a kvantumgenerátor sugárzási tartományának megfelelő, infravörös jelek kerülnek az érzékelőkre.

A lézeres félaktív önrávezető fejjel rendelkező rakéták elterjedésének következménye, hogy a harckocsik sebezhetősége fokozódott. Ennek két típusa terjedt el: az egyiknél a célmegjelölő és a lövedék is egy hordozó-repülőgépen helyezkedik el, míg a másik típusnál a célmegvilágító sugárforrás a földön települ, és csak a megsemmisítő eszköz található a repülőgépen. Elég, ha a célmegjelölő látja a célt.



33. ábra Az elektronikus blokk, illetve a fókuszcsík pontjainak feszültségdiagramjai [7]

A lézeres önrávezető rendszerek nagy jelentősége még abban is megmutatkozik, hogy a nagy sebességgel mozgó repülőgépeknek nem marad ideje, hogy a földi, különösen az álcázott célokat felderítse. Ezt a földön települő például lövészegységek végzik. A repülőgép vezetőnek nem is fontos, hogy lássa a célt. Ha egyidejűleg több – egymás hatásterületét keresztező – célmegjelölő működik, azt kódrendszerrel tudják elkülöníteni. Így nem történik cél-

tévesztés. A mai hordozható célmegjelölők mérete és tömege már alig nagyobb egy gépkarabélyétól. [6]

5.7 A félaktív lézeres önirányítású rakéták elleni védelem

A különbségképző optikai célkoordinátorokat, lézeres zavaró-berendezésekkel lehet a célról eltéríteni. Ennek több módja is van, például, hogy a zavaró-berendezés jele a célról visszaverődve, eltéríti a követő-berendezést. Ennek feltétele, hogy a zavaró berendezés és a célmegjelölő berendezés azonos frekvencián üzemeljen.

Ködfüggöny létesítésével is zavarhatók az ilyen eszközök, mégpedig úgy, hogy a repülőgépek utánégetőjébe olyan anyagot juttatnak, ami a kipufogógázokkal plazmát alkot, ami jelentősen csökkenti a lézersugár energiáját, és megnehezíti a célkövetést.

Ha a lézeres célkövető eszköz irányába a zavaró-berendezéssel sugárzást bocsátanak, akkor az a légkör egyenetlenségein szétszóródva szintén rontja a cél megsemmisítésének lehetőségét. [6]

6. A TELEVÍZIÓS OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR

A televíziós optikai célkoordinátor elektronsugár segítségével jeleníti meg az optikai jeleket, nem a sugárenergia-vevő berendezésre érkező jelek elektromechanikus modulálásával. Ezért olyan berendezéseket helyeztek el az ilyen célkoordinátorokban, amelyek az elektronsugár eltérítését és szinkronizálását végzik. Emellett helyet kapott még egy televíziós képfelvevő elektroncső ebben a berendezésben, amely fotokatódja a fókuszsíkbán helyezkedik el. Kétféle eltérítő berendezést különböztetünk meg a képfelbontás módja szerint:

- spirális eltérítő berendezés;
- sor-kép eltérítő berendezés. [7]

6.1 A sor-kép eltérítésű koordinátor működése

Az elektronsugár képsoronként tapogatja le a látószöget és ezt képmezőnként ismétli. A látószögbe kerülő optikai kép hatására az elektronikus blokk kimenetén, a képelemek megvilágítottságának megfelelő amplitúdójú elektronikus jel keletkezik. A cél befogását és lekövetését megfelelő célmegjelölő- és célkövető berendezések végzik. A célmegjelölés és a befogás folyamatának ellenőrzését a rakéta indítása előtt a kezelő végzi, egy a koordinátorhoz kapcsolt videokontroll berendezés segítségével, amely a célt és a körülötte lévő háttérrel jeleníti meg. A célkép és követőrendszer jelének egyeztetését a kezelő végzi egy speciális irányítókar segítségével. A követőrendszer jele egy kisméretű négyszögablak, amely a videokontroll cső képernyőjén mozgatható, az irányítókarral. A célkép és a négyszögablak egyeztetése után megtörténik a célbefogás. Ekkor a koordinátor célkövető üzemmódra vált és ezután már a követőrendszer automatikusan végzi a „céljel-ablak” egyeztetést, és így az ablak koordinátaiból meg lehet határozni a célkép koordinátáit. Az optikai célkoordinátor tartalmaz még egy számító berendezést, amely a célkép és a y_K , z_K koordinátarendszer középpontjának eltérését mutató időköz átalakítását végzi (34. ábra).

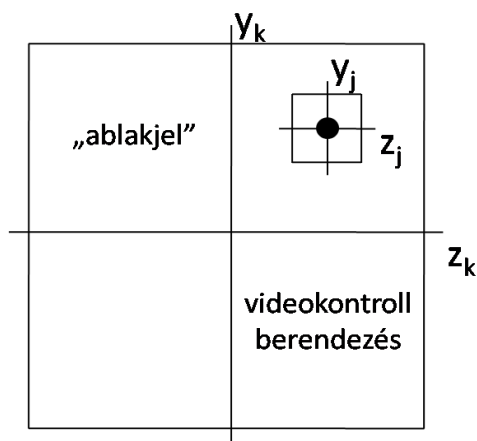
Ennél a megoldásnál sor- és képkitérítésben jön létre a jelek közötti időintervallum. A kisméretű cél helyzetét, a koordinátarendszer kezdeti idejét és az időközök határait megfelelő jelek határozzák meg. A cél helyzetét megadó

jel a képfelvevőcső kimenetéről leolvasható, a koordinátarendszer origójának jelét pedig egy speciális áramkör hozza létre. Az időközök mérése történhet analóg- vagy digitális berendezés segítségével.

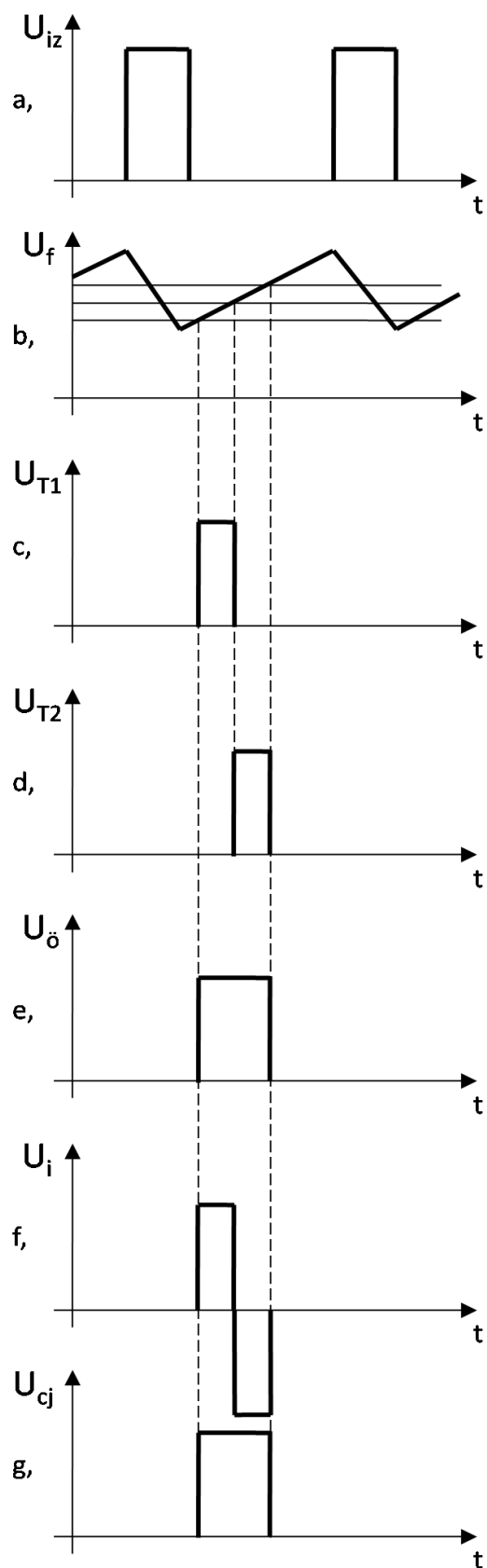
Analóg berendezés esetén rögzítésre kerül az a kitérő feszültség érték, amely a cél videoimpulzusának kezdetekor jelenik meg. A rögzítő áramkörnek két bemenete közül az egyikre a célkép videoimpulzusa, míg a másikra a kitérítő tekercs áramával azonos feszültség kerül. Ha nem érkezik impulzus, akkor az áramkör zárva marad, ha viszont megjelenik, akkor az áramkör kinyit és rögzíti a fűrészfeszültség akkori értékét. A koordinátákat (ρ_{K1} , ρ_{K2}) mérő berendezések egyforma érzékenységgűek.

Digitális berendezések esetén a mért időintervallumot számszerű értékke alakítják, mégpedig a mért koordinátáknak megfelelő időköz alatt áthaladó, számláló impulzusokat számolják. Az optikai célkoordinátorban legtöbbször alkalmazott megoldás a célkép elektronikus követése, egy indexes logikai követőrendszer segítségével. A rendszer kialakításától függően képes követni a célkép kontrasztos széléit, de célkép geometriai középpontját is, de van olyan rendszer is, ami először kisméretű célra követ, majd, ahogy közeledik, áttér a geometriai középpont követésére. Egyébként a geometriai középpont követése a legjellemzőbb.

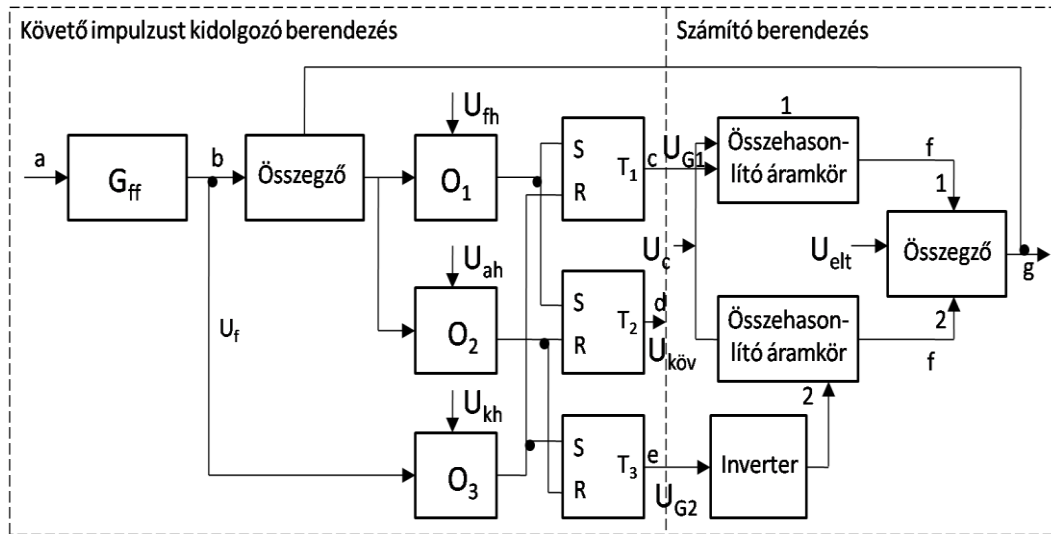
A célkép koordinátáit megadó követőindex lehet „követő-ablak” vagy „követő-célkereszt”. A 35. ábra egy követő impulzusokat létrehozó és követő-ablakot formáló berendezés blokkvázlatát szemlélteti. Az ablak, a célképet a képfelvevőcső fotokatódján hozza létre. Az ablak és a célkép egyeztetése a kezelő feladata a célmegjelöléskor. Ebben az esetben derékszögű koordináta-rendszerben történik a rendszer működésének vizsgálata. A berendezésben az y_c , z_c koordinátarendszer egyik tengelyét kialakító követőimpulzus formáló áramkör, az egyeztetetlenségi jelet kiválasztó áramkör, és egy számító áramkör is megtalálható.



Az egyeztetettlenségi jel a követőrendszer megfelelő tengelyének kezdőpontjához képest, megadja az impulzus helyzetét (pl.: vízszintes csatorna z_c tengelyéhez képest). A 34. ábrán látható U_f fűrészfeszültség generátort („b” diagram) a sorfrekvenciás U_{iz} kitérítést indító impulzusok indítják, majd a jel az egyösszegző áramkörön keresztül az O_1 és O_2 oszcillátorokra kerül. Az U_{fh} és U_{ah} küszöbfeszültségek (a célkép impulzusát felül, és alul határoló küszöbfeszültségek) kerülnek az oszcillátorok másik bemenetére. A követőimpulzusok hosszát U_{fh} és U_{ah} amplitúdója határozza meg.



34. ábra A célkép helyzete, és jeldiagramjai [7]



35. ábra A célkép televíziós jelfeldolgozó berendezésének blokkvázlata [7]

Az O_3 oszcillátor egyik bemenetére U_{fh} és U_{ah} középfértéke kerül, a másikkra pedig U_f feszültség.

$$U_{kh} = \frac{U_{fh} + U_{ah}}{2} \quad (12)$$

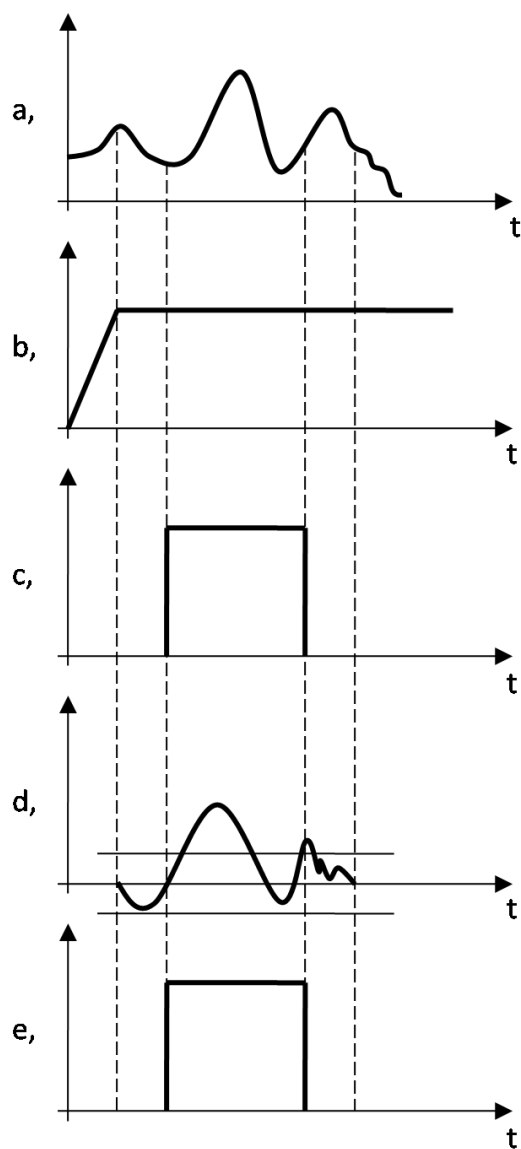
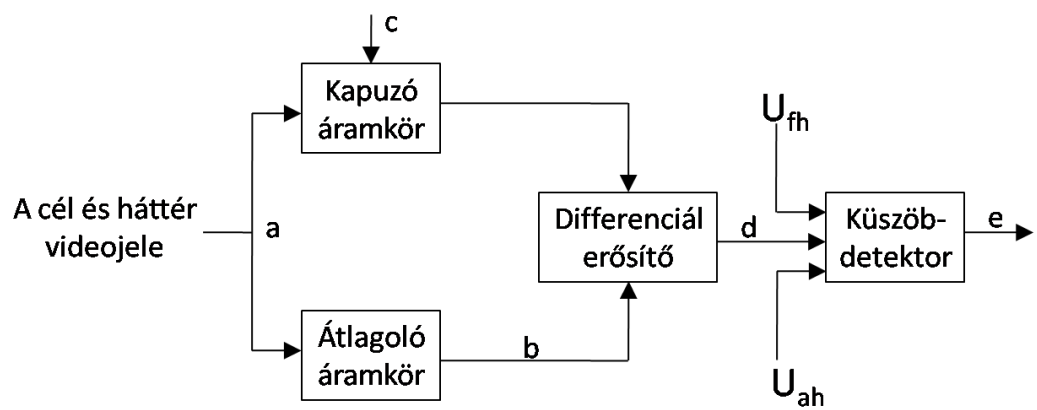
Az 34. ábra „c” és „d” diagramja az O_3 oszcillátor kimenetéről az első formált impulzus-, és a második impulzus lefutó élet mutatja. Ez a jel akkor keletkezik, ha U_f feszültség szintje eléri az U_{kh} -t. Az O_1 oszcillátor kimeneti impulzusa elindítja a T_1 triggert, az O_3 oszcillátor kimeneti impulzusa pedig visszaállítja eredeti helyzetébe. Az 34. ábra „c” diagramja mutatja a T_1 kimenetén megjelenő első követő impulzust. A T_2 triggert az O_3 oszcillátor kimenete indítja, és az O_2 kimenetének hatására billen vissza, és a kimenetén megjelenik a hátsó követőimpulzus, amit az 34. ábra „d” diagramja szemléltet. A T_3 trigger az O_1 oszcillátor kimeneti jelére indul, és O_2 kimeneti impulzusára kerül vissza alapállapotba. A T_3 kimenetén megjelenik az ún. kapuimpulzus, ami a rendszer követőimpulzusa és az $U_{köv}$ -el jelölik (34. ábra: „e” diagram). Az y_c tengelyen lévő másik csatorna ugyanígy hozza létre a követőimpulzust. Ezek a követőimpulzusok összeadódnak, és az összegzett jel, a videojellel az elektronsugárcső vezérlőelektródjára kerül, ami a videokontroll berendezésben található. Ekkor megjelenik a négyszögletes ablak képe a képernyőn - a

vezérlő elektródára adott jel polaritásának függvényében - a sötétől a világosig terjedő fényerőséggel.

Ezek után a T1 és T2 triggerekből érkező kimenő jelek a számító berendezésre kerülnek, méghozzá az összehasonlító áramkör első bemenetére. A cél videojelét előállító berendezés által létrehozott U_c feszültség kerül a másik bemenetre. Az összehasonlító berendezés kimenetei egy integrátorra kerülnek, úgy, hogy polaritásuk ellentétes, aminek az a szerepe, hogy így az egyik bemeneten lévő jel növeli, a másik csökkenti az integrátor kimenő feszültségét, ahogy azt az 34. ábra „f” diagramja mutatja. Az integrátor kimeneti jel lesz az egyeztetetlenségi jel, melynek amplitúdó változása változtatja, az U_f generátor kimenő egyenfeszültségi összetevőjét. Ennek hatására változik U_{ah} , U_m és U_f jelek egybeesésének pillanata. Emiatt a követőimpulzusok olyan módon mozdulnak el, hogy a negatív impulzus felfutó éle, és a pozitív impulzus lefutó éle fog egybeesni a videoimpulzus energetikai közepével. Ez a videoimpulzus a célkép helyét mutatja a vidokontroll berendezés képernyőjén (34. ábra: „g” diagram). A célmegjelöléskor a kezelő feladata a követőimpulzusok és a célkép egyeztetése, úgy, hogy az „ablakot” a célképre egyeztetési irányítókar segítségével, és ezáltal megváltoztatja az integrátor vezérlő feszültségét, vagyis az U_{elt} eltolási feszültséget.

A célkép videojele négyszögimpulzussá alakul, mielőtt a követő impulzusokat létrehozó berendezésre kerül. A célkép és az impulzus középpontja egybeesik. Az optikai zavarok, vagy az elektronikus blokk zajai, illetve a cél és a háttér kontrasztjának változásai jelentősen zavarhatják a cél hatásos követését, ezért csak a cél és a célt közvetlenül körülvevő háttér fényerőkülönbségével lehet arányos az átalakított impulzus amplitúdója. Az összehasonlításakor a háttér fényerejének középértékét kell figyelembe venni.

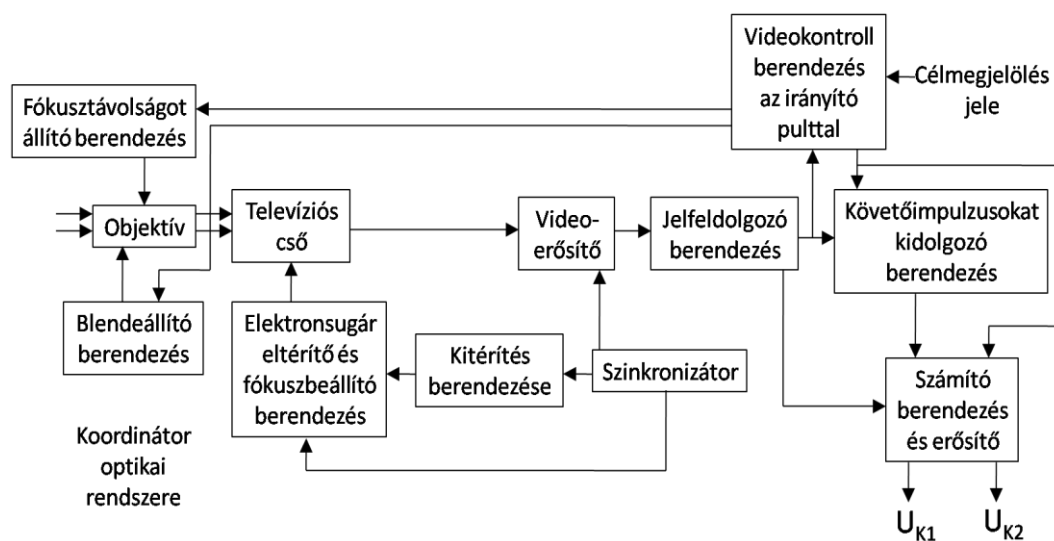
Az 36. ábra „a” diagramján látható jel a jelátalakító- és a kapuzó áramkör bemenetén ugyanakkor jelenik meg. A jelátlagoló áramkör meghatározza a bemeneti videojel középértékét a soronkénti kitérítés ideje alatt, és az így kapott jelet állandó referens feszültségként kezeli, és megjegyzi a feszültség szint középértékét („b” diagram). Abban a pillanatban, amikor megérkezik a sorkövető impulzus („c” diagram), a referens feszültség formálása megszakad.



36. ábra A célkép televíziós jelét feldolgozó berendezés blokkvázlata és jeldiagramjai [7]

A sorkövető impulzus a z_c tengelynek felel meg. Az így létrejött feszültség egy differenciál-erősítő egyik bemenetére kerül, a másik bemenetre pedig a követőimpulzus által kapuzott videojel megy. A két jel felerősített összege pedig a küszöbdetektor bementére kerül. Amint az összegjel a megadott U_{fh} és U_{ah} küszöbfeszültségek értékénél jobban meghaladja a referens feszültséget, megjelenik a cél unipoláris jele a detektor kimenetén („e” diagram). Az átlagoló áramkör időállandójának helyes megválasztása esetén, a referens feszültség szintje arányos lesz a háttér közepes fényerejével. A célkoordinátor objektívjének blendeszabályozóját használva, a kezelőnek be kell állítania a háttér közepes fényerejét, és az ezt felülmúló cél fényerőt még a rakéta indítása előtt. Ezekben a célkoordinátorokban a célképnek a fotokatódon való méretének növelése érdekében, valamint a háttér méretének csökkentése érdekében változtatható fókusztávolságú objektíveket alkalmaznak.

A televíziós optikai célkoordinátornak egy lehetséges blokkvázlata a 37. ábrán látható.[7]



37. ábra A televíziós optikai célkoordinátor blokkvázlata [7]

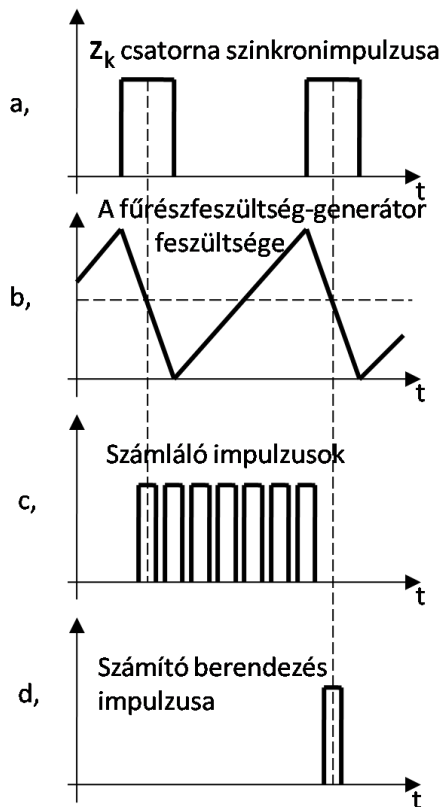
7. A MOZAIKRENDSZERŰ OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR

A mozaikrendszerű vagy sokelemes sugárenergia-vevőberendezéssel ellátott optikai célkoordinátorok biztosítják a legjobb védelmet a háttérsugárzások okozta zavarok ellen. A sugárenergia-vevőberendezés nagyszámú érzékelőinek mérete nem nagyobb néhány tized, vagy néhány század milliméternél. Mivel az objektív néhány tized milliméteres fókusztávolságú, a célkép helyzetének a mérési pontossága a fókuszsíkban, sokkal nagyobb, mint az egyéb célkoordinátorok esetében. Mindemellett a sugárenergia-vevőberendezés küszöbérzékenysége is nagyobb, $\sqrt{S_e}$ értékkel fordított arányosságban van, ahol S_e a különálló érzékelőelem területe. Emiatt jóval messzebből is megvalósítható a célbefogás. Ennek a technológiának az digitális elektronikus jelfeldolgozással való párosítása nagyon előnyös. Ha az érzékelők jeleit lézersugár segítségével olvassák le, akkor az S_e jelentősen csökkenthető. Hátránya abban mutatkozik, hogy minden elemhez kell kommunikációs vonal, és ez bonyolítja a gyártását. De a modern száloptikának, és a mikromodul integrált áramköröknek köszönhetően, megoldható a probléma, sőt még nagyobb mértékben lehet csökkenteni a méreteket ($S_e \approx$ a mikroszál keresztmetszetének területe). A célkép koordinátái elektronsugár segítségével is leolvashatók, de olyan számító berendezést is lehet alkalmazni, mely a célkoordinátát úgy határozza meg, hogy megadja az érzékelő elem sor és oszlop szerinti sorszámát. Az első lehetőségnél az érzékelőelemek egy speciális elektroncső katódján vannak elhelyezve, és ha az elektronsugár a katódnak arra a részére ér, ahol a célkép is van, akkor impulzusfeszültséggé alakul.

A célkoordinátor elektronikus blokkjai majdnem ugyanúgy működnek, mint a televíziós optikai célkoordinátoroké, a különbség csak annyi, hogy az előző koordinátor infravörös tartományban dolgozik. A használt sugártartomány hullámhosszának növekedésével, nő az elektroncső időállandója, ami bonyolultabbá teszi a konstrukciót, és ez nagy hátránya a koordinátornak.

A célkép koordinátáit olyan szinkronizáló berendezéssel is meg lehet határozni, amely analóg jelfeldolgozással, egy triggersorból álló számlálóra és egy

fűrészfeszültség-generátorra küld egyidejűleg impulzusokat. Az 38. ábra szemlélteti a berendezés működését.



Meg kell állapítani a mozaik sora szerinti z_k koordinátát (38. ábra: "a","b"). A trigger addig formál impulzusokat, míg a mozaik egyik sorában elhelyezkedő, besugárzott érzékelőről, a trigger második bemenetére meg nem érkezik egy záróimpulzus, ahogy azt az 38. ábra „c” diagramja szemlélteti. Ekkor a számláló létrehoz egy olyan jelet, amely a fűrészfeszültség pillanatnyi csúcsértékét határozza meg, amely amplitúdó a z_k koordinátával arányos lesz.

38. ábra A mozaikrendszerű optikai célkoordinátor számlálási módszerének diagramjai [7]

A másik koordináta esetén a számláló a mozaik sorainak számát határozza meg, mialatt a fűrészfeszültség-generátor minden sor leolvasási idejére biztosít feszültségértéket. Ha diszkrét a jelfeldolgozás, akkor nem kell fűrészfeszültség-generátor, mert ennél a módszernél a számláló addig továbbítja az elemek sor-számát meghatározó impulzusokat a számító berendezésbe, míg valamilyiken meg nem jelenik a célkép impulzusa. Ezek után a z_k és y_k koordináták szerinti impulzusok számának segítségével, megállapítható a cél helye. [7]

8. A KOMBINÁLT OPTIKAI CÉLKOORDINÁTOR

A kombinált optikai célkoordinátorok segítségével növelhető a cél koordinátáinak mérési pontossága, a működési távolság, a zavarvédetség, csökkenthető a sugárenergia-vevőberendezés méretei és tömege. Az ilyen koordinátorok mikromodul integrált áramkörökre épülnek. Ezeknél a berendezéseknél két vagy több hullámhossztartomány segítségével, illetve két különböző modulációs rendszert alkalmazva vagy kétféleképpen előállítva az egyeztetettlenségi jelet, megkapható a cél optikai jele, ellentétben az egyoptikás koordinátor megoldásaival. A koordinátor sugárenergia-vevőberendezésében két vagy több különböző optikai tartományban működő érzékelőket helyeznek el. Például ha nappal, kis magasságon üzemel a célkoordinátor, akkor a jobb zavarvédetség és a nagyobb működési távolság érdekében, érdemes középhullámú infravörös, illetve a látható fény tartományában üzemelő érzékelőket használni. Ha viszont a rossz időjárás miatt lecsökkennek a látási viszonyok, vagy az ellenség pirotechnikai zavarást alkalmaz, akkor a legcélszerűbb az infravörös hullámhossztartomány hosszú és közepes sávjában működő érzékelő alkalmazása. Ezekhez kétcsatornás elektronikus blokkokat kell használni, beépített csatornaváltóval, amely mindkét csatorna jel/zaj viszonyára megfelelően reagál. A berendezés azt a csatornát választja, amelyben a jel/zaj viszony nagyobb. A célkoordinátorban bármely korábban említett, egyeztetettlenségi jelet kidolgozó, vagy moduláló technológia alkalmazható. A legcélszerűbb olyan technika alkalmazása, amely két modulációt is végre tud hajtani, például: frekvencia-fázis, és amplitúdó-fázis modulációt. Rendelkeznie kell egy csatornakiválasztó berendezéssel. Ez lehetővé teszi a rakétarávezetés pontosságának növelését kis-, közepes, és nagy távolságokon is, egyetlen rakéta alkalmazásával. [7]

9. BEFEJEZÉS

Szakdolgozatomban többnyire a jelenleg a hadrendben lévő repülőgép fedélzeti megsemmisítő eszközökön alkalmazott optikai célkoordinátorokat jellemeztem. Az optikai célkoordinátorok általában kis hatótávolságú (max. 25 km) rakéták célkövető berendezései. Ezen a hatótávolságon nagyon jó találati valószínűséggel rendelkeznek. Már a hetvenes években kifejlesztett R-73-as rakéta is megfordította a kontakttalálatokkal és a célpont közelében közelségi gyújtóval elműködtetett rakéták által megsemmisített célok arányát. A korábban 10 optikai irányzóval szerelt rakétából körülbelül 1, 2 ért el kontakttalálatot, az R-73-asnál ez a szám már 8, 9.

A mai legmodernebb fegyvereken alkalmazott, illetve a későbbiekben fejlesztésre kerülő célkoordinátoroknál, az érzékenység még ennél is jobb lehet, újabb különleges anyagok, illetve a nanotechnológia alkalmazásának segítségével. A fejlesztések hatására és a célpont felderítésének távolsága jelentősen növelhető, és a jövőben az optikai célkoordinátorral rendelkező rakéták talán már alkalmasak lehetnek közepes hatótávolságokra is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Irányított Rakéta - Wikipédia a szabad lexikon (elektronikus dok) url:
http://hu.wikipedia.org/wiki/Ir%C3%A1ny%C3%ADtott_rak%C3%A9ta
- [2] Bill GUNSTON: Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi kiadó, 1995
- [3] LŐRINCZ Attila: Repülőfedélzeti fegyverzet Komplexum, Magyar Honvédség, Killán György Repülő Műszaki Főiskola, 1990
- [4] LŐRINCZ István: Az infravörös technika katonai alkalmazása, Zrínyi Katonai Kiadó Budapest, 1962
- [5] SZENTIDAY Klára: Félvezető fotodetektorok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977
- [6] V.A. ORLOV: Új eszköz a haditechnikában: A lézer, Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1981
- [7] KOCSI Sándor Attila: Optikai célkoordinátorok működése, ZMNE SzRfK FRT Szolnok, 2000, Szakdolgozat