

Literatura

1. Asch G. et al., *Датчики измерительных систем* (пр. на рус.), Мир, Москва, 1992., ISBN 5-03-001642-2
2. Bukowski, R.W., Moore W.D., *Fire Alarm Signaling Systems*, 3rd edition, NFPA, 2003., ISBN-13: 9780877655411
3. Carvel R., Beard A., *The Handbook of Tunnel Safety*, Thomas Telford, London, 2005, ISBN 0-7277-3168-8
4. Cote E. A., Bugbee P., *Principles of Fire Protection*, 2nd edition, Jones&Bartlett Learning, 1988., ISBN 0877653453
5. Cote E.A., *Operation of Fire Protection Systems - A special edition of the fire protection handbook*, 2003, NFPA, 2003., ISBN 0-87765-584-7
6. ISO 7240, *Fire detection and Alarm Systems, Part 7: Point-type smoke detectors using scattered light, transmitted light or ionization*, 2003.
7. ISO 7240, *Fire detection and Alarm Systems, Part 20: Aspirating smoke detectors*, 2010.
8. ISO 7240, *Fire detection and Alarm Systems, Part 22: Smoke detection equipment for ducts*, 2007.
9. NFPA 72, *National Fire Alarm and Signaling Code*, NFPA, 2000.
10. SRPS EN 54-7-VS, *Komponente sistema za automatsko otkrivanje požara - Deo 7: Specifikacija za tačkaste detektore dima koji rade na principu rasipanja svetlosti, propuštanja svetlosti ili jonizacije*, 1994.
11. *System Smoke Detectors, Application Note*, System Sensor, 2002.
12. UL 268, *Standard for Safety, Smoke Detectors for Fire Protective Signalling Systems*, 1989.

POGLAVLJE

9

JAVLJAČI PLAMENA

Požari nekih materija, kao na primer, derivata nafte ili hemijskih materija, odmah po svom nastanku su praćeni nastankom plamena, bez ili sa zanemarljivom količinom dima. Za detekciju takvih tipova požara javljači plamena su jedino pouzdano rešenje. Takođe, detekcija požara na otvorenom prostoru i u objektima sa visokom tavanicom praktično nije moguća drugim metodima detekcije zbog velike razređenosti dima i blađenja konvektivnih struja. Požari koji su u samom početku praćeni plamenom razvijaju se veoma brzo, tako da odziv ovih javljača treba da bude u deliću sekunde. Za detekciju plamena se koristi ultraljubičasti i infracrveni deo spektra zračenja plamena, kao i učestanost treperenja plamena.

9.1. Principi konstrukcije javljača plamena

9.2. Ultraljubičasti javljač plamena

9.3. Infracrveni javljač plamena

9.4. Posebne vrste javljača plamena

9.1. Principi konstrukcije javljača plamena

Kod požara koji počinju tinjanjem prođe relativno dosta vremena dok ne dođe do punog razvoja požara. Međutim, u visokim zgradama ili na otvorenom prostoru gde se skladišti lako zapaljivi materijal, kao na primer, derivati nafte ili hemijske materije, ne samo da nije moguće iskoristiti konvekciju produkata požara za detekciju već se i požar razvija veoma brzo. U takvim slučajevima jedino praktično rešenje su javljači zračenja plamena (eng. *flame detectors*, rus. *пламени извещатели*)³⁹⁾.

Najvažnije osobine koje treba da poseduje javljač plamena jesu:

- osetljivost na plamen treba da bude dovoljno visoka da osigura detekciju maksimalno dozvoljenog razvoja požara u čitavom području koje se štiti,
- brzina odziva mora biti takva da požari sa brzim razvojem budu otkriveni u najranijoj fazi,
- javljač mora da bude neosetljiv na zračenja koja ne potiču od požara da bi se eliminisali lažni alarmi,
- što više onemogućiti blokiranje ili smanjenje apsorpcije zračenja zbog zaprljanosti javljača prašinom, uljem, vodom, itd.

Zračenje žarišta požara u zavisnosti od temperature gorenja i hemijskih reakcija ima različit spektralni sastav. Spektr zračenja plamena je prilično složen i sastoji se iz:

- *kontinualnog zračenja*, koje se formira kao posledica zagrevanja različitih čvrstih i tečnih čestica koje se obrazuju nad žarištem požara pri nepotpunom sagorevanju (čestice čađi, vodene pare itd.). Kontinualno zračenje ima dva karakteristična pika u oblasti 2.8 μm i 4.3 μm , što je uslovljeno zračenjem vodene pare i radikala OH (2.8 μm), a takođe i zračenjem zagrejanog ugljen-dioksida (4.3 μm);
- *linearnog spektra*, koji se formira kao rezultat hemijskih reakcija u plamenu (uzajmno dejstvo molekula materije). Sastav ovog zračenja zavisi od tipa goriva i oksidansa;
- *pojedinačnih linija*, koje se formiraju kao rezultat elektronskih prelaza u atome pod dejstvom spoljašnje energije.

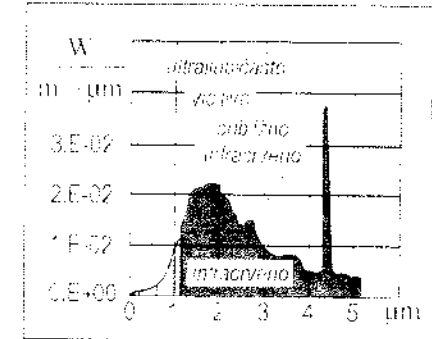
³⁹⁾ ISO 7240-10: Point flame detectors - definicije: **3.2. ultra-violet (UV) detector** - flame detector responding only to radiation having wavelengths less than 300 nm.

3.1. infrared (IR) detector - flame detector responding only to radiation having wavelengths greater than 850 nm.

Iako spektar zračenja plamena ima različit sastav po intenzitetu i dijapazonu, moguće je da se za konkretno gorivo definiše karakterističan oblik spektra zračenja. Intenzitet pojedinih delova spektra zračenja varira zavisno od veličine požara i uslova gorenja.

Slika 9.1. Zračenje plamena

Ljudsko oko može da vidi samo mali deo energije zračenja plamena. Nevidljivi deo zračenja plamena čovek registruje kao toplotu. Požari materija koje ne sadrže ugljovodoničke nemaju pik CO_2 na 4.3 μm i mogu biti detektovani ultraljubičastim prelazima plamena. CO_2 pik reprezentuje samo 2% od ukupne energije požara.

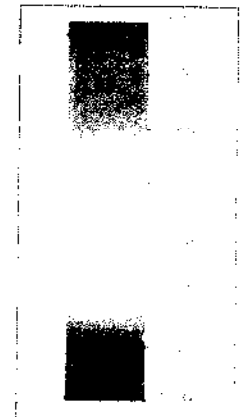


Osnovna podela javljača plamena bazira se na talasnoj dužini koju javljači koriste za detekciju i koja je presudna za konstrukciju javljača.

Slika 9.2. Deo elektromagnetnog spektra

Najčešća podela dela elektromagnetnog spektra

Talasna dužina	Opseg
do 0.4 μm	Ultraljubičasto
0.4 do 0.8 μm	Vidljivo 0.4 do 0.5 μm - plavo 0.5 do 0.6 μm - zeleno 0.6 do 0.78 μm - crveno
0.75 do 1.4 μm	približno IC
1.4 do 3.0 μm	kratkotalasno IC
3.0 do 8.0 μm	srednjetalasno IC
3.0 do 15.0 μm	dugotalasno - toplotno IC



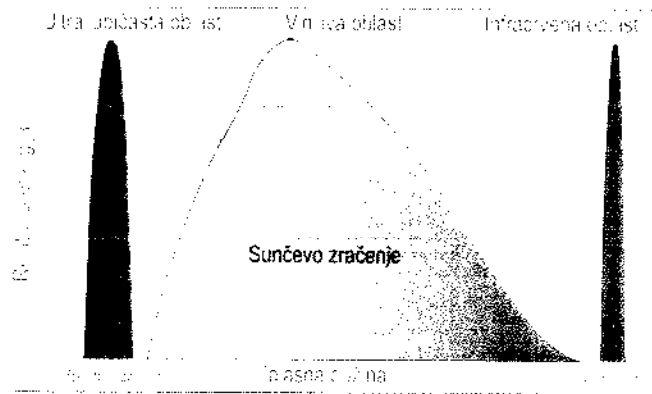
U skladu sa talasnom dužinom koju služi za detekciju požara i primenjenom tehnologijom, javljače plamena je moguće podeliti na:

1. ultraljubičaste - do 0.38 μm ,
2. vidljive - od 0.38 μm do 0.78 μm
3. približno infracrvene - od 0.78 μm do 1.3 μm
4. infracrvene - 1.3 μm do 10 μm

5. kombinovane - kombinacija prethodnih i to: UV/IR, IR2 (dva IC senzora), IR3 (tri IC senzora) i multi IR (sadrže više IC senzora).

U praksi primenu nalaze ultraljubičasti, infracrveni i kombinovani javljači. Veoma retko se primenjuju javljači koji su osetljivi na vidljivu oblast zračenja (0.4 μm do 0.8 μm). Javljači plamena reaguju na otvoreni plamen znatno brže nego drugi javljači i zato se koriste za otkrivanje požara koji odmah obrazuju otvoreni plamen, što je slučaj kod požara tečnosti i gasova. Kod ovih javljača nije bitna udaljenost od požara. Primenjuju se za zaštitu proizvodnih mašina i za nadgledanje slobodnog prostora (hangari za avione, tornjevi za bušenje).

Ometajuće veličine kod javljača plamena mogu nastati kod žarećih požara ili kod požara sa jakim razvojem dima jer, naročito kod ultraljubičastog zračenja, čestice dima reflektuju ili apsorbiraju zračenje. Detekcija u zatvorenom prostoru je olakšana činjenicama da staklo ne propušta ultraljubičastu komponentu sunčevog zračenja sa talasnom dužinom manjom od 0.33 μm i da veštačko svetlo u sebi ne sadrži ovu komponentu. Otkrivanje zračenja žarišta požara na bazi fona zračenja zahteva posebne mere zaštite od pojave lažnih alarma.



Slika 9.3. Opsezi detekcije javljača plamena (ultraljubičastog i infracrvenog)

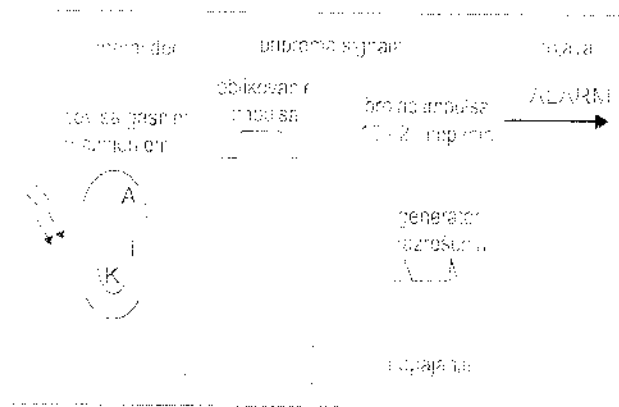
9.2. Ultraljubičasti javljač plamena

U ultraljubičastom delu spektra koriste se brojači fotona ili indikatori napunjeni gasom. Senzori imaju veliku osetljivost i rade na principu spoljnog fotoefekta, u impulsnom režimu, što znači da je

količina impulsa u jedinici vremena koje generiše fotoclement presudna za aktiviranje javljača. Obrada signala od javljača je uglavnom analogna. Zaštita od smetnji od stranih izvora svetlosti realizuje se na nekoliko načina: promenom osetljivosti, optičkim i električnim filtriranjem.

Uzak frekventni opseg UV zračenja je podeljen na tri dela, a na osnovu bioloških efekata. Postoje tri komponente UV zračenja: UV-A (od 400 nm do 315 nm), UV-B (315 nm do 280 nm) i UV-C (280 nm do 100 nm). Energija UV zračenja koja dospeva na površinu Zemlje sastavljena je uglavnom od UV-A i malog dela UV-B komponente. Zbog toga se za detekciju požara koristi UV-C komponenta u okviru koje dolazi do jonizacije. Opšte prihvaćena granica jonizacije je na talasnim dužinama od oko 100 nm i energijom fotona koja je veća od 12.4 eV.

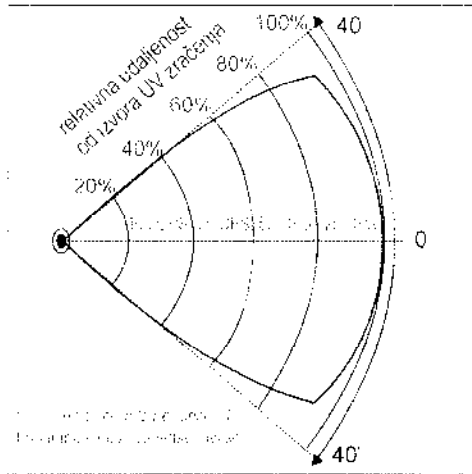
Ultraljubičasto zračenje u javljaču registruje jedna foto-električna elektronska cev sa hladnom katodom (slična cevi *Geiger-Müllerovog* brojača, instrumenta za detekciju jonizujućeg zračenja), u okviru jedne uske spektralne oblasti (185 - 245 nm, 180 do 260 nm, zavisno od proizvođača). Elektroni koji se izdvajaju sa katode ubrzavaju se ka anodi, sudaraju sa molekulima jonizovanog gasa kojim je ispunjena cev, čime se stvaraju uslovi za „Javinski“ efekat. Trenutna impulsna struja koja nastaje je proporcionalna intenzitetu zračenja i površini katode.



Slika 9.4. Princip rada ultraljubičastog javljača plamena

Na osnovu broja impulsa se određuje stepen alarma.

Osetljivost na požar kod ovih javljača najčešće se definiše u odnosu na rastojanje na kome može da se detektuje požar na površine 0.1 m^2 . Ultraljubičasti javljači obično detektuju požar na rastojanju od 10 do 12 m sa vremenom odziva od par sekundi, ali su u stanju da daju odziv i u vremenu od nekoliko milisekundi, što ih čini pogodnim i za detekciju eksplozije.



Slika 9.5. „Odbrojanje“ ultraljubičastog javljača

Osetljivost UV javljača plamena zavisi od veličine plamena, rastojanja i tipa goriva. Broj impulsa zavisi od nosa i udaljenosti od izvora UV zračenja. Javljač treba da ima uže „vidno polje“, jer reflektovano ultraljubičasto zračenje može da se detektuje i da aktivira alarm, čak i ako požar nije u polju vida javljača.

Na slici 9.6. je prikazano polje osetljivosti jednog komercijalnog ultraljubičastog javljača.⁴⁰⁾ Sa slike se vidi da javljač ima horizontalno „polje vida“ do 140° , međutim preporuka je da to polje bude oko 100° .



Slika 9.6. „Vidno polje“ ultraljubičastog javljača

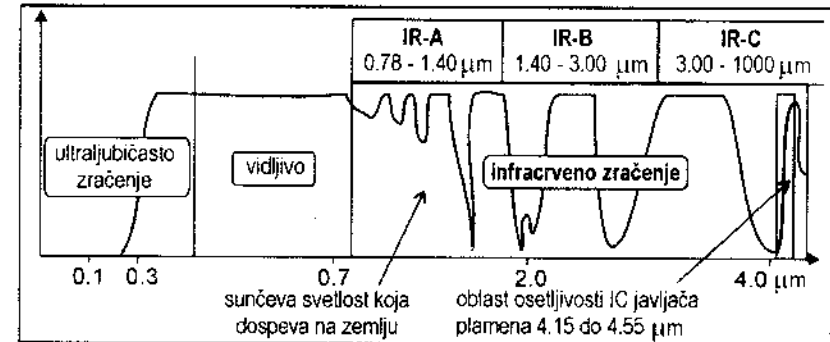
⁴⁰⁾ INTRONICS - UV Flame Detector Model 301

Ultraljubičasti javljač otkriva požare tečnosti (alkohol, špiritus), požare gasova (sumpor, vodonik, amonijak) ili požare metala bez razvoja dima. Lažne dojave mogu biti izazvane elektrolučnim i autogenim zavarivanjem, fotografskim blicem (halogene svetiljke) ili rendgen i gama zračenjem.

Ultraljubičasto zračenje se lako apsorbira na organskim materijalima u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju što može da bude veliki problem kod detektovanja ovim javljačem. Tanak sloj ulja ili masti, gotovo nevidljiv za oko, može potpuno da onesposobi javljač; pare acetona, toluena, itd. uzrokuju slabljenje signala a takođe je i dim jak apsorber.

9.3. Infracrveni javljač plamena

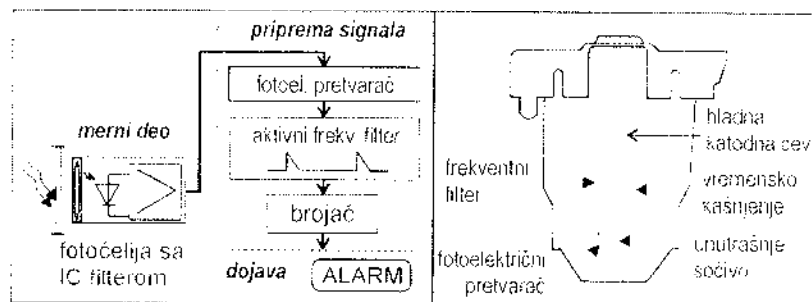
Infracrveni javljač plamena reaguje na infracrveni deo spektra koji je karakterističan za otvoreni požar. Detektovano zračenje se preko jednog filtera vodi na opto-električni pretvarač koji daje električni signal. Pošto u ovoj mernoj oblasti postoje i drugi izvori zračenja (sunce, grejalica), dodatni kriterijum za procenu je i treperenje plamena i predstavlja važan faktor pri konstrukciji javljača. Infracrveni javljači plamena koriste oblast spektra između $4.15 \mu\text{m}$ i $4.55 \mu\text{m}$ i dodatno vrše procenu treperenja plamena požara frekvencije od 5 do 30 Hz.



Slika 9.7. Spektralna osetljivost infracrvenog javljača

Spektar treperenja koje nastaje difuznim plamenom (požari na sudovima sa tečnošću) daje gustinu energije koja može da se predstavi u obliku eksponencijalne funkcije. Najveći deo energije se nalazi u

području do 10 Hz i većina javljača ima područje koje se proteže ka nižim frekvencijama, do 2 Hz i niže. Amplituda treperenja difuznog plamena je mnogo manja za tzv. plavi plamen ili za plamen koji je proizveden sagorevanjem gasa iz gorionika visokog pritiska. I u ovim slučajevima je moguće detektovati treperenje, pa samim tim i požar.



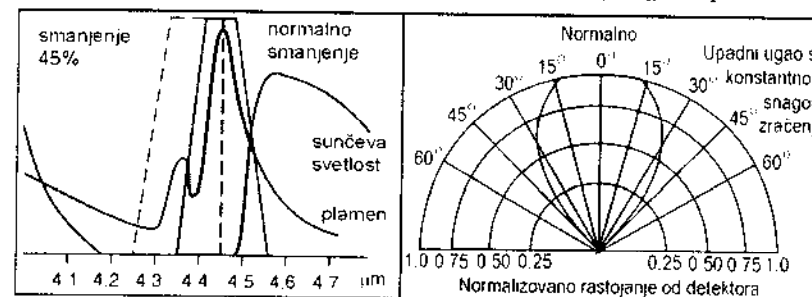
Slika 9.8. Princip rada i presek infracrvenog javljača požara

U praktičnoj realizaciji javljača jedan aktivni frekventni filter filtrira frekvenciju treperenja i jedan brojač memorira ulazeće impulse u jedinici vremena. Da bi javljač plamena generisao signal alarmu potrebno je da budu ispunjena dva uslova: da talasna dužina odgovara IC području koje se detektuje i da frekvencija treperenja odgovara treperenju plamena.

Infracrveni javljač detektuje otvorene požare bez razvitka dima, dakle, primenjuje se tamo gde se koriste lako plamteći materijali. Lažne dojave mogu biti izazvane zračenjem usijanih tela pa da bi se povećala imunitet na lažne alarme neophodno je koristiti što veće talasne dužine u IC području. Sa razvojem tehnologije to područje je stalno pomerano prema onom delu spektra koji daje plamen materijala koji sadrže ugljenik.

Tek krajem 70-tih godina realizovani su senzori koji mogu da rade na dužinama većim od 3 μm , što je omogućilo konstrukciju javljača koji rade u području 4.3 μm gde snažna atmosferska apsorpcija uzrokovana ugljen-dioksidom, koindicitna sa značajnim emisivnim pikom u spektru plamena koji je takođe uzrokovan ugljen-dioksidom. Rad u ovom području (4.1 μm do 4.7 μm) je danas standardan. Ako se pogleda spektar sunca i plamena u ovom području (slika 9.9.) vidi se da se atmosferska apsorpcija, koja prouzrokuje ulegnuće u sunčevom spektru koje je vrlo oštro i vrlo duboko, ne poklapa tačno sa pikom emisije plamena koji je pomaknut i proširen Doplerovim efektom. U tom slučaju

je moguće da se izabere područje koje daje značajno povećano odbacivanje sunčevog zračenja i neznatno odbacivanje signala plamena.



Slika 9.9. Mikrometersko područje i „vidno polje“ javljača

Korišćenje javljača koji koristi princip detekcije koji je prikazan na slici u praksi znači da javljač može da detektuje požar na rastojanju do 20 m, ali ne daje alarm kad je izložen sunčevoj svetlosti.

Na levom delu slike 9.9. se vidi da se pomercanjem područja u oblasti od 4.1 μm do 4.7 μm kao rezultat dobija da je 20 puta smanjena osjetljivost na sunčevo zračenje, a da je oko dva puta (oko 40%) smanjena osjetljivost na zračenje plamena. Na desnom delu slike je prikazano „vidno polje“ ovakvog tipa javljača. Očigledno je da što je veće ugaono rastojanje plamena od optičke ose javljača, požar će se detektovati u razvijenijoj fazi, tj. požar mora da zauzima veću površinu da bi bio detektovan od strane javljača.

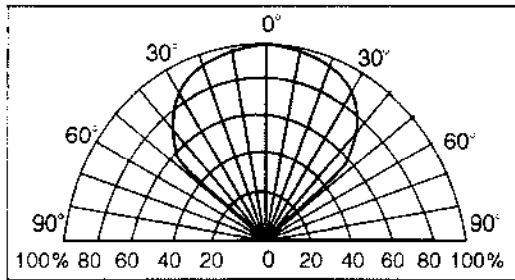
9.4. Posebne vrste javljača plamena

Jedan od pristupa za realizaciju javljača koji bi pokrio sva područja zračenja plamena jeste korišćenje širokopojsnog javljača plamena⁴¹⁾, koji je najčešće predstavljen kombinacijom ultraljubičastog i infracrvenog javljača. Time bi se aktivirao alarm samo u slučaju kad oba javljača detektuju alarm. Međutim, iako ova kombinacija znatno redukuje pojavu lažnih alarma, ona znatno smanjuje i sposobnost detekcije, jer ostaju

⁴¹⁾ ISO 7240-10: Point flame detectors - 3.3. multiband detector - flame detector having two or more sensing elements, each responding to radiation in a distinct wave-length range and each of whose outputs may contribute to the alarm decision. The alarm decision may be based on any arithmetic or logical combination of the individual signals.

nerješeni problemi apsorpcije zračenja kod oba javljača. Ako se za vezu iskoristi „ILI“ logika, sposobnost detekcije će biti veća nego kad se koriste zasebno oba javljača, ali je zato manja pouzdanost dojave alarma, tj. znatno je povećana osetljivost na lažne alarme.

U poslednje vreme se vrlo često primenjuje kombinovani javljač plamena čiji je rad zasnovan na korišćenju *dvokanalnog* IC javljača plamena. Kod ovakvog tipa javljača jedan senzor je namenjen detekciji zračenja plamena, dok drugi detektuje zračenje u području iznad ili ispod talasne dužine od oko 4.3 μm . Upoređivanjem amplituda oba signala donosi se odluka o alarmu. Glavna praktična poteškoća kod ovakvog pristupa jeste da osetljivost oba kanala bude jednaka tokom životnog doba javljača, jer se odluka o alarmu donosi na bazi odnosa dva signala.



Slika 9.10. Odziv infracrvenog javljača

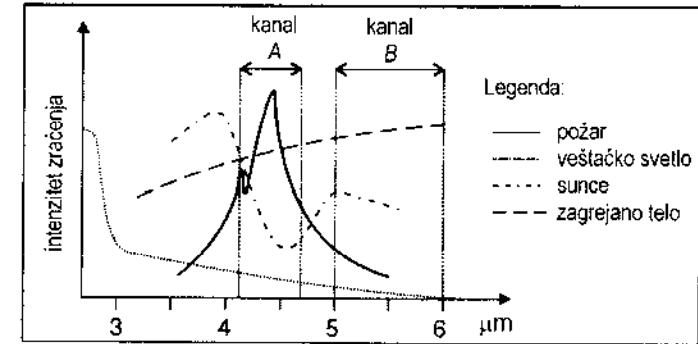
Na slici je prikazan tipičan odziv („vidno polje“) dvokanalnog kombinovanog javljača. Prikazani odziv je u odnosu na parafin kao gorući materijal.

Najčešći način praktične realizacije dvokanalnog javljača plamena je korišćenjem dva fotoelektrična senzora koji su osetljivi na dve različite talasne dužine. Prvi senzor, kanal A, reaguje na požarne gasove koji daju infracrvenu svetlost u opsegu spektralne karakteristike CO_2 - od 4.1 μm do 4.7 μm . Ovi gasovi su proizvod gorenja materijala koji u sebi sadrže ugljenik. Drugi senzor, kanal B, meri infracrvenu energiju u opsegu talasnih dužina od 5 μm do 6 μm , koja se emituje od izvora smetnji (sunčeva svetlost, veštačko svetlo i drugi izvori zračenja).

Signali sa tipičnom frekvencijom treperenja od 2 Hz do 20 Hz se upoređuju u elektronskom kolu po amplitudi i fazi. Kad požar emituje infracrvenu energiju, amplituda signala prvog senzora je mnogo veća nego od drugog senzora i aktivira se alarm.

Nasuprot tome, vibracije zagrejanog tela (na primer, motora) proizvode sinhroni signal i u kanalu A i kanalu B. Pošto je u tom slučaju

signal u kanalu A manji nego u kanalu B, alarm se ne aktivira. Ako se u isto vreme pojavi plamen, generišaće se asinhroni signal u kanalu A i doći će do aktiviranja alarma. Osetljivost i vreme odziva ovog javljača može da se podešava u dva koraka pomoću mikroprekidača. Na slici 9.11. je ilustrovana pozicija kanala za detekciju u odnosu na spektar zračenja plamena i opsege zračenja koji izazivaju lažno alarmiranje.



Slika 9.11. Spektri plamena i mogućih izvora lažnih zračenja

„Logika“ rada dvokanalnog javljača, odnosno uslovi za aktiviranje alarma, zasnivaju se na odnosu signala na kanalima A i B. Uslovi za signalizaciju alarma su da je $A:B \gg 1$ - signal sinhron ili asinhron i $A:B \geq 1$ - signal asinhron.

Javljači plamena se prema standardima zapadnih zemalja klasifikuju u četiri klase, u skladu sa najvećim rastojanjem na kojem mogu da detektuju požar određene površine u vremenskom intervalu do 30 s. Maksimalna rastojanja detekcije u odnosu na centar požara u skladu sa standardom ISO 7240-10 su sledeća:

1. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 25 m,
2. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 17 m,
3. klasa javljača plamena - detekcija na rastojanju do 12 m, i
4. klasa javljača plamena kod kojih rastojanja daje proizvođač, a koja su van opsega 12 - 25 m.

Za sve klase, većina proizvođača navodi kao vreme odziva vremenske intervale od 3, 5, 6 ili manje od 10 s, što zavisi od klase, odnosno rastojanja i površine požara koji se detektuje.