

GYÁRFÁS ANDRÁS

Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola

Az optoelektronikai eszközökkel megvalósítható jelzésátvitel néhány elméleti és gyakorlati kérdése

ETO 546.681*19:621.384.3:621.391.63:621.376.53

Az utóbbi években az elektronika egyik speciális ágaként alakult ki és fejlődött jelentős mértékben az optoelektronika. Az optoelektronikus elemek és rendszerek a kvantummechanika, a fizikai optika és az elektronika eszközeit előnyösen egyesítik az információ előállítására, átvitelére, tárolására és megjelenítésére céljából. Azoknak a feladatoknak egy részét, amelyeket a hagyományos rádiótechnikai áramkörökben és elektronikus eszközökben a töltéshordozók mozgásából fakadó áram (elektronáram) végzett, az optoelektronikában a fény (fényáram) veszi át.

A fény a legnagyobb frekvenciájú elektromágneses hullám, amely egyszerű optikai eszközökkel befolyásolható (fókuszálható, reflektálható, modulálható, kapuzható, transzformálható, szűrhető stb.). Ezért az optoelektronikus eszközök és berendezések, amelyek a fényhullám előnyös tulajdonságait felhasználhatják, egyszerűbb felépítésük mellett működési sebesség, megbízhatóság, méretek és energiafogyasztás szempontjából kedvezőbb tulajdonságúak, mint a tisztán elektronikusak.

Az optikai csatolások jelentős egyszerűsítéseket tesznek lehetővé az elektronikus problémák megoldásában és a készülékek konstrukciójában.

Villamosan szétválasztják az elektronikus készülékek egységeit, amelyek között egyirányú optikai kapcsolatot létesítenek. Ezáltal megszűnik az információ visszaáramlásának, így a káros gerjedéseknek a lehetősége. Az egymástól függetlenített optikai és villamos csatornák különválasztják a vezérlő jeleket a működtető jelektől (pl. a fényvevők vezérlése optikai úton, a beavatkozás elektronikusan történik), ezért zavarérzékeny működést eredményeznek. A villamos összeköttetésről az optikai összeköttetésre való átmenet és fordított irányban is, frekvenciaváltással jár, így a zaj egyszerű szűrőáramkörökkel nagymértékben lecsökkenthető.

Az optikai csatolás az elektronikus egységek között egyenáramú elválasztást is lehetővé tesz, aminek következtében a transzformátorok elhagyhatók, sőt szükségtelenné válnak az egyes panelek közötti mechanikus csatlakozók is. Így kis helyfoglalású, miniatürizált, nagy megbízhatóságú konstrukciók kialakítása válik lehetővé.

Az optoelektronika legtöbbet ígérő alkalmazási lehetősége a hírközlő rendszerek területén van. Az optikai összeköttetés céljára az utóbbi években egyre jobban előtérbe kerülnek a passzív fényvezetők (száloptikák) kiváló mechanikai (kis méret, hajlékonyság, jó kezelhetőség) és villamos tulajdonságaik miatt. Várható, hogy a mikrohullámú összeköttetések mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a fényösszeköttetések, amelyek a legnagyobb működési sebességet ígérik.

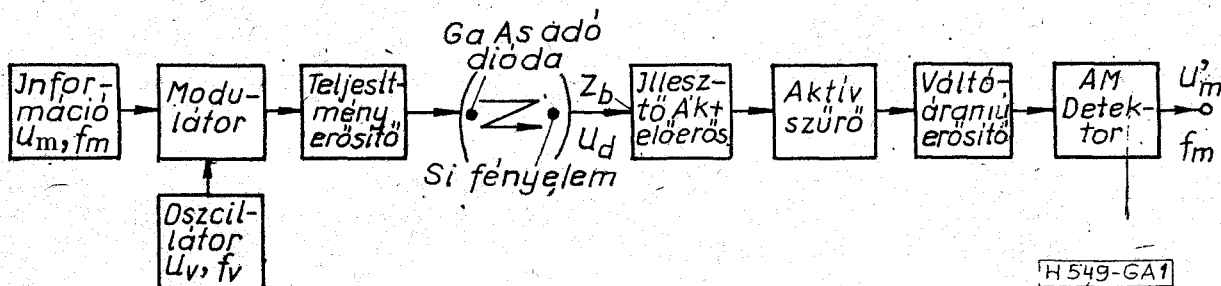
További nagy lehetőséget rejt magában az optoelektronika a gyorsműködésű számítógépek logikai egységeiben, különösképpen tárolórendszereiben. Ez utóbbinál a holográfia eredményét is felhasználják. Az optoelektronikus kijelző és eredménymegjelenítő áramköröket is igen elterjedten alkalmazzák.

Az optoelektronika elterjedését a fényvezetőkön kívül, a korszerű technológián alapuló, kisméretű optoelektronikus eszközök kifejlesztése biztosította, a fényvevők (fényellenállások, fényelemek, fotodiódák, fototranzisztorok stb.), de különösen az elektromosan vezérelhető fénysugárzók, a lumineszcens és a koherens fényt kibocsájtó lézer diódák.

A továbbiakban az optoelektronikus elemekkel felépíthető vezeték nélküli összeköttetések néhány kérdését vizsgáljuk.

A jelzésátviteli rendszer elvi felépítése

Az optoelektronikus eszközök alkalmazásának lehetőségei közül első lépésként az egyszerű felépítésű és viszonylag nagy távolság (50–100 méter) áthidalásá-



1. ábra. A jelátviteli rendszer tömbvázlata

ra alkalmas impulzus-amplitúdómodulált összeköttetést vizsgáljuk. Az összeköttetést megvalósító adó és vevő tömbvázlata az 1. ábrán látható.

Az oszcillátor által előállított f_v frekvenciájú négyszögjel f_m frekvenciájú négyszögjellel moduláltuk. A modulált jellel, teljesítményerősítés után, egy TIXL 14 típusú gallium-arsenid (GaAs) infrásugárzó diódát vezéreltünk, amelyet szükség esetén, a megfelelő iránykarakterisztika kialakítása érdekében, optikával is kiegészítettünk.

A GaAs által kibocsájtott infrásugárzást egy TP 60 Si fényelemmel érzékeltük, amelyet illesztő áramkör segítségével csatlakozik egy kiszajú előerősítőhöz. Ezt aktív szűrő követi, amelynek feladata a vívőfrekvenciától eltérő frekvenciájú zavarok és zajok kiszűrése. Az aktív szűrő kimenetén megjelenő, vett modulált jelet egy váltakozóáramú impulzuserősítőre vezetjük, amely az utána következő párhuzamos AM detektor számára a megfelelő szintű jelet biztosítja. A párhuzamos detektor egyenirányítja a jelet, az egyenirányított jelről aluláteresztő szűrő segítségével választhatjuk le a moduláló jeltartalmat.

Az infrásugárzó és beállítása

Az optikai kapcsolat létrehozására szolgáló TIXL 14 típusú GaAs lumineszcens dióda nyitófeszültség hatására keskeny sávban nagy intenzitású (60–100 mW) infravörös fényt emittál. Ennek a félvezető eszköznek az élettartama csaknem korlátlan, működési sebessége igen nagy, közel 1 MHz frekvenciájú jellel modulálható.

Szerkezetét tekintve meza szigetelésű, félgömb alakú, növesztett p–n átmenet. Nyitóirányú előfeszítés hatására az n rétegből elektron injektálódik a p rétegbe és rekombináció következtében fénykvantumokat (fotonokat) emittál. Az így keletkezett spontán sugárzás a lézersugárzástól eltérően nem koherens, de keskenysávú, csaknem monokromatikus. Így a környezeti zajok csökkentésére a vevőoldalon optikai szűrő előnyösen alkalmazható. Felépítése szilárd, zárt, mechanikai igénybevételnek jól ellenálló.

A GaAs sugárzást az adó teljesítményerősítő fokozatának végén levő, a modulált jelfeszültséggel vezérelt áramgenerátor táplálja és azon I_F csúcsertékű áramimpulzusokat kényszerít át (2. ábra).

Az I_F nyitóáram ismeretében a 3a. ábrán látható, katalógusban [1] megadott diagram segítségével, adott hőmérsékleten, meghatározható a kisugárzott optikai teljesítmény P_0 .

Ebből a görbeseregéből egyszerűen kiszerezhető a kisugárzott teljesítmény a nyitóáram függvényében

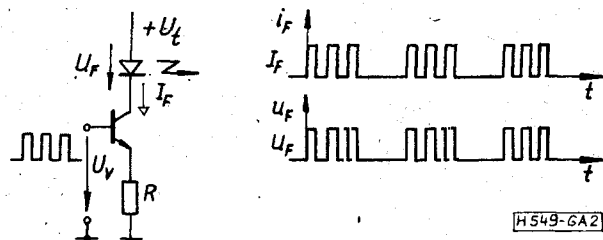
(3b ábra), ha egy adott T_0 hőmérséklethez tartozó függőleges egyenes mentén az összetartozó P_0-I_F értékeket ábrázoljuk.

A P_0-I_F görbéből kitűnik, hogy a GaAs által kisugárzott teljesítmény kis nyitóáramoknál közel lineárisan nő a nyitóáram függvényében. A lineáris szakaszon 0,1 mW/mA kisugárzott teljesítmény-növekedéssel számolhatunk.

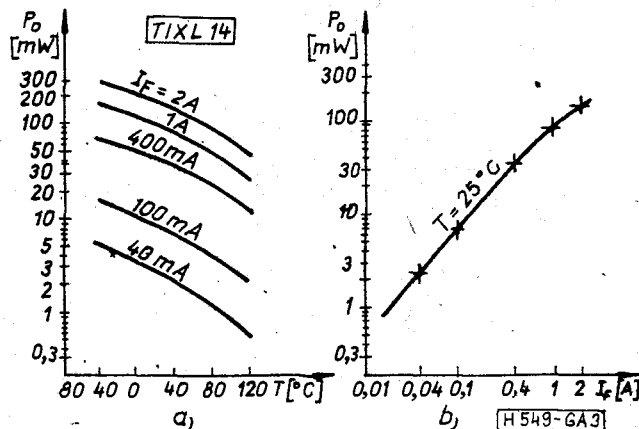
Nagyobb áramértéknél (kb. 1 A felett) az optikai teljesítmény nem nő lineárisan, a jellegzőbe telítődési jelenséget mutat. Ennek oka a hatásfok csökkenése. A hatásfokot az optikai teljesítmény és a befektett villamos teljesítmény ($U_F I_F$ szorzat) hányadosaként definiálják:

$$\eta_P = \frac{P_0}{I_F U_F}$$

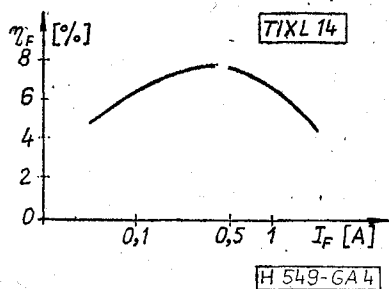
A 4. ábrán feltüntetettük a teljesítményhatásfok változását a nyitóáram függvényében. Ennek maximuma (8%) TIXL 14 esetében $I_F=0,5$ A-nél van. Az optikai teljesítménynek a növelése $I_F=1$ A nyitóáram felett a teljesítményhatásfok jelentős csökkenésével jár.



2. ábra. Az infrásugárzó (GaAs) adódióda-vezérlő áramköre



3. ábra. Az adódióda optikai teljesítmény-nyitóáram karakterisztikája



4. ábra. Az adódióda teljesítményhatásfok-nyitóáram karakterisztikája

A hőmérséklet növelésével a kisugárzott teljesítmény csökken. A tervezés szempontjából jó közelítéssel lineárisnak tekinthető ez a csökkenés. A kisugárzott optikai teljesítmény $-80\text{ }^\circ\text{C}$ -on kétszeresére nő a $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on mutatott értékhez képest, $+80\text{ }^\circ\text{C}$ -on pedig a felére csökken.

Magas hőmérsékleten, $80\text{ }^\circ\text{C}$ felett, nemcsak a kisugárzott teljesítmény, hanem a $P_0 - I_F$ karakterisztika linearitása is romlik.

A hatótávolság és az eszköz csúcsárama közötti kapcsolat

Az infraösszeköttetés hatótávolságának megnövelése céljából szükséges lehet az eszközt maximális teljesítménnyel igénybe venni. A maximális teljesítményhez tartozó nyitó egyenáramot (I_{FM}) a katalógusban megadják. Impulzussorozattal történő gerjesztés esetén a kitöltési tényező (γ) csökkentésével ennek többszöröse is elérhető. Azonos teljesítményhez tartozó csúcsáram (I_F) a kitöltési tényezőtől függ:

$$I_F = \frac{I_{FM}}{\gamma}$$

Szelektív rendszer esetén, amilyen a PAM, nem a csúcsérték, hanem az alapharmonikus amplitúdója hoz létre a vevőben hasznos jelet. A γ kitöltési tényezőjű, I_F amplitúdójú impulzussorozat spektrumának diszkrét amplitúdóértékét az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$I_n = 2I_F\gamma \frac{\sin n\pi\gamma}{n\pi\gamma}$$

Az alapharmonikus nagysága ($n=1$) a kitöltési tényező függvényében:

$$I_1 = 2I_F\gamma \frac{\sin \pi\gamma}{\pi\gamma}$$

I_1 összefüggésében látható, hogy az alapharmonikus amplitúdója γ -tól nem lineárisan, hanem $\frac{\sin x}{x}$ függvény szerint függ. Az $I_F\gamma$ szorzat állandó, mivel I_F növelése γ ugyanolyan mértékű csökkentésével válik lehetővé. Az 5. ábrán feltüntetjük a relatív alapharmonikus áramamplitúdó γ -tól való függését.

Az ábrából látható, hogy ha γ -t csökkentjük (és I_F -et növeljük), az alapharmonikus amplitúdó csak kismértékben nő. A 0 kitöltési tényezőhöz tartozó alapharmonikus amplitúdóérték azonban, a $\frac{\sin x}{x}$

függvénynek megfelelően, a $\gamma = \frac{1}{2}$ értékhez tartozóknak csak 1,572-szerese. Áramkörünkben a kitöltési tényező csökkentéséből adódó csúcsáram növelést nem használtuk ki, $\gamma = \frac{1}{2}$ -et állítottunk be.

A sugárerősség és irányfüggése

Pontszerű sugárzó esetén — amilyenek a GaAs tekinthető a tőle távol levő detektortól — a sugárzó I_e sugárerősséggel, vagyis adott irányban (a detektor irányában), az egységnyi térszögbe kisugárzott teljesítménnyel is jellemezhető:

$$I_e = \frac{dP}{d\Omega} \left[\frac{\text{watt}}{\text{szteradián}} \right]$$

A térszög (Ω) a fénytechnika egyik alapfogalma. Pontszerű gömbsugárzó esetén a besugárzott rész felületének (F) és a sugár (R) négyzetének viszonyából határozható még:

$$\Omega = \frac{F}{R^2}$$

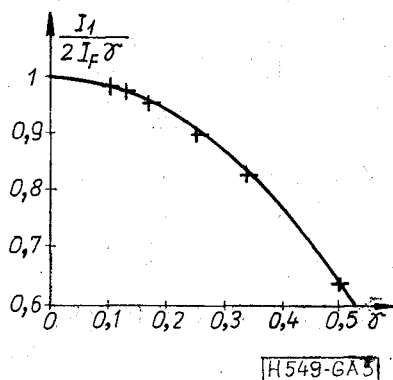
Egy szteradián (sr) a gömbsugár négyzetével egyenlő területű gömbfelületrészhez tartozó középponti térszög mértékegysége. Gömbsugárzó esetén a teljes gömbfelülethez

$$\Omega = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ [sr]}$$

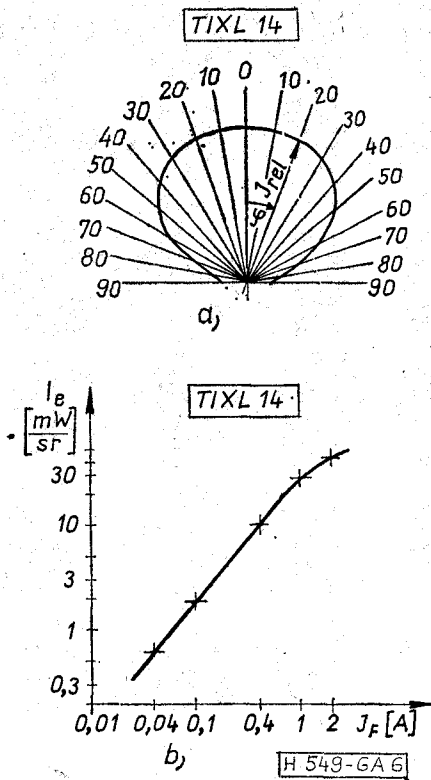
tartozik.

A sugárzó nem minden irányban sugároz azonos sugárerősséggel. Irányfüggőségét a relatív sugárerősség polárdiagramjával jellemzik, amely a sugárerősséget (a főirány sugárerősségéhez viszonyítva) a főiránnyal bezárt szög függvényében tünteti fel (6a ábra).

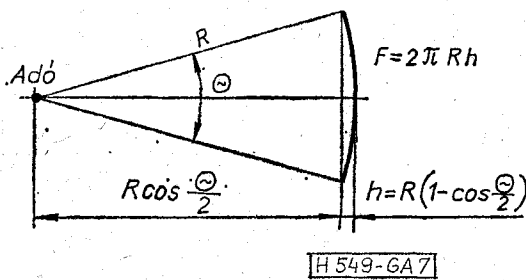
A főirány sugárerősségének értékét a katalógusok megadják vagy egy munkapontban, vagy a nyitóáram függvényében. TIXL 14 esetében I_e minimális értéke $22 \frac{\text{mW}}{\text{sr}}$, 1 A nyitóáramnál. A sugárerősség értéke a nyitóáram függvényében természetesen ugyanolyan jelleggel változik, mint a kisugárzott teljesítmény (6b ábra).



5. ábra. A vett fényáram alapharmonikusának függése a kitöltési tényezőtől



6. ábra. a) A sugárerősség polárdiagramja és b) nyitóáram függése



7. ábra. Sugárzó iránykarakteristikájának gyakorlati közelítése

Egyszerű számíthatóság érdekében a gyakorlatban a pontszerű sugárzó iránykarakteristikája egy olyan körkúppal közelíthető, amelyek Θ kúpszöge a félteljesítményű, 3 dB-es pontokhoz tartozó szög, sugárerőssége pedig a főirány sugárerőssége (7. ábra). Ennél a besugárzott felület egy gömbsüveg felülete:

$$F = 2\pi R h,$$

ahol h a gömbsüveg magassága:

$$h = R \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right).$$

A körkúp felületéhez tartozó térszög:

$$\Omega = \frac{F}{R^2} = \frac{2\pi R h}{R^2} = \frac{2\pi R^2 \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right)}{R^2} = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right).$$

Tehát egy Θ kúpszög alatt sugárzó fényforrás sugárerőssége:

$$I_e = \frac{P}{\Omega} \cong \frac{P}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right)}. \quad (1)$$

Az optika szerepe a sugárerősség megnövekedésében

Amennyiben nem szükséges hogy nagy térszögben sugározzunk, akkor egy optika (lencse vagy parabola-tükör) alkalmazásával a kisugárzott nyaláb szűkíthető. Ennek következtében a sugárerősség megnő. Ha a sugárnyaláb kúpszögét $\Theta = \alpha$ -ról $\Theta = \beta$ -ra szűkítjük (8a ábra), a sugárzónak a lencse vagy tükör fókuszából való elmozgatásával a sugárerősség

$$I_{e\alpha} = \frac{P_0}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)} \text{ -ről } I_{e\beta} = \frac{P_0}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right)} \text{ -re}$$

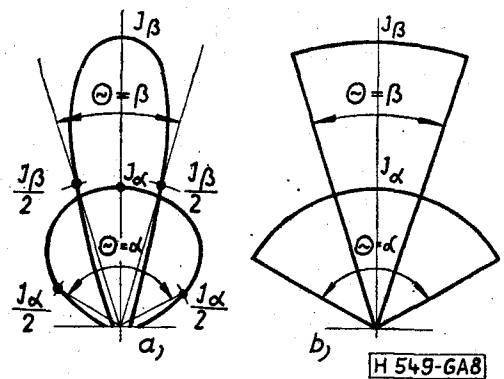
nő.

A megnövekedett sugárerősség következtében előálló N nyereség a 8b ábra alapján:

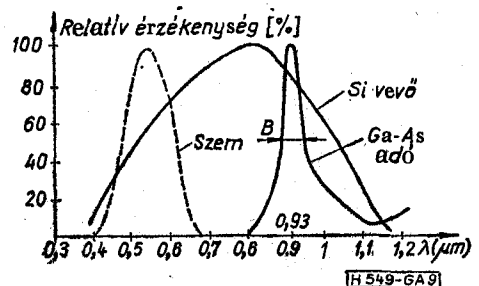
$$N = \frac{I_{e\beta}}{I_{e\alpha}} \cong \frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{1 - \cos \frac{\beta}{2}}.$$

A fotodetektor megválasztása és megvilágítása

A TIXL 14 GaAs lumineszcens dióda spektrális karakterisztikájához jól illeszkedik a TP 60 szilícium fényelem viszonylagos érzékenysége spektrális karakterisztikája (9. ábra).



8. ábra. A sugárerősség növelése fókuszálással: a) valóságos karakterisztika, b) közelítése



9. ábra. Az adódióda teljesítményének és a vevőelem érzékenységének spektrális karakterisztikája

A GaAs dióda spektrumgörbéjének csúcsa $\lambda=930$ nm-es hullámhossznál van. Itt a szilícium fényelem relatív érzékenysége 97%-os. Az ábrából jól látható, hogy a GaAs félteljesítményhez tartozó sáv szélessége kicsi ($B=35$ nm) a Si érzékenységi sávjához képest. Ezért az optikai zavarok kiszűrésére infraszűrő hatásosan alkalmazható.

A pontszerű fényforrásnak tekinthető, α kúpszögű sugárnyalábot kibocsájtó GaAs adódiódától R távolságban elhelyezett, A felületű fényelem felület-egységére eső energiája, másnéven a megvilágítása, a 10. ábra alapján határozható meg.

Kiindulva a megvilágítás $E = \frac{dP}{dA}$ összefüggéséből, és felhasználva a $dA = r^2 d\Omega$ és $s = \frac{dP}{d\Omega}$ összefüggéseket, a megvilágítás:

$$E = \frac{dP}{dA} = \frac{dP}{R^2 d\Omega} = \frac{I_e}{R^2}$$

I_e értékébe behelyettesítve az (1) összefüggést:

$$E = \frac{P}{2\pi R^2} \frac{1}{1 - \cos \frac{\theta}{2}} \quad (2)$$

A szorzat első tényezője egy félgömb sugárzó okozta megvilágítás, a második tényező a fókuszálás következtében fellépő megvilágítás-növekedésre utal. Ennek értékét a félkúpszög függvényében a 11. ábra tünteti fel.

A (2) összefüggésből és a 11. ábrából látható, hogy ideális fókuszálás $\frac{\theta}{2} \rightarrow 0$ esetén $\frac{1}{1 - \cos \frac{\theta}{2}} \rightarrow \infty$,

vagyis a megvilágítás független a távolságtól. $\frac{\theta}{2} = \frac{\pi}{2}$ esetén $\frac{1}{1 - \cos \frac{\theta}{2}} = 1$, a megvilágítás egy

félgömb sugárzó okozta megvilágítással egyenlő, amely a távolság négyzetével csökken.

A fotodetektorokra a katalógusok megadják az:

$$S = \frac{dI}{dE}$$

transzfer jellemzőt, amely megadja a megvilágítás megváltozásához tartozó rövidzárási áram változását. Ez az érték a TP 60 fényelemnél $1 \mu A/lux$.

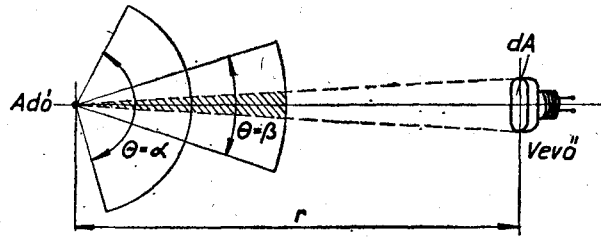
Tekintve, hogy az emberi szem az infrásugárra gyakorlatilag érzéketlen, célszerű a megvilágítás értékét a katalógusban megadott $\mu A/lux$ érték helyett a szem fiziológiai tulajdonságait figyelmen kívül hagyó mértékegységben, W/m^2 -ben meghatározni.

Az eszköz E megvilágításának hatására meghatározható a rövidzárási áram:

$$I = SE$$

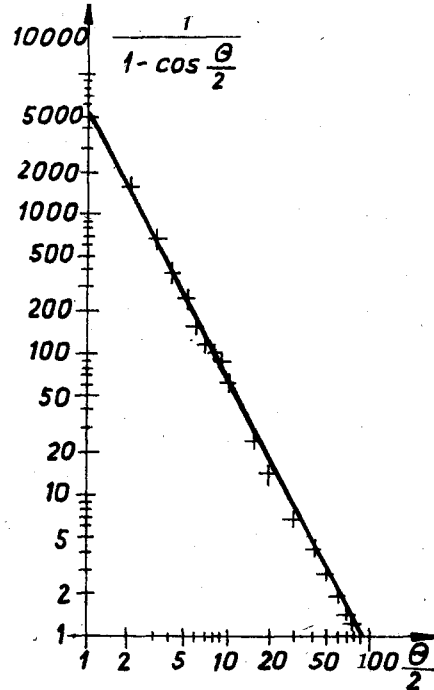
Ennek, valamint az ezt követő átviteli lánc (szelektív vevő) transzfer jellemzőinek ismeretében meghatározható a kimeneti jel nagysága.

A fényelem rövidzárási árama függ a sugárzás irányától is. A 12. ábrából látható, hogy az alkalmazott



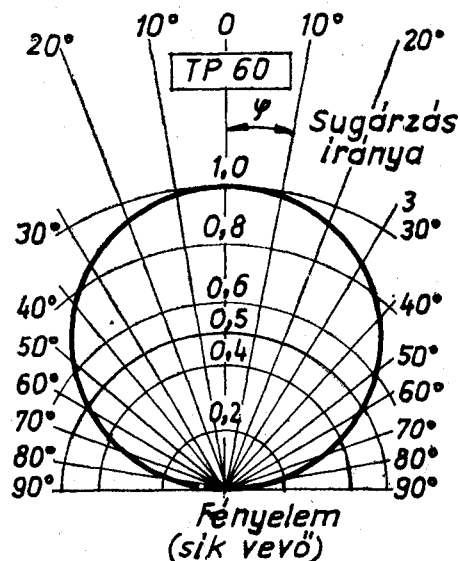
H 549-GA 10

10. ábra. A fényelem megvilágításának meghatározása



H 549-GA 11

11. ábra. A fókuszálás következtében fellépő megvilágítás-növekedés



H 549-GA 12

12. ábra. A fényelem iránykarakterisztikája

TP 60 iránykarakterisztikája igen széles, adott megvilágítás esetén $\Delta\varphi=90^\circ$ -os irányváltoztatás esetén csökken csak az I_r áram értéke 3 dB-lel.

A fotoelem illesztése és az átviteli karakterisztika

Igen lényeges a fotodetektor megfelelő illesztése az őt követő fokozathoz. A kívánt illesztéssel biztosítható az optikai és villamos zavarok kiszűrése, a kedvező jel-zaj viszony, sáv szélesség és határfrekvencia beállítása.

Működését tekintve a fényelem egy olyan pn átmenet, amelynél a fotonok abszorpciója következtében keletkező elektron-lyuk párokat az átmenet diffúziós potenciálja úgy szeparálja, hogy a p oldal pozitívvá, az n oldal negatívvá válik, így az átmeneten a megvilágítással arányos nyitó irányú áram folyik. A 13a ábrán látható a fényelem működési mechanizmusának megfelelő helyettesítő kép. Az abszorbeált fotonok által előidézett áramot az I_g forrásáramú áramgenerátor képviseli, amelynek árama megoszlik a pn átmenet és a terhelő ellenállás között. A 13b ábrán az ideális pn átmenetet r_0 differenciális ellenállással ($U=0$ esetén) és C_j rétegekapacitással helyettesítettük. Adott megvilágítás esetén a terhelésen fellépő áram a frekvenciától az alábbi összefüggés szerint változik:

$$I(\omega) = I(0) \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_H}}$$

ahol:

$$\omega_H = \frac{I}{\tau} = \frac{I}{C_j(r \times r_t)} = \frac{1}{C_j r}$$

A TP 60 relatív áramának frekvenciafüggése a 15b ábrán látható.

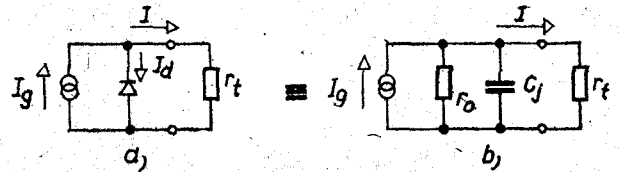
A fényelem helyettesítő kapcsolásából, illetve a határfrekvencia összefüggéséből látható, hogy a terhelő ellenállástól jelentősen függ az eszköz határfrekvenciája. Két szélsőséges eset különböztethető meg. Ha a terhelő ellenállás kicsi ($r_t \ll r_0$, rövidzárási üzem), akkor a határfrekvencia megnő: $\omega_H = \frac{1}{r_0 C_j}$,

azonban a terhelésen kis feszültség keletkezik. Nagy terhelő ellenállás esetén ($r_t \gg r_0$, üresjárású üzem) a kimeneti feszültség egy adott megvilágítás esetén maximális, a határfrekvencia viszont a legkisebb:

$$\omega = \frac{1}{r_0 C_j}$$

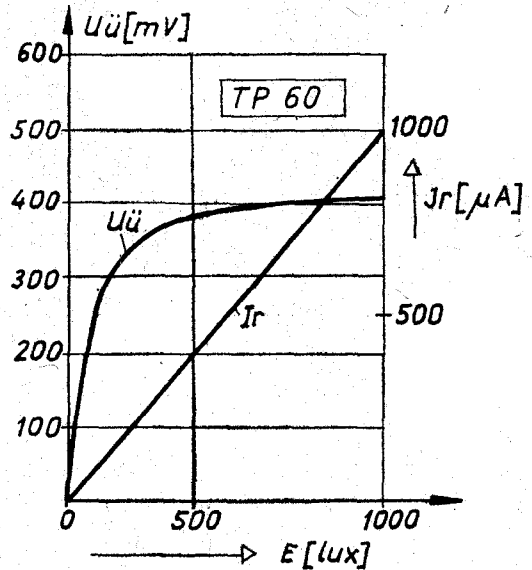
A két különböző üzemmód jelentős eltérést mutat a megvilágítás szempontjából is. A 14. ábrán látható a TP 60 U_u üresjárású feszültségének, illetve I_r rövidzárási áramának az E megvilágítástól való függése.

Az ábrából látható, hogy amíg növekvő megvilágítás esetén ($E=200$ lux felett) az U_u görbe telítődik, addig I_r görbéje lineárisan nő. Ebből az következik, hogy egy szabadtéri infraösszeköttetés esetén, ahol a külső megvilágítás igen nagy lehet (napos idő esetén $10^3 - 10^4$ lux), az igen kis szinten érkező hasznos megvilágítás csak rövidzárási üzemben ad áramváltozást, üresjárású üzemben a karakterisztika telítettsége miatt nem keletkezik hasznos váltakozó feszültség.



H 549-GA 13

13. ábra. A fényelem helyettesítő képe



H 549-GA 14

14. ábra. A fényelem rövidzárási áram- és üresjárású feszültség-megvilágítás karakterisztikája

Ezért az illesztő áramkör bemeneti impedanciájának a zavaró külső megvilágítás okozta telítődés elkerülése végett egyenáramú szempontból rövidzárakat, ugyancsak a hasznos jelre (mivel azt kis megvilágítás okozza) optimális ihpedanciát kell mutatnia.

Optimálisnak tekinthető az a maximális impedancia, amellyel az eszköz határfrekvenciája nem csökken a vívőfrekvenciánál kisebb értékre.

E követelményeket egyszerűen és hatásosan teljesítő illesztő áramkörhöz úgy jutunk, ha az eszközzel párhuzamosan egy L induktivitást kapcsolunk (15a ábra), amely a fényelem C_j kapacitásával az f_v vívőfrekvenciára hangolt rezgőkört képez.

Az így kialakított kapcsolás átviteli karakterisztikája a 15b ábrán látható, egyenlete:

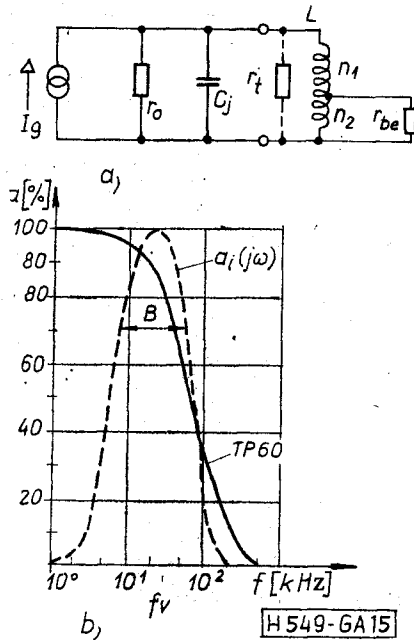
$$a_1(j\omega) = \frac{I_g Z(j\omega)}{I_g r} = \frac{\frac{j\omega}{Q_{ot} \omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q_{ot} \omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{1}{1 + jQ_{ot} \eta}$$

ahol:

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_v$ a rezonancia-frekvencia,

$\eta = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}$ a relatív elhangolás,

$Q_{ot} = \frac{r}{\omega L} = \frac{r_0 \times r_t}{\omega L}$ a terhelő jósági tényező,



15. ábra. a) Fényelemet illesztő áramkör és b) átviteli karakterisztikája

A rezgőkört terhelő r_t ellenállást úgy kell megválasztani, hogy a Q_{ot} által meghatározott sávzélesség:

$$B = \frac{f_0}{Q_{ot}}$$

az átviendő információnak megfelelő legyen.

Az illesztő-szűrőt követő kiszajú előerősítő fokozat r_{be} bemeneti ellenállásának megfelelő megválasztásával, illetve a rezgőkör induktivitásának kívánt megcsapolásával állítható be a megfelelő terhelő ellenállás:

$$r_t = r_{be} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_2} \right)^2$$

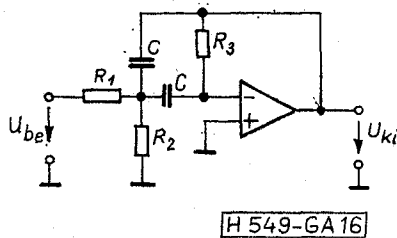
Az illesztő áramkör tehát az eszköz nagy belső kapacitásának induktív elemmel történő kihangolásával létrehozott rezgőkör, amely egyenáramra rövidzár, a hasznos jelre maximális átvitelt biztosít, és megfelelően megválasztott jósági tényezőjével beállítja a rendszer sávzélességét is.

A szelektív illesztő áramkör kedvező a zavarok kiszűrése, illetve a zaj csökkentése szempontjából is, mivel az ellenállásaj

$$\overline{u_z^2} = 4kT r B$$

és a sörétzaj

$$\overline{i_z^2} = 2qIB$$



16. ábra. Az átviteli karakterisztikát beállító aktív, másodfokú sávszűrő alaptag

is a sávzélességtől függ, amely a szelektív, amplitúdomodulált rendszereknél a legkisebb.

Amennyiben az illesztő áramkör jósági tényezője, illetve sávzélessége nem állítható be a kívánt mértékben, mivel ezeket befolyásolják a fényelem jellemzői (r_0, C_j) és a választott f_v vivőfrekvencia, akkor a megfelelő sávzélesség beállítására egy további szelektív áramkör alkalmazása is szükségessé válik. Berendezésünkben a 16. ábrán látható másodfokú sávszűrő alaptagot alkalmaztunk, ennek átviteli karakterisztikája azonos a párhuzamos rezgőkörével:

$$a_{sz}(j\omega) = \frac{A(j\omega)}{A_0} = \frac{\frac{j\omega}{Q_0\omega_0}}{1 + \frac{j\omega}{Q_0\omega_0} - \frac{j\omega^2}{\omega_0^2}} = \frac{1}{1 + j\eta Q}$$

ahol az erősítés sávközépen:

$$A_0 = -\frac{R_3}{2R_1}$$

A sávközép (rezonancia) körfrekvencia:

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_3(R_1 \times R_2)}}$$

és a jósági tényező:

$$Q_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R_1 \times R_2}}$$

Az eredő átviteli karakterisztikát az illesztő- és az aktív szűrő együttesen határozza meg:

$$a_e = a_i(j\omega) \cdot a_{sz}(j\omega)$$

Az eredő sávzélesség az átviteli karakterisztikából meghatározható.

A két kör sávzélességét azonosra választva, az az eredő sávzélesség a szinkronhangolt rezgőkörökre érvényes összefüggéssel számítható:

$$B_{er} = B \sqrt{\frac{1}{2^n} - 2}$$

A szükséges sávzélességet az átvinni kívánt jel-sorozat határozza meg. T_1 szélességű és T periódusidejű impulzussorozat vételéhez $\frac{1}{T_1}$ frekvenciájú összetevő átvitele általában elégséges. Figyelembe véve, hogy az amplitúdomodulált rendszer megfeleltethető egy ekvivalens alapsávi rendszernek, a burkoló detektor nem jelentős lineáris torzításait is figyelembe véve a $\frac{3}{T_1}$ összetevő átvitelével az impulzus alakhú visszaállítása megvalósítható. Kétoldalsávós moduláció esetén a szükséges sávzélesség:

$$B_{sz} \approx 2 \cdot \frac{3}{T_1} = \frac{6}{T_1}$$

Jelen alkalmazásban az $f_m = 200$ Hz-es ($T = 5$ ms, $T_1 = 2,5$ ms) impulzussorozat átviteléhez ily módon szükséges sávzélesség:

$$B_{sz} = \frac{6}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 2,4 \text{ kHz}$$

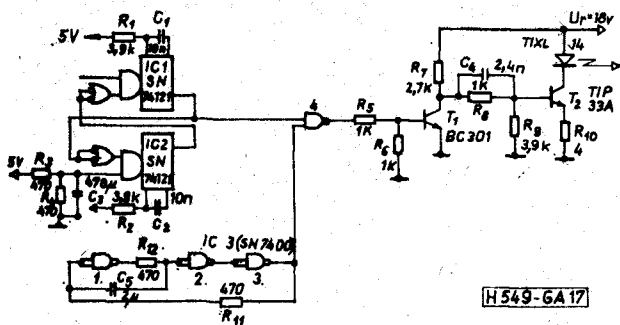
A jelzésátviteli rendszer gyakorlati megvalósítása

A továbbiakban a jelátviteli összeköttetés gyakorlati megvalósítását ismertetjük.

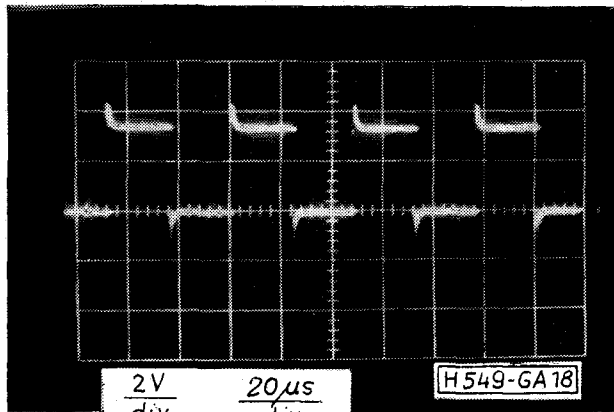
Az adóáramkör

Az adóáramkör (17. ábra) $f_v=20$ kHz-es vivőfrekvenciáját az IC₁ és IC₂ SN 74121 N típusú visszacsatolt monoflopokból kialakított pontos, astabil multivibrátor állítja elő. Az R₁C₁, R₂C₂ alkatrészek a multivibrátor időzítő elemei, amelyek az impulzussorozat kitöltési tényezőjét és frekvenciáját állítják be. Az R₃, R₄ és C₃ alkatrészek a biztos indítást szolgálják.

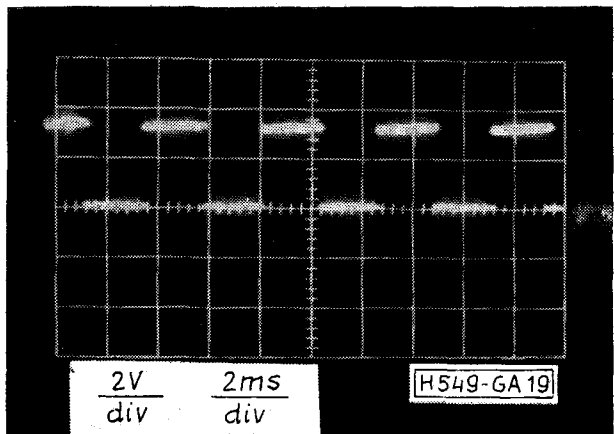
A vivőoszillátor kimeneti szintjét és jelalakját a 18. ábrán látható fénykép tünteti fel.



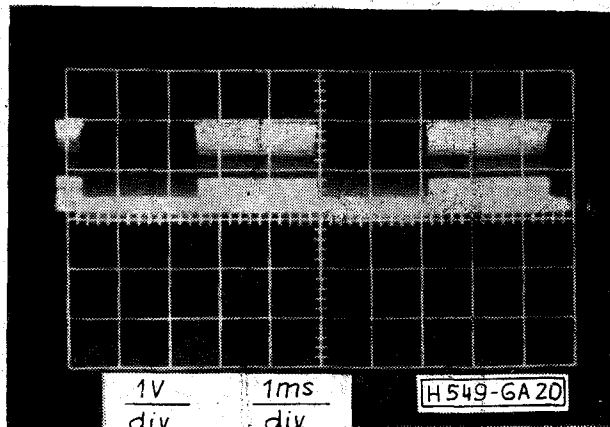
17. ábra. Az adóáramkör felépítése



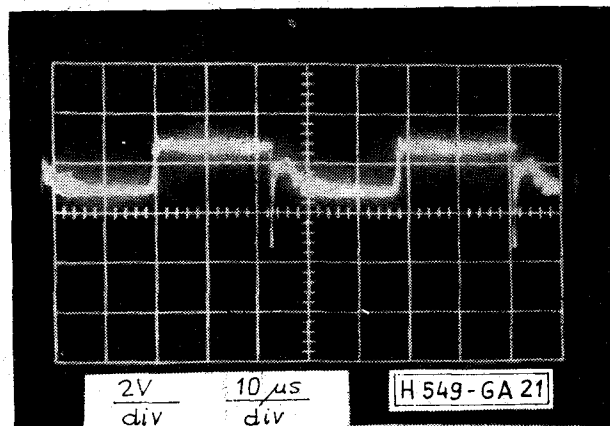
18. ábra. A vivőoszillátor jelalakja



19. ábra. A moduláló jel alakja



20. ábra. A vezérlő generátor áramának jelalakja



21. ábra. Jelalak az infraszugárzódiódán

Az $f_m=200$ Hz-es moduláló jelet az IC₃—SN 7400 N típusú NAND kapukból felépített gyűrűs astabil multivibrátor állítja elő. R₁₁ ellenállás a jel szimmetriáját állítja be, az R₁₂, C₃ elemek a frekvenciát határozzák meg. A moduláló jelet a 19. ábrán látható fénykép mutatja.

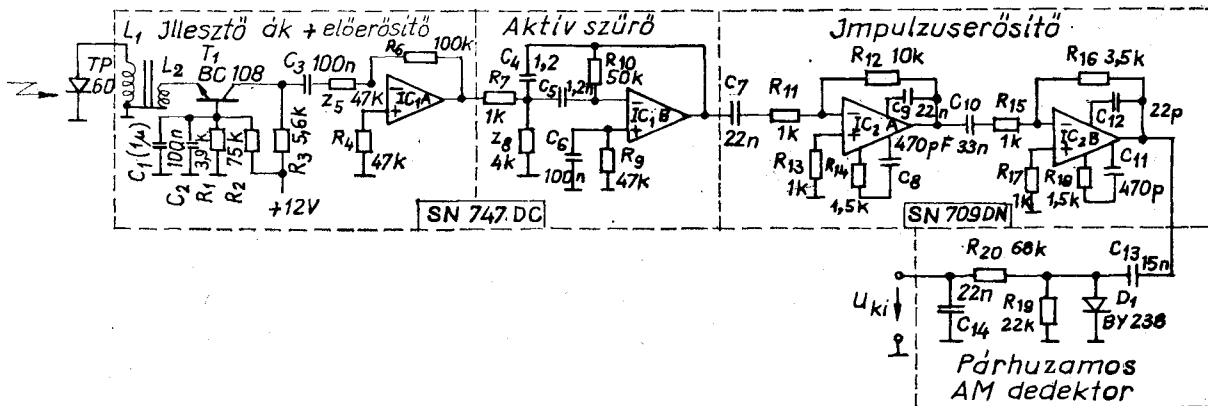
IC₃ 4. kapuáramköre képezi a modulátort, T₁ előerősítő, T₂ pedig teljesítményerősítő, amely áramgenerátorként szolgál a GaAs vezérlésére.

A modulált jelalakot a generátor R₁₀-es (4 Ohmos) ellenállásán a 20. ábra fényképfelvétele tünteti fel.

A GaAs diódán megjelenő jelcsomag elemi jelei (a vivőfrekvenciás impulzusok) a 21. ábra fényképfelvételén láthatók.

A vevőáramkör

A vevőáramkört a 22. ábra tünteti fel. A TP60 típusú fotóelemmel L₁ inuktivitás kapcsolódik párhuzamosan, vivőfrekvenciára hangolt kört képezve az eszköz belső kapacitásával. A tekercs autotranszformátorként van kiképezve, amelynek L₂ tekercséhez kapcsolódik a kiszajú, földelt bázisú előerősítő fokozat (T₁). A transzformátor áttétele úgy van megválasztva, hogy az előerősítő ohmos bemeneti ellenállása a sáv szélesség által meghatározott mértékben redukálódjon a bemeneti hangolt körhöz. Az autotranszformátoros illesztés biztosítja továbbá, hogy a bemeneti kört az előerősítő ne hangolja el.



22. ábra. A vevőáramkör felépítése

H 549-6A 22

Az előerősítő áramkört egy váltakozó áramú kisjelű műveleti erősítő követi (IC1A), amely az utána kapcsolt aktív szűrőkapcsolásnak (IC1B) feszültség-generátoros vezérlést biztosít. Ez utóbbi a bemeneti hangolt körrel együtt alakítja ki a vevő eredő átviteli karakterisztikáját ($f_v = 20$ kHz; $B = 3,2$ kHz).

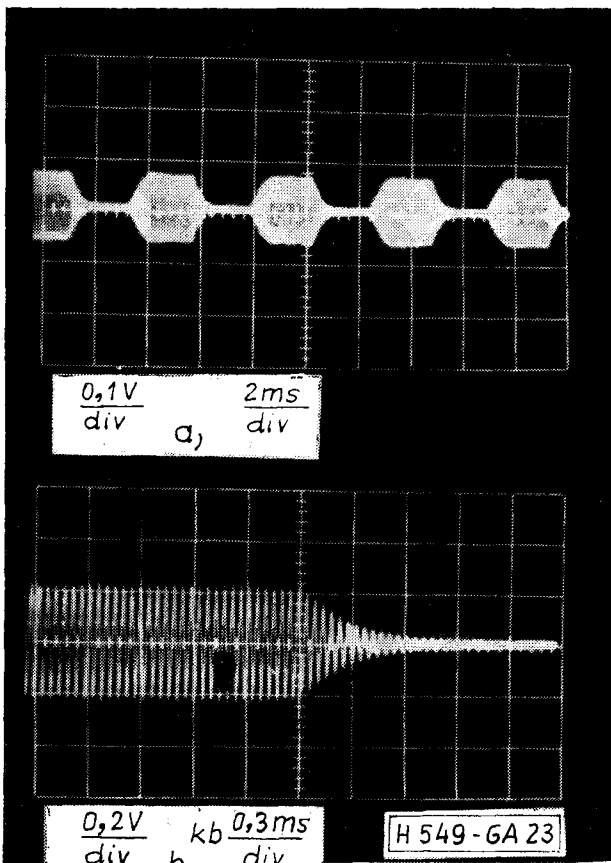
Az aktív szűrő kimenetén megjelenő vett jelsorozat, vagyis a 200 Hz-cel modulált 20 kHz-es jelsomagot az 23a ábrán látható fényképfelvétel, a jelsorozat 20 kHz-es vivőjének egytelen jelét – széthúzva – a 23b ábra fényképfelvétele tünteti fel.

Az impulzuscsomagot ezután μ A 709n DN kettős, nagy meredekségű műveleti erősítő (IC2) erősíti a

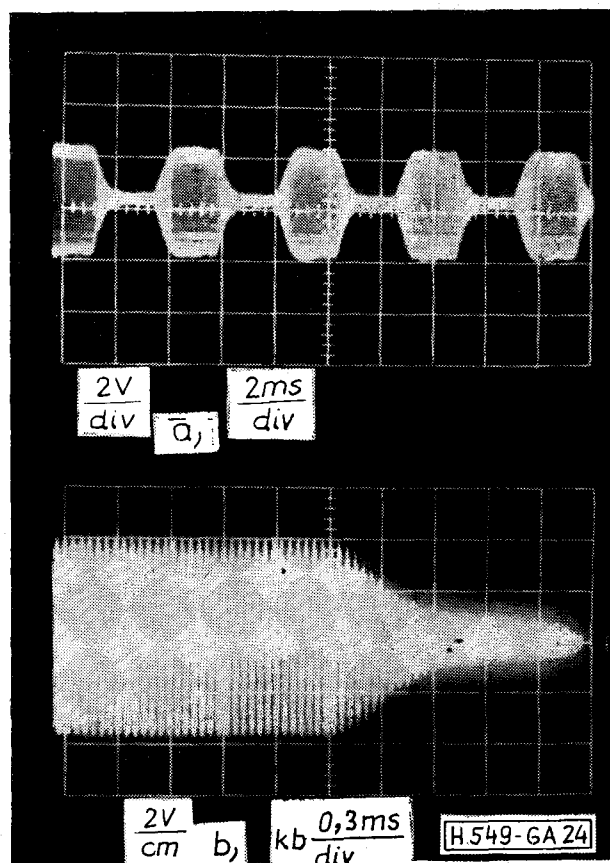
vételi egyenirányításhoz szükséges néhány voltos szintre. A váltakozó áramú erősítő kimenetén megjelenő jelsomag és annak elemi része a 24a. és b ábra fényképfelvételein láthatók.

Az impulzussorozat ezután egy párhuzamos vételi egyenirányítóra kerül. Ennek kimenetén, az R_{19} -es munkaellenálláson megjelenő detektált jel a 25a ábra fényképfelvétele mutatja.

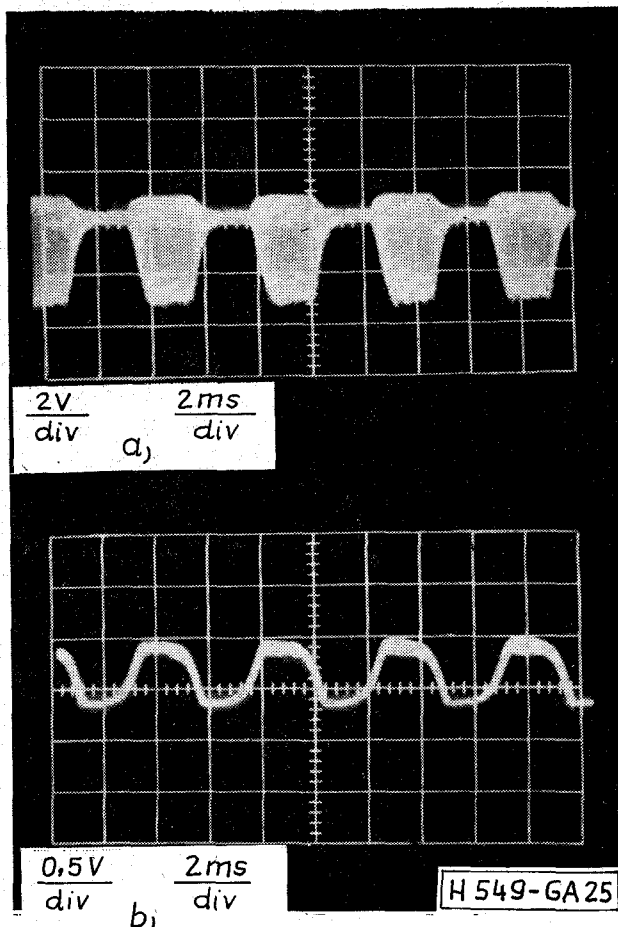
Az egyenirányított jeltől az $R_{22}C_{16}$ aluláteresztő választja ki a moduláló jeltartalmat (a hasznos információt). A kondenzátoron megjelenik a demodulált jel (25b ábra).



23. ábra. A vett modulált jel a szűrő után



24. ábra. A vett modulált jel az erősítő után



25. ábra. a) Az egyenirányított és b) a demodulált jel

A rendszer számított és mért jellemzői

Az adó jellemzői

Infrasugárzó típusa: TIXL 14 GaAs IRED (Texas).

Nyitóáram: $I_F = 0,5$ csúcs.

Optikai teljesítmény: $P_0 = 50$ mW csúcs.

Hullámhossz a sugárzás maximális értékénél:

$$\lambda_p = 0,93 \mu\text{m}.$$

Spektrális sávszélesség a jelteljesítményű pontokon:

$$\Delta\lambda_p = 350 \text{ \AA}.$$

Sugárnyaláb szöge a félteljesítményű pontokban:

$$\theta = 130^\circ.$$

Sugárerősség optika nélkül:

$$I_e = \frac{P_0}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right)} = 13,78 \frac{\text{mW}}{\text{sr}}.$$

Optikával a nyalábszög:

$$\theta' \approx 20^\circ,$$

és a sugárerősség:

$$I_e = \frac{P_0}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta'}{2}\right)} = 523,5 \frac{\text{mW}}{\text{sr}}.$$

A nyereség:

$$N = \frac{I_e}{I'_e} \approx 38.$$

A dióda nyitófeszültsége: $U_F = 1,3$ V.

A dióda villamos csúcsteljesítménye:

$$P_v = U_F \cdot I_F = 0,65 \text{ W csúcs.}$$

A teljesítményhatásfok:

$$\eta_p = \frac{P_0}{P_v} = 7,69\%.$$

Vivőfrekvencia:

$$f_v = 20 \text{ kHz} \begin{matrix} \pm 0,06\%/10^\circ\text{C} \\ \pm 0,1\%/V \end{matrix}; \quad \gamma = \frac{T_1}{T} = \frac{1}{2}.$$

négyszögimpulzus

Moduláló jel:

$$f_m = 200 \text{ Hz-es négyszögimpulzus}$$

$$\gamma = \frac{1}{2}.$$

A vevő jellemzői

Fényvevő: TP 60 S fényelem (Siemens).

Differenciális ellenállása ($U = 0$ V-nál): $r_0 = 2,7 \text{ k}\Omega$.

Határfrekvenciája ($r_t = 50 \Omega$ -nál): 40 kHz.

Rétegtkapacitás:

$$C_j \approx \frac{1}{r_t \omega} = \frac{1}{50 \cdot 2\pi \cdot 40 \cdot 10^3} = 79,57 \text{ nF}.$$

Maximális érzékenységnél a hullámhossz:

$$\lambda_{s,\text{max}} = 0,85 \mu\text{m}.$$

A spektrális érzékenység ($\lambda_{s,\text{max}}$ -nál):

$$S = 0,52 \frac{\text{A}}{\text{W}}.$$

Sugárérzékeny felület:

$$A = 1,5 \text{ cm}^2.$$

Sötétáram ($U_z = 0, E = 0$):

$$I_b = 25 \mu\text{A}.$$

Illesztő tag méretezése

Kihangoló induktivitás:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = 0,796 \text{ mH}.$$

A megcsapolással kialakított áttétel:

$$\frac{n_1 + n_2}{n_2} = 7.$$

Az előerősítő bemeneti ellenállása (kiszajú, földelt bázisú tranzistoros erősítő):

$$r_{be} = 10 \Omega.$$

Illesztő kört terhelő ellenállás:

$$r_t = r_{be} \left(\frac{n_1 + n_2}{n_2} \right)^2 = 490 \Omega.$$

Az illesztő kör eredő párhuzamos ellenállása:

$$r = r_t \times r_0 \approx 400 \Omega.$$

Az illesztő kör jósági tényezője:

$$Q_{ot} = \frac{r}{\omega L} = 4,$$

és sávszélessége:

$$B = \frac{f_0}{Q_{ot}} = 5 \text{ kHz.}$$

Az illesztő tag átviteli karakterisztikája:

$$a_1(j\omega) = \frac{\frac{j\omega}{Q_{ot}\omega_0}}{1 + j\frac{\omega}{Q_{ot}\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{j\frac{\omega}{Q_{ot}\omega_0}}{1 + j2\zeta\frac{\omega}{\omega_0} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2},$$

ahol:

$$\omega_e = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 125,66 \frac{\text{kr}}{\text{s}}; \quad Q_{\omega_0} = 502,6 \frac{\text{kr}}{\text{s}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2Q_{ot}} = 0,125$$

Az aktív sávszűrő jellemzői (a 16. ábra jelöléseivel)
Rezonancia-frekvencia:

$$\omega_0 = \frac{1}{C\sqrt{R_3(R_1 \times R_2)}} = 20,1 \text{ kHz.}$$

Az erősítés rezonancia-frekvencián:

$$A_0 = -\frac{R_3}{2R_1} = -25,$$

és a jósági tényező:

$$Q_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3}{R_1 \times R_2}} \cong 4.$$

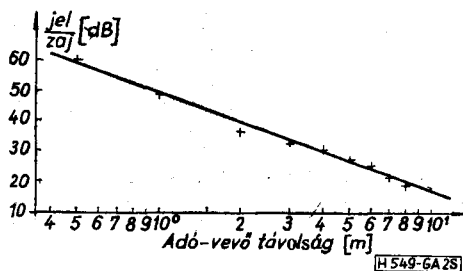
Átviteli karakterisztikája megegyezik az illesztőtagéval, mivel Q_0 és ω_0 azonos.

Az illesztő tag és az aktív sávszűrő eredő átviteli karakterisztikája:

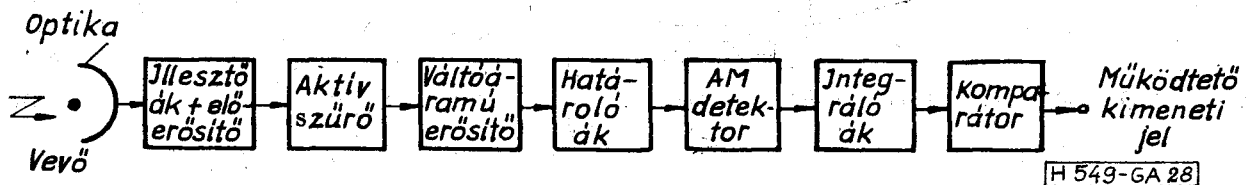
$$a_e(j\omega) = a_1(j\omega) \cdot a_{sz}(j\omega) = \frac{1}{(1 + j\eta Q_0)^2}.$$

Az eredő sávszélesség:

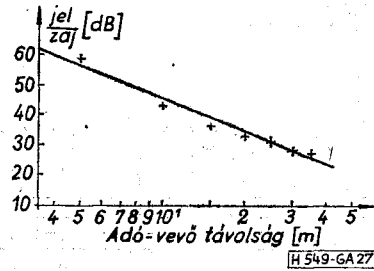
$$B_{er} = B \sqrt{\frac{1}{2^n} - 1} = 3,21 \text{ kHz.}$$



26. ábra. A mért jel-zaj viszony a távolság függvényében (optika nélkül)



28. ábra. Fénysorompó tömbvázlata



27. ábra. A mért jel-zaj viszony a távolság függvényében (optikával)

Megmértük a rendszer jel-zaj viszonyát az aktív szűrő után az adó-vevő távolság függvényében. A 26. ábrán az optika nélkül felvett jel-zaj viszony látható. A zaj effektív értéke 3,1 mV volt.

A 27. ábrán optikával ellátott adó esetén látható a jel-zaj viszony alakulása. A zaj effektív értéke 5,3 mV volt, mivel a nagyobb távolságú (35 m) mérés csak zajosabb környezetben volt lehetséges.

Alkalmazások

A PAM összeköttetések elsősorban fénysorompók és digitális adatátvitel területén alkalmazhatók.

Fénysorompó

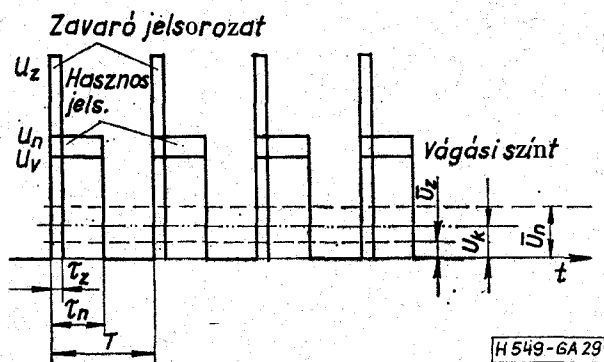
A fénysorompóknál a szelektív rendszer és az eszköz megfelelő illesztésével kiküszöbölhetők az optikai zavarok (külső megvilágítás, napfény, egyéb világító testek) és viszonylag nagy távolság (50...100 méter) hidalható át a szelektív rendszerből adódó kedvező jel-zaj viszony és az optika alkalmazása következtében.

Mesterségesen keltett periodikus zavaró fényimpulzusok (pl. stroboszkóppal történő zavaró megvilágítás) hatása is csökkenthető, ha a vevő kapcsolását a detektort megelőző vágó és az azt követő integráló és komparátor áramkörrel kiegészítjük (28. ábra).

A vágó áramkör a hasznos jel U_h amplitudóját is, de a nála sokkal nagyobb energiájú, de a moduláló jelsorozat időtartamánál lényegesen keskenyebb U_z zavaró impulzusokat is azonos a vágási szintnek megfelelő U_v amplitúdójú jelekké alakítja. Az ily módon nyert azonos amplitúdójú, de különböző kitöltési tényezőjű impulzussorozatok egyenáramú középértékei jelentősen eltérnek egymástól (29. ábra), ezért egy integráló áramkör és egy ezt követő komparátor segítségével különválaszthatók.

A hasznos jel időbeli átlaga:

$$\bar{u}_h(t) = \frac{1}{T} \int_0^T U_h dt = U_h \frac{\tau_h}{T},$$



29. ábra. Zavaró impulzusok elleni védelem elve

a zavaró jelé:

$$\bar{u}_z(t) = U_z \frac{\tau_z}{T}$$

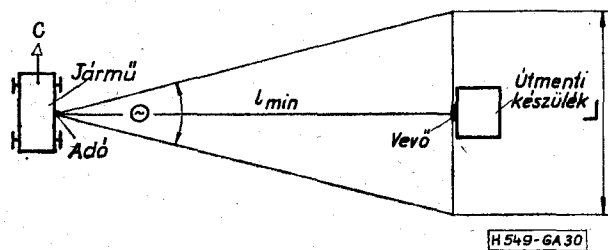
Mivel $\tau_z \ll \tau_n$ ezért $\bar{u}_z(t) \ll \bar{u}_n(t)$. Tehát a két egyenáramú szint közé beállítva a komparálási határt, a komparátor csak a hasznos jelre fog átbillenni, a zavaró jelre nem.

Járműazonosítás

A másik alkalmazási lehetőség az adatátvitel területén nyílik. Jelentős ennek egy speciális alkalmazása, a járműazonosítás. Igen egyszerű felépítésű kódadó áramkör építhető, ha az f_m frekvenciájú moduláló impulzussorozat helyett a jármű járat- vagy rendszámának megfelelő kóddal modulálunk. A vevőáramkört természetesen ki kell egészíteni a start-stop, illetve nagyobb adatsebességek esetén a szinkron üzemi vétel áramköreivel (ennek vizsgálatával most nem foglalkozunk).

Jelenleg csak arra szorítkozunk, hogy közelítőleg meghatározzuk azt a maximális adatátviteli sebességet, amely szükséges a mozgó járművön elhelyezett kódadó és az út mentén (megállóoszlopokon, jelzőlámpáknál) elhelyezett kódvevő berendezés között (30. ábra).

A maximális adatátviteli sebesség egy adott Θ sugárzási kúpszögű sugárzó esetén akkor lép fel, ha az adó a vevő mellett a legközelebb l_{min} távolságban halad el c_{max} maximális sebességgel. Ebben az esetben az



30. ábra. Maximális adatátviteli sebesség számítása jármű-azonosító berendezésnél

adó és vevő között a kapcsolat csak

$$L = 2l_{min} \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}$$

hosszúságú szakaszon következik be.

Ebből és a jármű sebességéből meghatározható az adó és a vevő közötti összeköttetés ideje:

$$T = \frac{L}{C}$$

Figyelembe véve az átvendő karakterek számát (k), valamint a karakterenként szükséges bitek számát (b), meghatározható az egyszeri leolvasás során az átvinni kívánt összes bitek száma:

$$N = k \cdot b$$

k és b értékeinel figyelembe kell venni a kódellenőrzésre és a visszajelzésekre fenntartott biteket is.

n -szeres leolvasási igény esetén:

$$nN$$

bit átvitele szükséges T idő alatt. Ebből kiszámítható a maximális adatsebesség:

$$V_{max} = \frac{nN}{T}$$

A kiindulási adatokkal:

$$V_{max} = \frac{nk b}{L} = \frac{n \cdot k \cdot b}{2l_{min} \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}} \cdot c_{max}$$

Például $c_{max} = 100 \frac{\text{km}}{\text{ó}}$ járműsebesség, $\Theta = 30^\circ$ kúpszögű sugárzó, $k=5$ karakter és karakterenként $b=7$ bit, valamint $n=3$ -szoros leolvasási lehetőség esetén, $l_{min}=3$ m távolságnál a maximális adatsebesség:

$$V_m = 1815 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

Az adatátviteli sebesség meghatározza az azonosító berendezés szükséges sávzélességét, felépítését, adott moduláció és meghatározott kód esetén.

I R O D A L O M

- [1] Larry D. Major—Ronald D. Grotti: Efficient high-power GaAs emitters. Texas Optoelectronics Data Book for Design Engineers, p. 145—157
- [2] J. M. Zulauf: Les transmission sans fil a courte distance se mettent aux infrarouges. Electronique et microélectronique industrielles, No. 216, 1976. p. 37—43
- [3] G. Krause—F. Keiner: Consider solid-state photodetectors. Electronic Design, Vol. 24 No. 21, 1976
- [4] Applications of infrared detectors. Philips Application Book, 1971
- [5] Millman—Halkias: Electronics devices and Circuits. McGraw Hill, 1967. p. 132—133
- [6] Texas Instrument: Manuel des circuits intégrés analogiques. Edition Radio, Paris, 1974
- [7] Herpy Miklós: Analóg integrált áramkörök. MK. Budapest, 1974
- [8] Siemens Optoelectronics Semiconductors, Data Book 1975/76
- [9] Fairchild Optoelectronics Handbook, February, 1973
- [10] Optoelectronics devices. Telefunken, 1976