

UPALJAČI

Upaljač je sistem, uređaj ili mehanizam čija je namena da aktivira projektil ili minu u željenom trenutku i u uslovima koje diktiraju namena i vrsta projektila ili mine.

1. Klasifikacija upaljača

Za sistematsko proučavanje upaljača važne su sledeće podele:

- a) prema fizičkim i hemijskim procesima na kojima se zasniva delovanje upaljača
- b) prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj
- c) prema vremenu reagovanja
- d) prema načinu i stepenu osiguranja

1.1. Klasifikacija upaljača prema primenjenim fizičkim i hemijskim procesima

Upaljači su najčešće složeni uređaji sastavljeni od više podсистema koji obuhvataju razne funkcije i osiguravaju željene funkcionalne i eksploatacione karakteristike upaljača kao celine. Kako svaki od tih podсистema (za armiranje, za osiguranje, za samolikvidaciju i sl.) može biti konstruisan na drugom principu, upaljači se klasifikuju prema osnovnom funkcionalnom podсистemu - zvanom **podсистem nosilac funkcije** - koji obavlja osnovnu namenu upaljača, tj. aktivira ga na cilju. Prema ovakvoj klasifikaciji upaljači mogu biti:

- a) **mehanički**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na primeni mehaničkih sila i momenata (inercijalne sile, reakcione sile, centrifugalne sile, sile i momenti opruge i sl.),
- b) **pirotehnički**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na inicijaciji i sagorevanju pirotehničkih elemenata; kako su pirotehnički elementi prisutni kod skoro svih upaljača, pirotehničkim se smatraju oni kod kojih se i deo funkcije *pre* inicijacije kapsle, odnosno tzv. pirotehničkog ili inicijalnog lanca upaljača, obavlja pomoću pirotehničkih komponenata (npr. aktiviranje nakon određenog vremena tempiranja i dr.),
- c) **hemijski**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na hemijskim procesima različitim od sagorevanja pirotehničke smeše,
- d) **električni**, kojima je za obavljanje osnovne funkcije potreban neki izvor električne energije; pored piezoelektričnih i električnih kontaktnih upaljača u tu kategoriju spadaju svi **elektronski** tempirni i blizinski upaljači,
- e) **magnetni**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na korišćenju raznih magnetnih fenomena.
- f) **ostali**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na akustičnom efektu, detekciji infracrvenog zračenja, emisiji i detekciji radarskih signala i sl.; ti se upaljači najčešće mogu svrstati u kategoriju **elektronskih** upaljača, jer im se, generalno uzevši, funkcija zasniva na primeni elektronskih kola i elemenata, a redovno im je potreban i neki izvor električne energije.

1.2. Klasifikacija upaljača prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj

Prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj upaljači se mogu podeliti na:

- a) **kontaktne**, koji deluju u neposrednom dodiru sa ciljem; **udarni** upaljači su samo deo ove kategorije,
- b) **blizinske**, koji deluju na određenoj udaljenosti od cilja putem detekcije nekog za cilj karakterističnog efekta (zvuka, poremećaja, magnetskog polja, Doppler-ovog efekta koji je posledica međusobnog kretanja cilja i izvora elektromagnetskih talasa i sl.),
- c) **ambijentalne**, koji deluju putem detekcije određene promene u okolnoj sredini (pritiska, temperature, osvetljenosti i dr.),
- d) **komandne**, koji deluju nakon prijema određenog signala (neautomatski emitovane komande),
- e) **nezavisne**, koji deluju nakon unapred određenog vremena, bez obzira na prisutnost cilja i okolnu sredinu,
- f) **kombinovane**, kod kojih su objedinjena dva vida dejstva, tako da se međusobno uslovljavaju; ukoliko vidovi delovanja nisu međusobno uslovljeni reč je o upaljačima s **dvostrukim delovanjem**, koji ustvari predstavljaju dva upaljača objedinjena u zajedničko telo (kućište).

1.3. Klasifikacija upaljača prema vremenu reagovanja

Prema vremenu reagovanja upaljači se mogu klasifikovati u sledeće grupe:

- a) **supertrenutni** upaljači sa vremenom reagovanja reda $20 \div 200 \mu s$,
- b) **trenutni** upaljači sa vremenom reagovanja $0.5 \div 10 ms$,
- c) upaljači **sa kratkim usporanjem** sa vremenom reagovanja reda $0.02 \div 0.1 s$,
- d) upaljači **sa dugim usporanjem** sa vremenom reagovanja reda $0.2 \div 0.6 s$,
- e) **tempirni** upaljači koji reaguju nakon unapred određenog vremena koje se može kretati od nekoliko sekundi do nekoliko minuta (upaljači za projekte) ili do nekoliko sati, pa čak i dana (minskoeksplozivna sredstva).

Upaljači mogu biti opremljeni uređajima pomoću kojih se može birati vreme reagovanja (trenutno ili usporeno delovanje) zavisno od vrste cilja ili taktičke situacije. Tempirni upaljači za projekte obično imaju i dodatni mehanizam za aktiviranje u slučaju direktnog udara projektila u cilj, tj. izvode se kao upaljači sa dvostrukim delovanjem.

1.4. Klasifikacija upaljača prema načinu i stepenu osiguranja

Klasifikacija upaljača prema stepenu osiguranja zasniva se na jednoj konstruktivnoj specifičnosti upaljača - ugradnji *dodatnog podsistema za osiguranje*, koji se sastoji od uređaja ili mehanizma kojim se pirotehnički lanac u upaljaču (tj. vatrena veza između inicijalne kapsle i detonacione kapsle i detonatora, koji je u dodiru sa osnovnim eksplozivnim punjenjem projektila, a preko više pomoćnih pirotehničkih elemenata - pojačivača plamena, usporača, detonatorskih prenosnika i sl.) *mehanički prekida* u toku skladištenja, transporta, rukovanja i početnih faza lansiranja i uspostavlja tek nakon što je projektil prešao potrebnu *sigurnosnu* udaljenost ispred oružja - lansera.

S obzirom na dodatno osiguranje razlikujemo tri slučaja:

- a) upaljači sa ugrađenim podsistemom koji osigurava potpun prekid pirotehničkog lanca, tako da se, s jedne strane, ispred mesta prekida nalaze svi pirotehnički elementi (inicijalna kapsla, detonaciona kapsla i dr.), a sa druge strane, iza mesta prekida - detonator i glavno punjenje projektila. U staroj, neadekvatnoj terminologiji upaljač sa takvim podsistemom dopunskog osiguranja nazivan je **potpuno osigurani** upaljač.
- b) upaljači sa ugrađenim podsistemom koji prekida pirotehnički lanac iza najosetljivijeg elementa u lancu (inicijalne kapsle), dok detonaciona kapsla i ostali prenosni pirotehnički elementi ostaju u

stalnoj vatrenoj vezi sa detonatorom i osnovnim eksplozivnim punjenjem. Takvo rešenje primenjuje se najčešće kod upaljača malih dimenzija, jer za ugradnju uređaja za prekid plamenog impulsa inicijalne kapsle nije potreban veliki prostor. Upaljači sa takvim sistemom dopunskog osiguranja nazivani su u staroj terminologiji **poluosigurani** upaljači.

c) upaljači bez podsistema za dopunsko osiguranje, tj. sa pirotehničkim elementima u "otvorenom nizu", odnosno u stalnoj vatrenoj vezi sa detonatorom. Takvi upaljači nazivani su u staroj terminologiji **neosigurani** upaljači.

Sami nazivi "poluosiguran" i "neosiguran" upaljač na samo da su pogrešno odabrani (svi upaljači imaju odgovarajući neophodni podsistem za osnovno osiguranje), već unose zabunu i strah među korisnike (za onog ko nije detaljno upućen u konstrukciju i funkcionisanje upaljača, "neosiguran" je isto što i nesiguran). Suštinski, dopunski sistem osiguranja povećava sigurnost upaljača prvenstveno u raznim vanrednim slučajevima (kod upaljača oštećenih korozijom usled neadekvatnog skladištenja, u slučaju promene osetljivosti pirotehničkih elemenata zbog starenja i čuvanja u nepovoljnim uslovima, u slučaju nepoštovanja režima vatre i propisa o rukovanju municijom, u slučaju požara i sl.). U normalnim uslovima rukovanja i upotrebe, upaljači sa prekinutim pirotehničkim lancem i oni kod kojih je pirotehnički lanac otvoren podjednako su sigurni.

15.2 Funkcionalna kompozicija upaljača

Svi upaljači, ma koliko jednostavni ili komplikovani bili, formirani su od nekoliko podsistema čijim se delovanjem osiguravaju tražene funkcionalne ili eksploatacione karakteristike upaljača kao celine. Dva osnovna zahteva koji se postavljaju pred svaki upaljač su:

- a) da bude pouzdan u borbenoj upotrebi, tj. da pouzdano obavlja svoju funkciju u sklopu projektila ili mine i
- b) da bude potpuno siguran u toku skladištenja, transporta i u svim fazama pripreme za upotrebu.

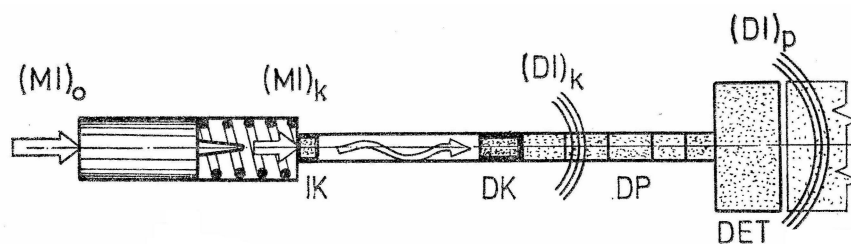
Ovi zahtevi mogu se ostvariti na razne načine, ali se praktično sva konstruktivna rešenja mogu prema funkciji razvrstati u nekoliko podsistema, i to:

- 1) podsistem nosilac funkcije,
- 2) podsistem pirotehničkih elemenata,
- 3) podsistem za armiranje,
- 4) podsistem za osiguranje,
- 5) telo upaljača sa spojnim elementima.

Ovi osnovni podsistemi mogu prema potrebi biti dopunjeni dodatnim podsistemima u koje spadaju:

- 6) podsistem za samolikvidiranje ili neutralisanje,
- 7) podsistem za početno aktiviranje,
- 8) podsistem za određivanje vremena reagovanja.

Funkcionalno komponovanje upaljača integracijom tih podsistema u celinu koja će odgovarati postavljenim zahtevima može se najbolje objasniti opisom nastajanja jednostavnog mehančkog upaljača. U ovom slučaju zadatak upaljača je da prilikom udara projektila u cilj aktivira glavno punjenje projektila, tj. izazove njegovu detonaciju. Prema tome, treba transformirati mehanički impuls koji je rezultat dodira vrha projektila/upaljača sa ciljem $(MI)_0$ (sl. 1) u detonacioni impuls dovoljnog intenziteta za inicijaciju osnovnog punjenja $(DI)_p$.



Slika 1. Podsystem nosilac funkcije

Za pouzdano odvijanje ove transformacije treba:

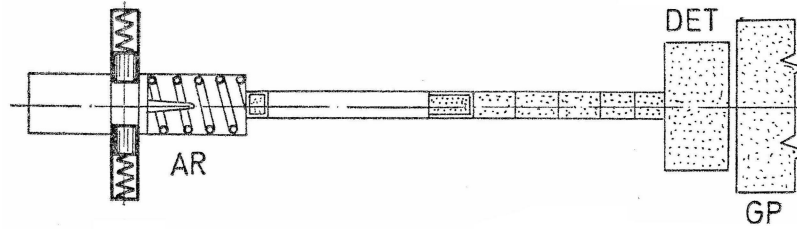
- a) pretvoriti mehanički impuls $(MI)_0$, koji može biti različit prema intenzitetu i smeru delovanja (udari raznim brzinama i pod različitim uglovima u prepreke različitih fizičkih osobina), u kontrolisani mehanički impuls potreban za sigurnu inicijaciju pirotehničkog lanca $(MI)_k$; tu ulogu u ovom slučaju ima udarni mehanizam sa oprugom i iglom, pa predstavlja *podsystem nosilac funkcije upaljača*;
- b) osigurati pouzdanu inicijaciju pirotehničkog lanca ugradnjom elementa koji reaguje na kontrolisani mehanički impuls; u ovom slučaju to je inicijalna kapsla (IK), koja kontrolisani mehanički impuls pretvara u plameni impuls $(PI)_k$ dovoljnog intenziteta za pouzdano aktiviranje sledećeg elementa u pirotehničkom lancu;
- c) plameni impuls $(PI)_k$ pretvoriti u početni detonacioni impuls, što se postiže ugradnjom posebnog pirotehničkog elementa (detonacione kapsle DK) koja impuls $(PI)_k$ pretvara u detonacioni impuls $(DI)_k$;
- d) početni detonacioni impuls preneti posredstvom detonacionih prenosnika (DP) do detonatora (DET) u kome se impuls $(DI)_k$ pojačava do intenziteta $(DI)_p$ dovoljnog za pouzdanu inicijaciju osnovnog punjenja projektila ili detonatorskih pojačnika u osnovnom punjenju projektila.

Inicijalna kapsla, pirotehnički elementi za prenošenje, pojačavanje i eventualno usporavanje plamenog impulsa, detonaciona kapsla, detonatorski prenosnici i detonator su elementi tzv. pirotehničkog ili inicijalnog lanca upaljača, u kojem se obavlja kontrolisana transformacija impulsa od mehaničkog do detonacionog. Izradom osnovnog punjenja projektila od eksploziva praktično neosetljivog na sve impulse osim detonacionog (tj. od eksploziva koji se ne može aktivirati udarima do kojih može doći prilikom upotrebe ili toplotnom energijom kojoj projektil normalno može biti izložen, već samo impulsom detonacione kapsle) znatno se povećava sigurnost pri rukovanju municijom. Ako se od eksploziva neosetljivog na udar izrade i drugi elementi pirotehničkog lanca (DET, DP, DK) ostaje kao jedini osetljivi element inicijalna kapsla, pa i ona u datom slučaju treba da reaguje samo na kontrolisani ubod igle određenog oblika koja u trenutku dodira sa kapslom poseduje odgovarajuću kinetičku energiju. Pirotehnički lanac je, ustvari, jedna od komponenata kojima se ostvaruje *osnovno osiguranje upaljača*, o čemu treba voditi računa prilikom njegovog projektovanja i izbora pirotehničkih elemenata.

Da ne bi došlo do udara igle u kapslu prilikom rukovanja, u letu i u drugim slučajevima kada na iglu deluju sile manjeg intenziteta, udarni mehanizam je snabdeven *osiguračem*, u ovom slučaju oprugom. Opruga, međutim, ne može sprečiti udar igle u kapslu pri većim inercijalnim ili reakcionim opterećenjima (naprimer, u slučaju pada projektila sa veće visine na tvrdi prepreku), pa bi samo na ovaj način osiguran sistem bio opasan za rukovanje. Ustvari, treba onemogućiti da igla dođe u dodir sa kapslom u bilo kojim okolnostima, osim kada je projektil normalno lansiran.

Konstruktor treba da odabere stanja koja izazivaju određene kontrolisane sile samo prilikom lansiranja i ni u jednoj drugoj situaciji u kojoj se projektil može naći prilikom transporta i rukovanja, i da ih iskoristi za aktiviranje mehanizama ili uređaja koji će pripremiti podsistem nosilac funkcije za delovanje, nakon što je projektil normalno lansiran. Taj mehanizam ili uređaj u upaljaču naziva se *podsystem za armiranje* ("zapinjanje" upaljača).

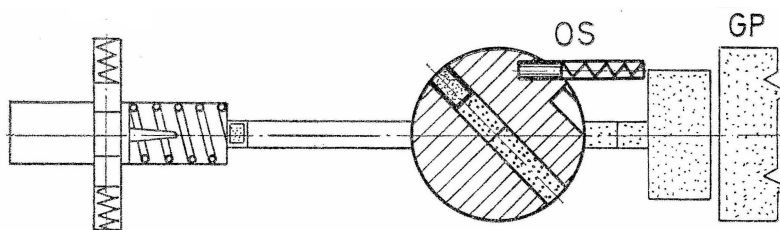
Na sl. 2 za armiranje je iskorišćena centrifugalna sila, koja se javlja pri rotaciji projektila. Osigurači mehanizma (opruge) su dimenzionisani tako da do oslobađanja udarne igle može doći samo pri brojevima obrtaja karakterističnim za normalno lansiranje projektila. Centrifugalni mehanizmi, da bi bili sigurni, uvek se izgrade sa najmanje dve mase postavljene tako da se kreću u suprotnim smerovima, kako bi ih zajedno mogle pokrenuti samo centrifugalne sile a ne, naprimer, inercijalna sila pri padu projektila na bok.



Slika 2. Podsystem za armiranje

Ugradnjom podsystema za armiranje potpuno je ostvareno *osnovno osiguranje upaljača*, tj. onemogućeno je da u normalnim (pa i mnogim nenormalnim) uslovima rukovanja igla aktivira inicijalnu kapslu. Inicijalna kapsla, međutim, kao najosetljiviji element u pirotehničkom lancu može biti aktivirana protiv volje korisnika i u nekim slučajevima, za koje osnovno osiguranje nije dovoljno, naprimer u slučaju pada projektila sa veće visine na tvrdi prepreku, kada može doći do razbijanja i gnječenja tela upaljača, u slučaju požara, pregrevanja municije usled nepoštovanja režima vatre i slično. Ovakvi slučajevi postaju posebno opasni ako kapsla zbog starenja ili korozije izgubi prvobitne osobine i postane osetljivija na udare i potrese, ili ako iz bilo kojih razloga dodje do ispadanja kapsle iz njenog ležišta.

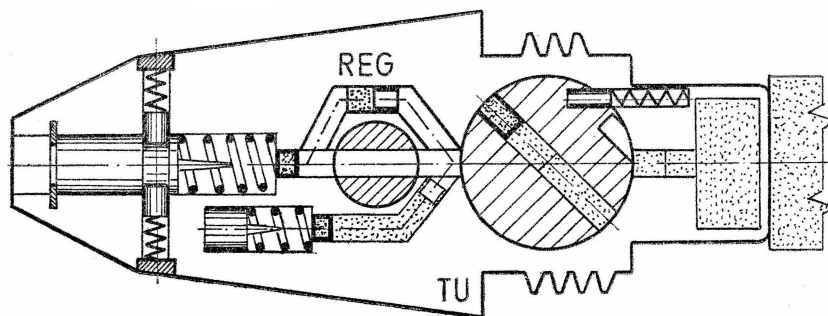
Osigurati osnovno punjenje u ovakvim slučajevima moguće je samo na taj način da se osetljivi elementi (inicijalna i detonaciona kapsla) izoluju od detonatora i osnovnog punjenja u toku skladištenja, transporta i rukovanja, sve dok odgovarajući senzor ne signalizira da je projektil normalno lansiran. Prema tome, treba ugraditi uređaj (mehanizam), koji će uspostavljati pirotehnički lanac (vatrenu vezu između kapsle i detonatora) nakon lansiranja, dok će u svim ostalim situacijama u kojima se upaljač sam ili na projektilu može naći u toku svog životnog veka, pirotehnički lanac biti prekinut i onemogućeno prenošenje impulsa na detonator, ako dođe do slučajnog, neželjenog aktiviranja kapsle. Reč je, dakle, o *dopunskom osiguranju upaljača* i, kako za *podsystem za osiguranje* (uobičajeni naziv ovog podsystema) u pogledu aktiviranja važe isti principi kao za podsystem za armiranje (aktiviranje se dopušta samo u slučaju normalnog lansiranja projektila), javljaju se tendencije da se oba podsystema posmatraju kao jedinstveni podsystem za armiranje i osiguranje. Ipak, zbog više konstruktivnih osobenosti, zgodnije je te sisteme posmatrati odvojeno, naravno vodeći računa o tome da su prema nameni u mnogo čemu srodni i da zajednički određuju udaljenost ispred orudja na kojoj će upaljač biti spreman za delovanje. U primeru na sl. 3 odabran je jednostavan mehanizam sa centrifugalnim rotorom i inercijalnim osiguračem, koji se dosta često sreće kod savremenih konstrukcija.



Slika 3. Ugradnja podsistema za osiguranje

Upaljač sa svojim podsistemom nosiocem funkcije, pirotehničkim elementima, podsistemom za armiranje i podsistemom za osiguranje praktično je kompletan i velikoj većini upaljača za projekte ništa drugo i nije potrebno.

Ako je neophodno uništiti projektil ukoliko promaši cilj da prilikom pada ne bi nanio štetu vlastitim snagama (projektilski sistemi koji se koriste za protivvazдушnu odbranu sopstvene teritorije) u projektil se ugrađuje samolikvidator. Na sl. 4 prikazan je pirotehnički samolikvidator, koji se aktivira prilikom ispaljivanja projektila pomoću inercijalnog podsistema za početno aktiviranje.



Slika 4. Funkcionalno formiranje upaljača integracijom podsistema

Uređaj (podsistem) za izbor vremena reagovanja upaljača prikazan je u datom primeru u obliku čepa kojim se otvara ili zatvara kanal za direktno prenošenje plamena na kapslu, pa se, ukoliko se želi da upaljač reaguje sa usporenjem, plameni impuls inicijalne kapsle prenosi na pirotehnički usporoč. Na taj način, upaljač može da funkcioniše sa dva konstantna vremena usporenja.

Iz eksploatacionih i sigurnosnih razloga najpovoljnije je da upaljač bude poseban sklop, koji se može jednostavno postaviti na projektil i prema potrebi brzo skinuti i zato se postavlja obično u telo ili kućište. Pored toga što funkcionalno objedinjuje podsklopove i štiti ih od spoljašnjih mehaničkih i ambijentalnih uticaja, telo upaljača sadrži kanale za prenošenje plamenih impulsa, šupljine - vođice za pojedine pokretne elemente i spojne elemente (navoje i sl.) za montažu upaljača na projektil. Zbog toga, racionalnom oblikovanju tela upaljača treba posvetiti posebnu pažnju, naročito kada postoje ograničenja u pogledu spoljnog oblika i gabarita upaljača.

3. Kompozicione šeme upaljača

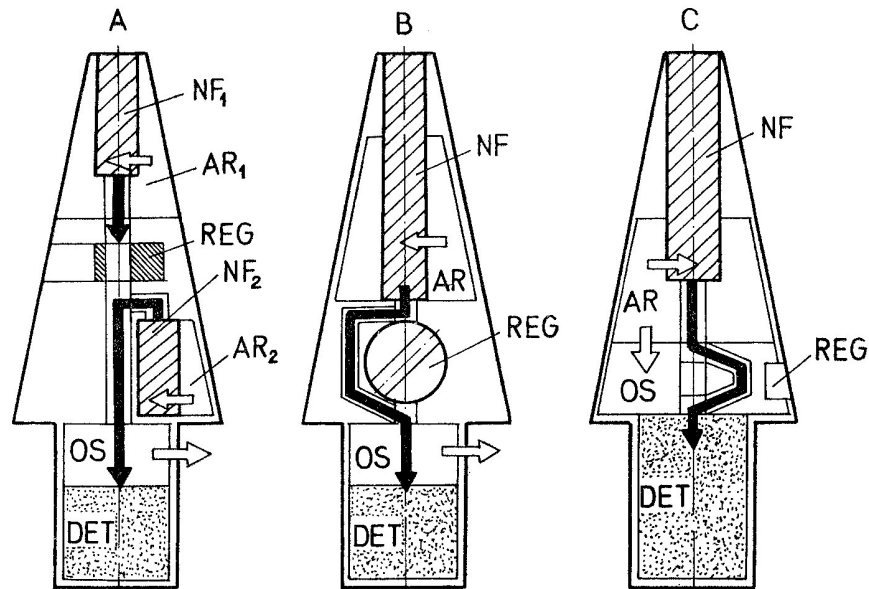
Postoji veliki broj načina na koji se pomenutih pet, ili najviše osam, podsistema mogu sastaviti u jedan sklop. Mogućnost primene različitih fizičkih i hemijskih procesa, različitih sila i ambijentalnih uticaja u radu upaljača višestruko povećava broj varijanti. Analiza najuspešnijih konstrukcija ukazuje na pravila koja treba slediti pri komponovanju upaljača. Ova pravila ćemo ilustrovati na dva

primera prednjih upaljača – primer udarnog (mehaničkog, kontaktnog) i blizinskog (elektronskog) upaljača.

Prednji upaljači se primenjuju u svim slučajevima kada:

- upaljač treba da deluje pri prvom kontaktu sa ciljem,
- upaljač treba da ima veliko vidno polje (nesmetana emisija i detekcija elektromagnetnog zračenja, laserskih zraka, IC zračenje i sl.),
- projektil ne treba da probija prepreke velike otpornosti.

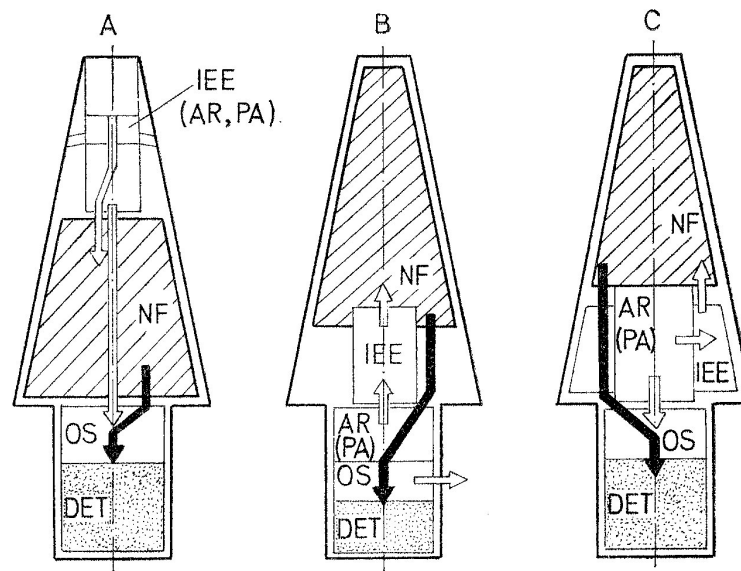
Prednji položaj upaljača pogodan je iz eksploatacionih razloga – takvi upaljači su pristupačni i jednostavni za montažu, što posebno dolazi do izražaja kod raketnih projektila. Oblik prednjeg upaljača značajno utiče na aerodinamičke karakteristike projektila. Prednji upaljači su se u pravilu ne koriste kod bojnih glava kumulativnih projektila, jer je punjenje potrebno aktivirati pri prvom kontaktu projektila sa preprekom, a prednji upaljač ometa formiranje i kretanje kumulativnog mlaza. Kod prednjih kontaktnih upaljača (sl. 5) postavljanjem udarnog mehanizma na sam vrh upaljača dobija se na brzini reagovanja i sasvim je logično da mehanizam bude reakcionog tipa, tj. da deluje usled pojave sile reakcije pri kontaktu sa preprekom. Kod šema B i C aktiviranje upaljača se uvek obavlja putem ovog mehanizma (usporeno delovanje ostvaruje se pomoću usporeača), dok je kod šeme A udarni mehanizam na vrhu (NF_1) predviđen za trenutno delovanje. Za usporeno delovanje predviđen je drugi inercijalni mehanizam NF_2 . Regulator u ovom slučaju služi za razdvajanje ovih podistema od koji svaki ima svoj podsistem za armiranje (AR_1 i AR_2). Podsystem za osiguranje je nezavisan od podistema za armiranje, dok je detonator DET kod sve tri kompozicione šeme smešten tako da bude u neposrednom dodiru sa glavnim punjenjem. Specifičnost kompozicione šeme B je jedinstven sistem nosilac funkcije sa svojim podsystemom za armiranje i nezavisan sistem za osiguranje. Kod kompozicione šeme C podsystem za osiguranje je povezan sa podsystemom za armiranje i ujedno (zavisno od položaja koji se bira regulatorom REG) određuje da li će upaljač delovati trenutno ili sa usporenjem.



Slika 5. Kompoziciona šema prednjeg kontaktnog upaljača sa dva vremena reagovanja

Kompozicione šeme doplerovog blizinskog upaljača predstavljene na sl. 6 u velikoj meri su uslovljene vrstom izvora električne energije (IEE) za napajanje podistema nosioca funkcije.

U prvom slučaju (kompoziciona šema A) izvor električne energije je generator koji pokreće vazдушna turbina. Sklop generator-turbina je ujedno i podsistem za armiranje i početno aktiviranje, koji može mehaničkim putem aktivirati i podsistem za osiguranje. Kod kompozicione šeme B izvor električne energije je termička baterija koju aktivira sistem za armiranje (odnosno početno aktiviranje), dok je podsistem za osiguranje nezavisan. Kod kompozicione šeme C podsistem za armiranje (AR odnosno PA) aktivira podsistem nosilac funkcije tako da prilikom lansiranja projektila puni elektrolitom suvo saržirani akumulator i ujedno daje impuls za aktiviranje podsistema za osiguranje, odnosno uspostavljanje vatrene veze između električne kapisle i detonatora. Detonatori su u svim slučajevima u neposrednoj vezi sa glavnim punjenjem projektila.



Slika 6. Kompoziciona šema blizinskih upaljača

Zanimljivu kombinaciju razmotrenih šema predstavlja upaljač na sl. 7 koji ima dva nosioca funkcije – elektronski doplerov radio-primopredajnik za blizinsko delovanje i mehanički sistem koji obezbeđuje trenutno delovanje i delovanje sa usporenjem. Rešenje poseduje značajne eksploatacione prednosti, ali je veoma skupo.



Slika 7. Blizinski upaljač sa mehaničkim udarnim mehanizmom koji obezbeđuje trenutno ili usporeno dejstvo

4. Delovanje pojedinih tipova upaljača

4.1. Mehanički upaljači

Zbog svoje jednostavnosti, pouzdanosti, niske cene, trajnosti pri skladištenju i nepostojanja mogućnosti za ometanje, mehanički upaljači i danas imaju daleko najveći udeo u proizvodnji i upotrebi. Treba napomenuti da i električni i elektronski upaljači imaju mehaničke podsklopove (npr. uređaje za prekidanje pirotehničkog lanca) koji se teško mogu zameniti npr. elektronskim. Funkcija mehaničkih podsklopova zasniva se na delovanju sila i momenata izazvanih kretanjem projektila, odnosno otporom sredine (inercijalne sile, centrifugalne sile i momenti, reakcione sile i momenti, aerodinamičke sile i momenti, sile i momenti opruga itd.).

4.1.1. Udarni i satni mehanizmi

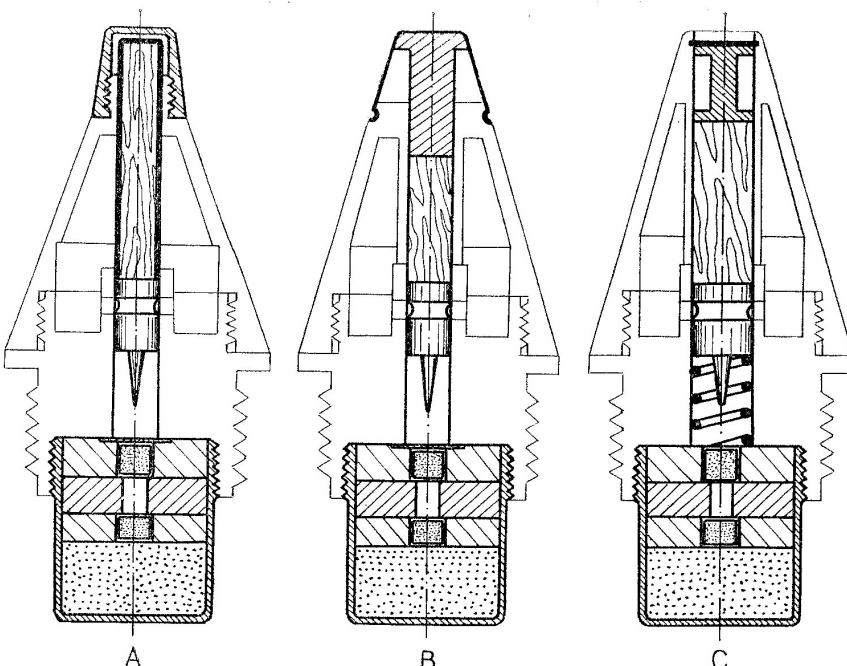
Udarni mehanizmi su nosioci funkcije mehaničkih upaljača koji treba da deluju u neposrednom kontaktu sa ciljem ili posle prodiranja u prepreku. Satni mehanizmi su nosioci funkcije mehaničkih tempiranih upaljača koji deluju posle unapred određenog vremena bez obzira na prisustvo cilja.

Udarni mehanizmi mogu biti:

- reakcioni, koji aktiviraju pirotehnički lanac upaljača usled delovanja sile reakcije prepreke (podloge, cilja).
- inercijalni, koji aktiviraju pirotehnički lanac upaljača pod delovanjem inercijalnih sila nastalih usled usporenja projektila posle kontakta sa preprekom, odnosno ciljem,
- reakciono-inercijalni, predstavljaju kombinaciju reakcionih i inercijalnih mehanizama sa povećanom pouzdanošću mehanizama.

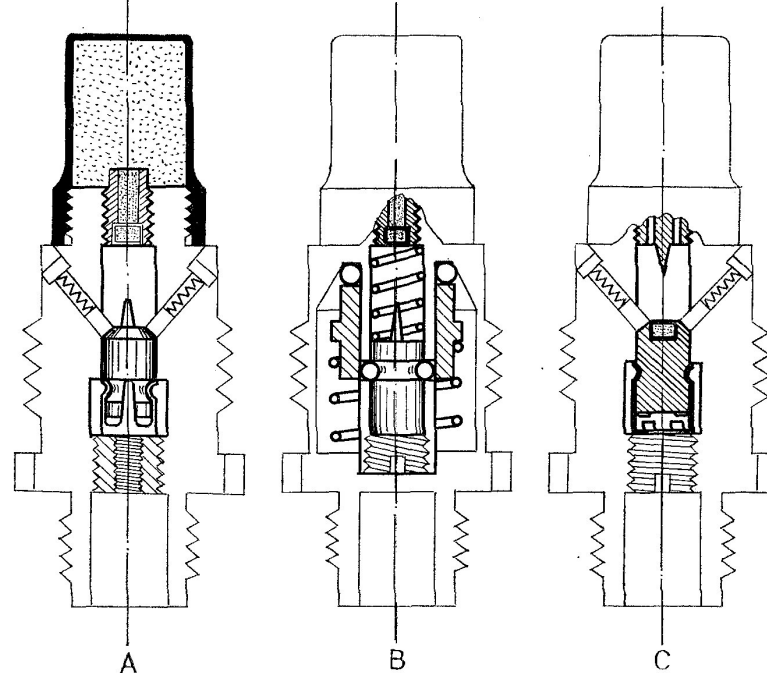
Reakcioni udarni mehanizmi, što se tiče konstrukcione realizacije, mogu biti:

- a) reakcioni mehanizmi sa trnom, sl. 8a
- b) reakcioni mehanizmi sa zatvorenim trnom, sl. 8b
- c) reakcioni mehanizmi sa membranom, sl. 8c.



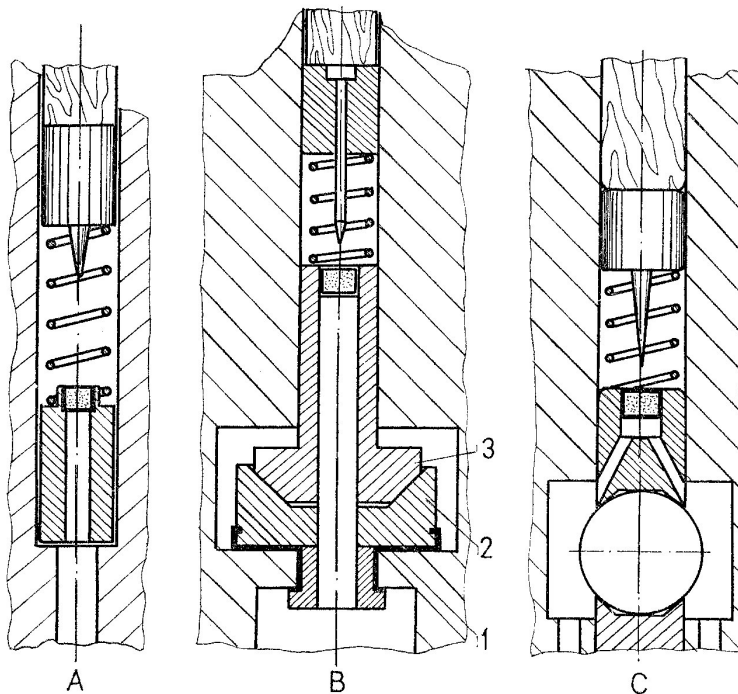
Slika 8. Konstrukcione šeme reakcionih udarnih mehanizama: a) reakcioni udarni mehanizam sa trnom, b) reakcioni udarni mehanizam sa zatvorenim trnom, c) reakcioni udarni mehanizam sa membranom

Inercijalni udarni mehanizmi su složeniji za projektovanje i zasnivaju se na korišćenju inercijalnih sila koje deluju na projektil u toku probijanja prepreke. Nekoliko tipičnih primera inercijalnih udarnih mehanizama predstavljeno je na sl. 9.



Slika 9. Inercijalni udarni mehanizmi: a) mehanizam sa krutim osiguračem i centrifugalnim armiranjem (inercijalni element je udarna igla), b) mehanizam sa elastičnim osiguračem i inercijalnim armiranjem (inercijalni element je udarna igla), c) mehanizam sa centrifugalnim armiranjem i krutim osiguračem (inercijalni element je nosač inicijalne kapišle)

Nekoliko rešenja kombinovanih reakciono-inercijalnih mehanizama prikazano je na sl. 10.



Slika 10. Reakciono-inercijalni mehanizmi: a) jednostavni reakciono-inercijalni mehanizam, b) reakciono-inercijalni udarni mehanizam sa dodatom masom (2) kojom se osigurava delovanje upaljača prilikom rikošeta projektila, c) reakciono-inercijalni mehanizam sa kuglom koja obavlja funkciju dodatne mase

Satni mehanizmi, zajedno sa pirotehničkim uređajima predstavljaju osnovne mehanizme - nocioce funkcije kod tempirnih upaljača. Mehanički satni mehanizam je povezan sa iglom za aktiviranje kapisle do čijeg aktiviranja dolazi posle tačno određenog vremena. Prema načinu pogona mehanizma razlikuju se:

- satni mehanizmi sa direktnim pogonom, kod kojih se mehanička energija dobija direktnim korišćenjem centrifugalne sile u toku leta,
- satni mehanizmi s akumuliranom pogonskom energijom, kod kojih se akumulirana energija (u pravilu sabijanje opruge) postepeno troši do konačnog izvršenja funkcije.

4.1.2. Mehanizmi za armiranje

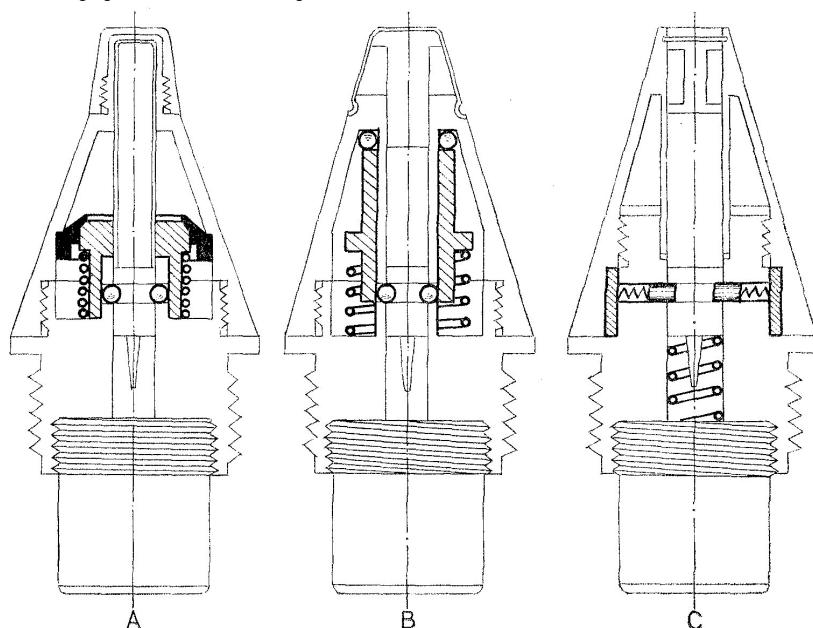
Kao što je ranije navedeno, podsistem za armiranje priprema podsistem nosilac funkcije za delovanje kada je projektil normalno lansiran, dok u svim drugim slučajevima opterećenja podsistem nosilac funkcije treba da ostane blokiran. Podsistem za armiranje je, prema tome, deo osnovnog osiguranja upaljača i učestvuje u ostvarivanju sigurnosti upaljača u toku skladištenja, transporta i rukovanja, kao i u toku procesa lansiranja i ispred samog oruđa, tj. na početnom delu putanje.

Sastavni deo svakog uređaja za armiranje je senzorski element ili podsklop izabran i podešen da reaguje samo u slučaju regularnog lansiranja projektila. Ovaj element može da reaguje na dejstvo:

- translatorne inercijalne sile po intenzitetu i trajanju karakteristične za slučaj normalnog lansiranja projektila,
- centrifugalne sile koja je tipična za normalno lansiranje projektila,
- strujanje vazduha oko projektila brzinom koja odgovara početnoj brzini projektila pri regularnom lansiranju,
- pritisak u raketnom motoru koji se ostvaruje u radnom režimu,
- svesno direktno delovanje čoveka pri ručnom armiranju upaljača.

Prema novijim standardima, armiranje u svim slučajevima treba da se vrši kombinovano, preko dva elementa (senzora) koji registruju dva stanja tipična za normalno lansiranje (npr. ubrzanje i rotaciju, ubrzanje i pritisak, direktno delovanje i strujanje vazduha itd).

Na sl. 11 prikazana su tri osnovna rešenja podsistema za armiranje koji se kod novijih upaljača primenjuju u kombinaciji.



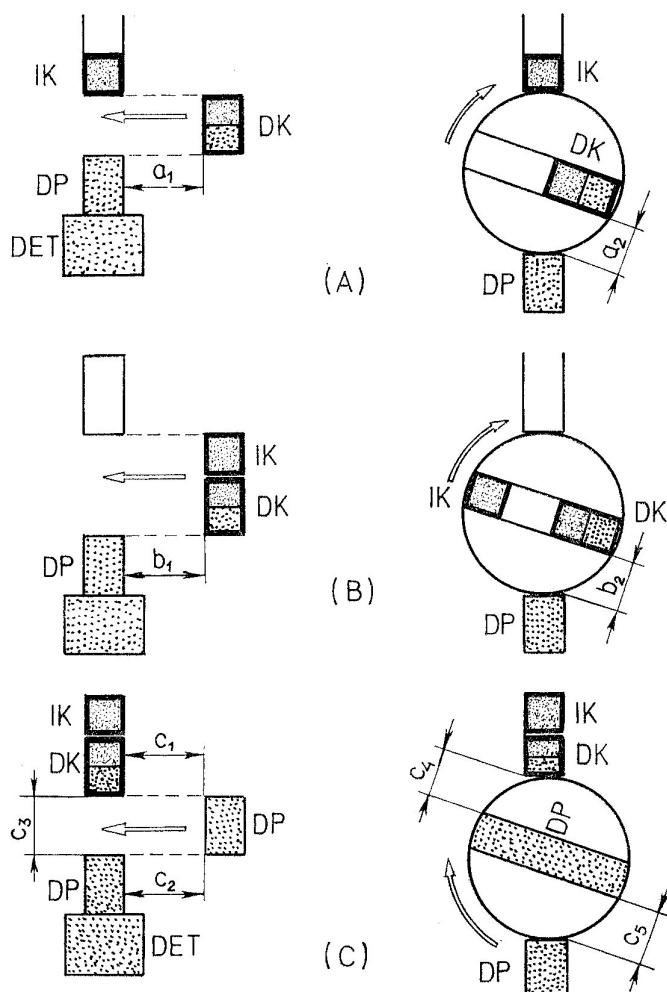
Slika 11. Šematski prikaz jednostavnih mehaničkih sistema za armiranje: a) mehanizam za armiranje sa inercijalnom čaurom, b) mehanizam za armiranje sa inercijalnom čaurom i kuglicom. c) centrifugalni mehanizam za armiranje sa pravolinijskim kretanjem

4.1.3. Mehanizmi za osiguranje

Mehanizmi za osiguranje mogu se podeliti na:

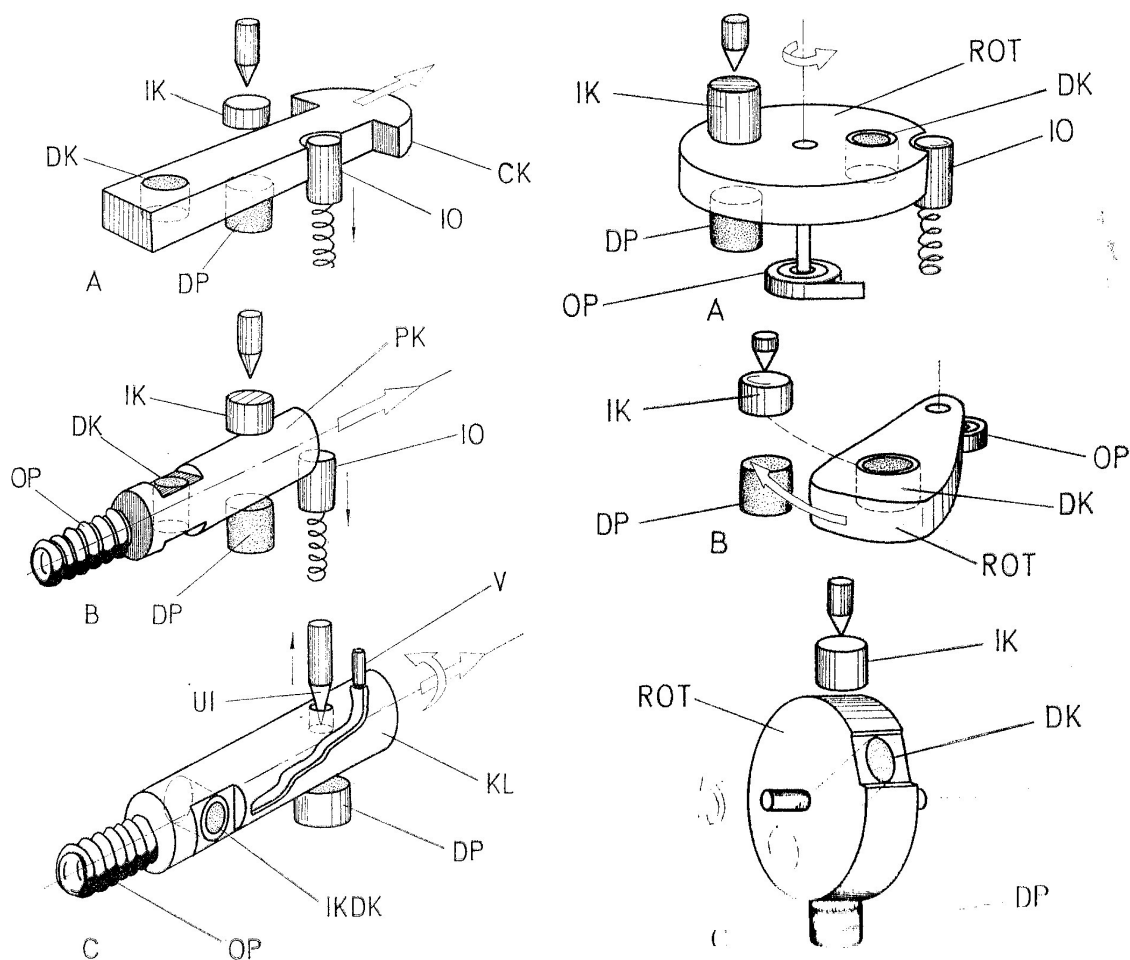
- uređaje koji obezbeđuju prekid (prigušenje) detonacionog impulsa,
- uređaje koji osiguravaju prekid plamenog impulsa.

Tri osnovna načina prekidanja pirotehničkog lanca iza detonacione kapisle prikazana su na sl. 12 i to u translacionoj i rotacionoj varijanti.



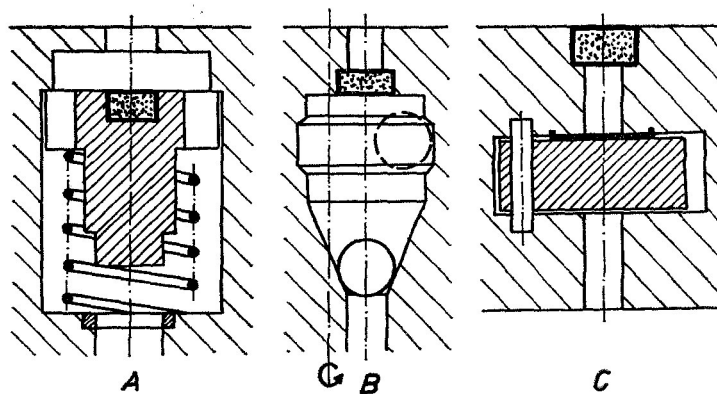
Slika 12. Šematski prikaz mogućnosti prekidanja pirotehničkog lanca iza detonacione kapisle u translacionoj varijanti (klizač, levo) i rotacionoj varijanti (rotor, desno)

Nekoliko načina na koje se može praktično izvesti prekidanje pirotehničkog lanca prikazano je na sl. 13.



Slika 13. Konstrukciona rešenja klizača (levo) i rotora (desno) u podsystemu za prekidanje pirotehničkog lanca

Kod mehanizama za prekidanje plamenog impulsa treba osigurati potpuno zaptivanje kanala kroz koji se prenosi plamen, odnosno kroz koji struje vreli gasovi – produkti sagorevanja punjenja inicijalne kapisle ili pojačavača plamena. Klasična podela ovih uređaja obuhvata mehanizme sa zaptivkom, kuglicom i membranom (sl. 14).



Slika 14. Šematski prikaz uređaja za prekidanje pirotehničkog lanca iza inicijalne kapisle: a) mehanizam sa zaptivkom, b) mehanizam sa kuglicom, c) mehanizam sa membranom

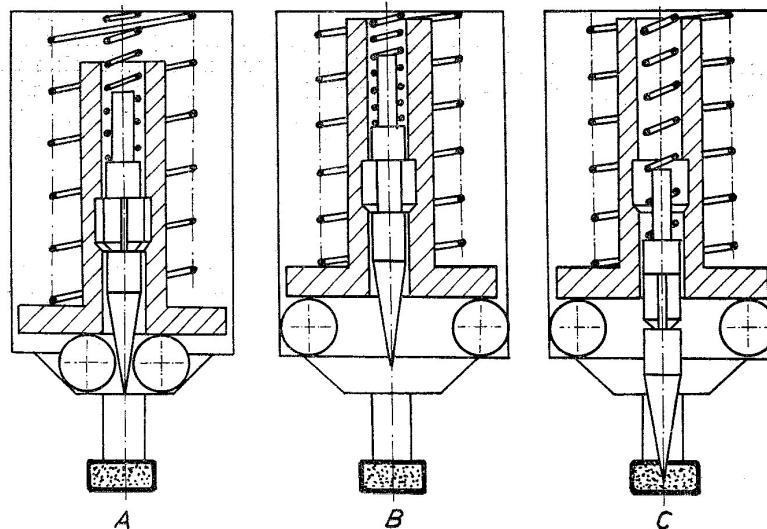
4.1.3. Mehanizmi za samolikvidaciju i neutralizaciju

Samolikvidacijom nazivamo proces planskog uništenja projektila ako posle izvesnog vremena leta ili pređenog puta ne pogodi cilj.

U slučaju neutralizacije upaljač se prevodi iz aktivnog stanja nazad u „mrtvo“ stanje, obično posle isteka određenog vremena.

Samolikvidacija i/ili neutralizacija mogu se kod većih sistema (rakete velikog dometa, kopnena i morska minska polja i sl.) izvoditi i komandnim putem, obično emitovanjem određenog signala, ali je kod manjih sistema uobičajeno da se ti procesi obavljaju automatski.

Pored satnih i pirotehničkih mehanizama, najveću primenu imaju mehanizmi koji funkcionišu na principu pada broja obrtaja projektila u toku leta. Jedno od mogućih rešenja predstavljeno je na sl. 15.

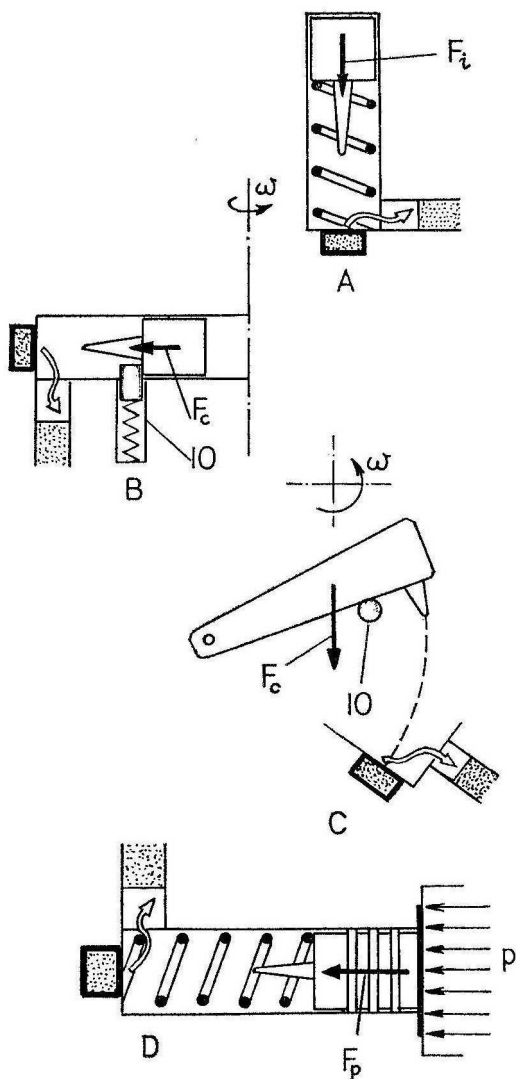


Slika 15. Mehanizam za samolikvidaciju na principu pada broja obrtaja: a) položaj delova pre opaljenja, b) položaj delova u toku leta prema cilju, c) samolikvidacija

4.1.4. Mehanički uređaji za početno aktiviranje

Svi nekontaktni upaljači (tempirni, blizinski, ambijentalni, komandni) počinju funkcionisati već od trenutka lansiranja projektila ili neposredno posle lansiranja. Takvim upaljačima je potreban uređaj koji će ih u željenom trenutku pustiti u rad i taj uređaj nazivamo uređaj za početno aktiviranje.

Na sl. 16 prikazano je nekoliko vrsta mehanizama koji se primenjuju za početno aktiviranje pirotehničkih tempirnih uređaja i pirotehničkih uređaja za samolikvidaciju, kao i za inicijaciju pirotehničkih elemenata u podsistemima za daljinsko armiranje. Kod klasičnih projektila sa velikim početnim ubrzanjem najčešće se primenjuje inercijalni mehanizam za početno aktiviranje, sl. 16a. Kod upaljača za raketne žiroskopski stabilisane projekte koji se lansiraju sa malim ubrzanjem ali rotiraju velikim ugaonim brzinama primenjuju se centrifugalni mehanizmi za početno aktiviranje, bilo sa pravolinijskim (sl. 16b) ili rotacionim kretanjem (sl. 16c). Mehanizmi u oba slučaja mogu imati inercijalne osigurače (IO). Ukoliko nema ni dovoljno velikog stratnog ubrzanja ni dovoljno velike ugaone brzine, za početno aktiviranje tempirnih upaljača može se iskoristiti pritisak gasova u raketnom motoru (sl. 16d).



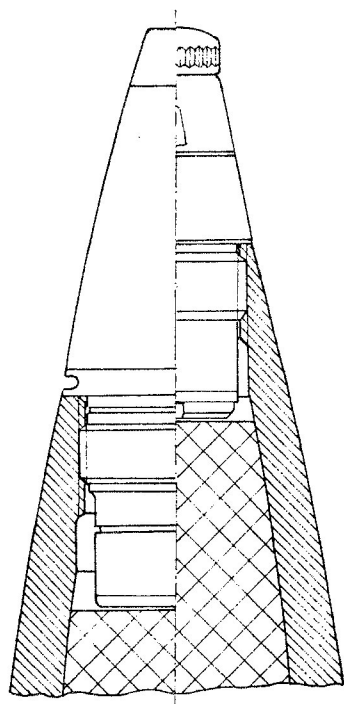
Slika 16. Šematski prikaz mehanizama za početno aktiviranje upaljača: a) inercijalni mehanizam za početno aktiviranje, b) centrifugalni mehanizam za početno aktiviranje s pravolinijskim kretanjem, c) centrifugalni mehanizam za početno aktiviranje sa rotacionim kretanjem, d) mehanizam za početno aktiviranje uz korišćenje pritiska gasova u raketnom motoru

4.1.5. Telo upaljača

Telo upaljača povezuje sve elemente i podсистeme u jednu celinu, štiti ih od spoljašnjih mehaničkih i ambijentalnih uticaja, obezbeđuje vezu među podсистemima, u njemu se nalaze ležišta-vodice za pojedine pokretne i nepokretne sisteme, kanali za prenos plamena itd. Na telu upaljača se nalaze i odgovarajući elementi za vezu i sigurno postavljanje na projektil, odnosno bojnu glavu.

Pri oblikovanju tela upaljača osnovni problem je racionalno smeštanje i povezivanje svih elemenata i podсистema tako da se obezbedi tražena funkcija i sigurnost. Kod prednjih upaljača treba voditi računa i o aerodinamičkom oblikovanju tela upaljača. Takođe, treba imati u vidu da se isti upaljači najčešće koriste za više tipova projektila raznih kalibara, što onemogućava aerodinamičku optimizaciju tela upaljača. Tako se nametnula potreba standardizacije spoljašnjeg oblika prednjih upaljača.

Na sl. 17 dato je poređenje standardnog spoljašnjeg oblika američkih (levo) i ruskih (desno) artiljerijskih upaljača. Ruska konstrukcija daje manje i jeftinije upaljače i ostavlja više prostora za eksplozivno punjenje pri istoj dužini projektila. Američka konstrukcija, pored toga što je aerodinamički povoljnija, ostavlja dovoljno prostora za ugradnju pirotehničkih tempirnih uređaja, satnih tempirnih mehanizama, elektronskih komponenti blizinskih upaljača itd.

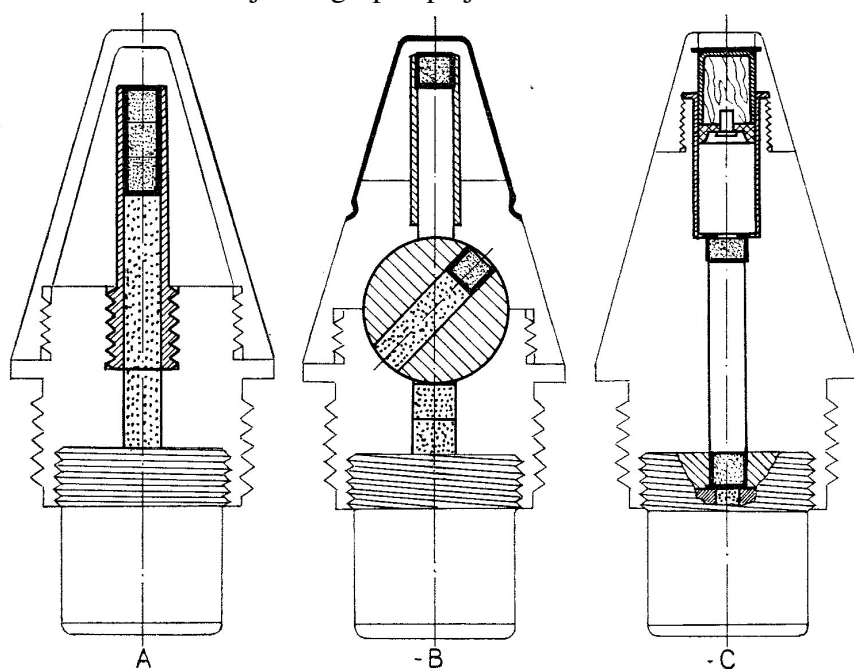


Slika 17. Poređenje standardnog spoljašnjeg oblika američkih (levo) i ruskih (desno) artiljerijskih upaljača

4.2. Pirotehnički upaljači

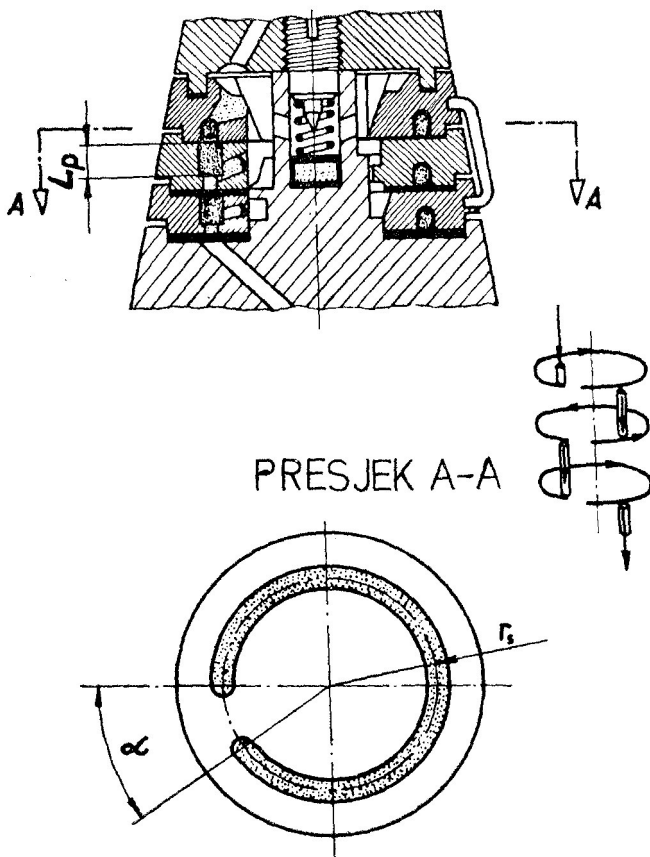
Čisto pirotehnički uređaji su veoma retki. Upaljači koje nazivamo pirotehničkim najčešće imaju određene mehaničke podsisteme, pri čemu je podsistem nosilac funkcije zasnovan na primeni pirotehničkih komponenata.

Razlikujemo dve vrste savremenih pirotehničkih upaljača. Prvu grupu čine pirotehnički kontaktni uređaji, koji se jednostavno zasnivaju na primeni specijalnih inicijalnih kapisli za čije aktiviranje nije potreban odmeren ubod igle, već se aktiviraju gnječenjem, pritiskom, itd. Osnovna konstrukciona rešenja ovog tipa upaljača ilustrovana su na sl. 18.



Slika 18. Osnovna konstrukciona rešenja kontaktnih pirotehničkih upaljača

Drugu grupu, koja se mnogo više koristi, predstavljaju pirotehnički tempirni uređaji kao nosioci funkcije upaljača. Podsystem za početno aktiviranje na samom početku kretanja projektila aktivira pirotehnički tempirni upaljač. Vreme gorenja pirotehničkih usporača može se regulisati unutar određenih granica. Posle zadatog vremena usporač aktivira sledeći element u pirotehničkom lancu najčešće inicijalnu kapislu. Danas se ovi usporači izrađuju uglavnom u obliku prstenova sa žlebovima u kojima je upresovana pirotehnička tempirna smeša. Pirotehnički tempirni uređaj načešće je komponovan kao sinhronizovan sistem od dva ili tri takva prstena koji se u pirotehničkom lancu nalaze između uređaja za početno aktiviranje i detonatora (sl. 19). Podešavanjem međusobnog položaja prstenova reguliše se vreme sagorevanja smeše i određuje tačka aktiviranja projektila na putanji.



Slika 19. Princip funkcionisanja pirotehničkog tempirnog uređaja sa tri prstena sa kanalima u koje je upresovana pirotehnička smeša

Kod tempirnih uređaja sa dva prstena jedan prsten (obično donji) je pokretan, a drugi je napokretan, dok je kod uređaja sa tri prstena srednji nepokretan a donji i gornji su povezani i pomeraju se zajedno. Skala se nanosi na donji prsten i najmanji podeoci obično imaju vrednost 0.2 s. Tempirne smeše se zasnivaju na crnom barutu (u kom slučaju je neophodno rešiti problem isticanja produkata sagorevanja) ili cirkonijumu koji ima bolje karakteristike budući da je praktično neosetljiv na vlagu i temperaturne promene.

Za slučaj smeša na bazi crnog baruta, vreme sagorevanja usporačke smeše zavisi od njenog sastava, dužine, kao i temperature i pritiska u okolnoj atmosferi. Pritisak unutar upaljača pri kom smeša sagoreva je funkcija barometarskog pritiska (visine) i dinamičkog pritiska (brzine leta projektila). Dinamički pritisak zavisi i od oblika i položaja otvora za izlaz gasova i ugaone brzine projektila. Zavisnost brzine gorenja smeše od pritiska i temperature daje se u vidu zakona

$$u = u_0 \Psi(r) \Phi(T_s), \quad (1)$$

gde su: u – brzina gorenja smeše u upaljaču, u_0 – brzina gorenja smeše u statičkim uslovima, $\Psi(r)$ – funkcija koja definiše zavisnost brzine gorenja od ukupnog pritiska (statičkog i dinamičkog) u upaljaču, $\Phi(T_S)$ – funkcija koja izražava zavisnost brzine gorenja smeše od temperature. Funkcija $\Psi(r)$ obično se za praktične potrebe daje u vidu tabela i dijagrama, a za preliminarne proračune može se primeniti približna formula

$$\Psi(r) = r^{0.7}, \quad (2)$$

gde je $r = p/p_0$ odnos pritiska u upaljaču i standardnog pritiska na površini zemlje. Funkcija $\Phi(T_S)$ daje se u vidu zakona

$$\Phi(T_S) = 1 + 0.0007(T_S - 15), \quad (3)$$

gde je T_S temperatura smeše u °C.

Pošto je brzina gorenja smeše u raznim intervalima leta projektila različita, dužina usporačke cevčice ili kanala u obliku krunog luka može se izračunati iz integrala

$$L = \int_0^t u dt = u_0 \int_0^t \Psi(r) \Phi(T_S) dt, \quad (4)$$

za svaki interval vremena gorenja, odnosno leta projektila.

Ako je kanal izveden u obliku kružnog luka radijusa r_S koji se usvaja na osnovu gabaritnih dimenzija prstena, odnosno dozvoljenog prečnika upaljača, broj tempirnih prstenova je

$$i = \frac{L}{(2\pi - \alpha)r_S}. \quad (5)$$

Budući da prethodni izraz u opštem slučaju nije ceo broj, posle orijentaciono određenog broja prstenova treba odrediti definitivni radijus kanala za usporačku smešu

$$r_S = \frac{L - L_p}{(2\pi - \alpha)i}, \quad (6)$$

gde je L_p ukupna dužina prenosnih punjenja koja služe za prenos vatre s jednog prstena na drugi. Proračun treba ponoviti više puta da bi se došlo do optimalnog broja kolutova i optimalnih vrednosti za r_S , L_p i α pri datim gabaritima upaljača.

4.3. Električni upaljači

Električni i elektronski upaljači koriste se kod vođenih raketa, artiljerijskih projektila, minobacačkih projektila i mina. Sa jedne strane, elektronika omogućava transformaciju različitih impulsa (mehanički, toplotni, akustični, radarski, itd.) u impulse potrebne za aktiviranje upaljača. Na ovaj način omogućena je relizacija upaljača koji se aktiviraju bez kontakta sa ciljem (tzv. blizinski upaljači). Sa druge strane, električni prenos impulsa omogućava realizaciju upaljača sa velikom brzinom reakcije, tzv. super-trenutnih upaljača, koji su od velikog značaja kod bojnih glava kumulativnog dejstva.

Električni upaljači se koriste kada već postoji određen izvor električne energije za napajanje drugih podsistema projektila. Ako izvor ne postoji, on mora biti sastavni deo upaljača. Najjednostavniji generator električne energije koji se može koristiti kod kontaktnih upaljača je piezoelektrični element. Takođe se koriste različite vrste baterija i minijaturnih generatora pogonjenih vazдушnim turbinama.

Električni i elektronski beskontaktni upaljači podrazumevaju dve grupe: električni tempirni upaljači i blizinski upaljači. Električni tempirni upaljači funkcionišu nezavisno od cilja (nosilac funkcije je elektronski sat), dok blizinski upaljači koriste određena svojstva cilja: emitovanje toplote, zvuka, reflektovani radarski signal, itd.

Razlikujemo četiri grupe blizinskih upaljača:

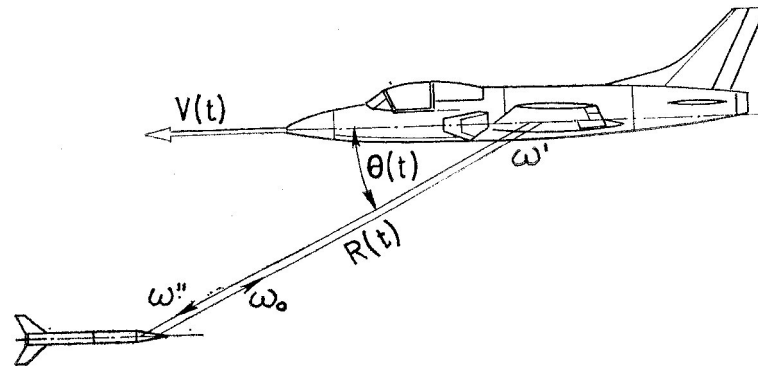
- pasivni upaljači, pored neophodnih pirotehničkih i sigurnosnih elemenata, sadrže samo senzor određenog impulsa koji cilj emituje; postoje blizinski upaljači osetljivi na delovanje IC zraka, zvuka i sl.
- upaljači osetljivi na promenu određenog fizičkog polja (npr. zemljinog magnetnog polja) usled prisustva, odnosno približavanja cilja,
- upaljači aktivnog dejstva koji sadrže uređaje za prijem impulsa koji su prethodno emitovani sa upaljača a zatim reflektovani od cilja,
- upaljači osetljivi na poremećaje izazvane prisustvom (približavanjem) cilja.

Najveću primenu imaju aktivni upaljači na bazi Doppler-ovog efekta. Upaljač sadrži minijaturni radio-predajnik koji emituje elektromagnetne talase određene frekvencije. Dok se projektil kreće prema cilju ti talasi se odbijaju od cilja, reflektovane talase prima radio-prijemnik koji je takođe smešten unutar upaljača. Frekvencija reflektovanih talasa pri tome se razlikuje od frekvencije emitovanih talasa za tzv. doplerov priraštaj frekvencije. Signal koji predstavlja razliku između emitovane i primljene frekvencije pojačava se i vodi u izvršno kolo koje u optimalnom trenutku inicira električnu kapislu. Ceo proces se može regulisati tako da do eksplozije bojne glave dođe na optimalnoj udaljenosti i pri optimalnom međusobnom položaju projektila i cilja u vazduhu, odnosno na optimalnoj visini iznad cilja na zemlji.

Radio-predajnik u upaljaču emituje elektromagnetne talase oblika

$$e = E \sin \omega_0 t = E \sin \varphi(t). \quad (7)$$

U opštem slučaju cilj (letelica) kreće se u odnosu na projektil po krivolinijskoj putanji brzinom V . Vektor brzine zatvara ugao $\theta(t)$ s pravcem koji spaja cilj i projektil (sl. 20).



Slika 20. Položaj projektila i cilja pri delovanju blizinskog upaljača

Ako je koordinatni sistem vazan za projektil, udaljenost između projektila i cilja menja se prema zakonu

$$R(t) = R_0 - \int_0^t V(t) \cos \theta(t) dt. \quad (8)$$

Kako je vreme prostiranja talasa konačno, oscilacije elektromagnetnog polja na mestu cilja kasne u odnosu na emitovane talase za vreme

$$T = \frac{R(t)}{c}, \quad (9)$$

pri čemu je $c=3 \cdot 10^8$ m/s brzina svetlosti. Trenutna faza ovih oscilacija određena je izrazom

$$\varphi'(t) = \omega_0 \left[t - \frac{R(t)}{c} \right], \quad (10)$$

gde je ω_0 frekvencija emitovanih talasa. Cilj reflektuje elektromagnetne talase kružne frekvencije

$$\omega' = \frac{d\varphi'(t)}{dt} = \omega_0 \left[1 - \frac{1}{c} \frac{dR(t)}{dt} \right]. \quad (11)$$

Zbog ponovne pojave Doppler-ovog efekta, radio-prijemnik u blizinskom upaljaču prima elektromagnetni talas frekvencije ω'' , koja se razlikuje od ω' u istom odnosu kao ω' od ω_0 , tj. važi

$$\omega'' = \omega' \left[1 + \frac{V(t) \cos \theta(t)}{c} \right]. \quad (12)$$

Ako u prethodni izraz uvedemo vrednost ω' iz (11) dobija se

$$\omega'' = \omega_0 \left[1 + \frac{V(t) \cos \theta(t)}{c} \right]^2. \quad (13)$$

Kako je $V(t)/c \ll 1$, može se u prvoj aproksimaciji napisati

$$\omega'' \approx \omega_0 \left[1 + \frac{2V(t) \cos \theta(t)}{c} \right]. \quad (14)$$

Razlika između emitovane i primljene frekvencije je

$$f_d = \frac{1}{2\pi} (\omega'' - \omega_0) = \frac{\omega_0}{2\pi} \frac{2V(t) \cos \theta(t)}{c}. \quad (15)$$

Ako je $V(t)=V_0=\text{const.}$, prethodna jednačina se pojednostavljuje i glasi

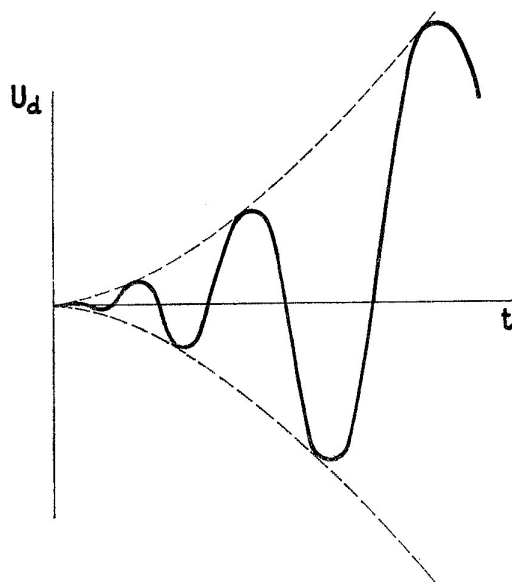
$$f_d = \frac{2V_0}{\lambda} \cos \theta(t). \quad (16)$$

Uočavamo da je doplerov priraštaj frekvencije funkcija samo ugla θ .

Pri određenoj snazi radio-predajnika blizinskog upaljača koristan domet na kojem upaljač reaguje određen je osetljivošću prijemnika, tj. nivoom šumova na ulazu u pojačavački stepen. Budući da intenzitet kako emitovanog, tako i reflektovanog elektromagnetnog talasa opada sa kvadratom udaljenosti, kao i s obzirom na jednačinu (16), doplerov signal ima oblik

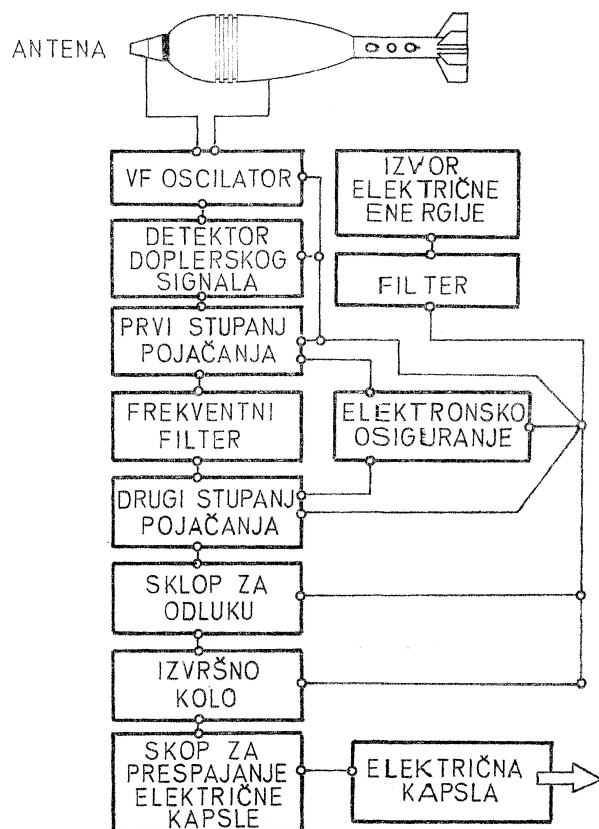
$$U_d = \frac{K}{r^4} \cos \left[2\pi \left(\frac{2V}{\lambda} \cos \theta \right) t \right], \quad (17)$$

gde je K konstanta koja zavisi od snage radio-predajnika, pojačanja antene, osetljivosti radio-prijemnika, koeficijenta refleksije i veličine refleksne površine cilja. Oblik signala nastalog zbog dvostrukog Doppler-ovog efekta prikazan je na sl. 21.



Slika 21. Oblik signala nastalog zbog dvostrukog Doppler-ovog efekta

Blok-šema blizinskog upaljača data je na sl. 22. Primopredajnik neprekidno emituje elektromagnetne talase frekvencije ω_0 . Ako se u polju talasa nađe cilj koji se u odnosu na upaljač kreće brzinom V , upaljač će primiti signal čija frekvencija zbog dvostrukog Doppler-ovog efekta odstupa od emitovane za f_d . Ovaj signal vodi se u pojačavač doplerovih frekvencija, a pojačani signal vodi se u izvršno kolo koje u određenom trenutku aktivira električnu kapislu. Kapisla je zaštićena sistemom električnih prekidača koji se nakon lansiranja projektila uključuju pod dejstvom inercijalnih, aerodinamičkih ili centrifugalnih sila.

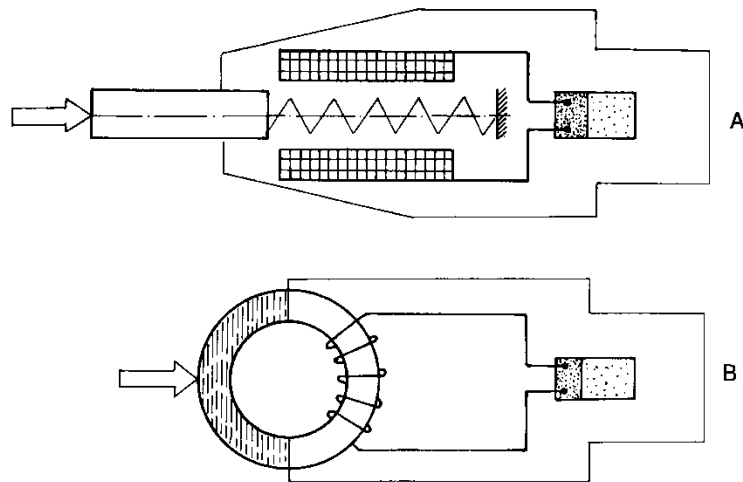


Slika 22. Blok šema blizinskog upaljača na principu Doppler-ovog efekta

4.4. Magnetni upaljači

Na elementarnom nivou principa dejstva razmotrićemo dva osnovna tipa magnetnih upaljača. Kod prvog tipa, izvor električne struje se sastoji od magnetnog jezgra koje se pri udaru u prepreku kreće kroz cilindrični kalem (sl. 23a). Indukovana struja vodi se na električnu detonatorsku kapislu. Nedostatak ovog sistema je u tome što vreme reakcije nije kraće nego kod klasičnih mehaničkih sistema zbog velike mase jezgra.

Drugi tip magnetnih upaljača zasniva se na principu formiranja prsline na namagnetisanom prstenastom jezgri čiji deo prolazi kroz kalem (sl. 23b). U trenutku prekida magnetnog fluksa, indukuje se struja u kalemu i prenosu na električnu kapislu.



Slika 23. Principijelne šeme magnetnih upaljača: a) sa pokretnim magnetnim jezgrom, b) sa magnetnim jezgrom na kome se formiraju prsline

5. Pouzdanost i sigurnost upaljača

S obzirom na funkciju i namenu upaljača, jasno je da oni moraju da ispune dva važna uslova: *pouzdanost* delovanja kada su zadovoljeni svi uslovi normalne borbene upotrebe i *sigurnost* upaljača u svim drugim uslovima. Ovo se ostvaruje realizacijom različitih konstrukcionih kriterijuma pouzdanosti i sigurnost. U proizvodnji upaljača ostvarivanje ovih zahteva proverava se specifičnim ispitivanjima.

5.1. Sile koje deluju na pokretne delove upaljača

Svaki element upaljača je pri rukovanju, transportu i borbenoj upotrebi izložen delovanju sila različitog porekla, intenziteta i smera i te sile se proučavaju i određuju radi dimenzionisanja nosećih i osiguravajućih elemenata upaljača. Od posebnog značaja su sile koje deluju na pokretne elemente upaljača.

1. Inercijalna sila zbog translacionog ubrzanja projektila prilikom lansiranja je

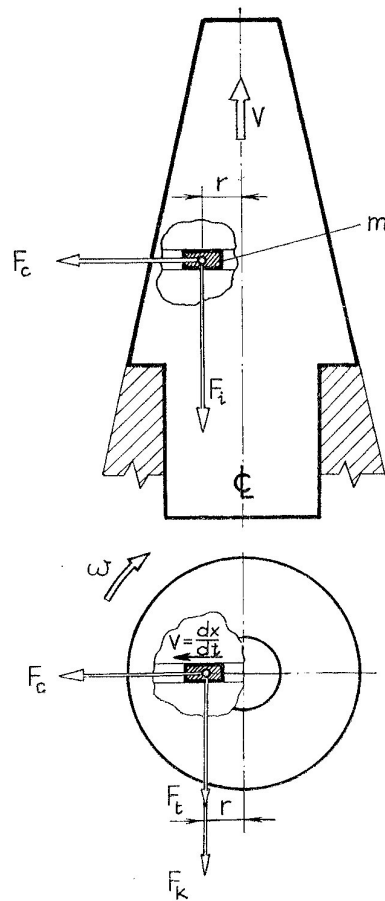
$$F_i = m \frac{dv}{dt}, \quad (18)$$

gde je m masa elementa, a dv/dt translaciono ubrzanje projektila. Isti izraz važi i u slučaju usporenja projektila pri prodiranju u prepreku.

2. Centrifugalna sila usled rotacije projektila određena je sa

$$F_c = mr\omega^2, \quad (19)$$

gde je r udaljenost centra elementa mase m od ose rotacije projektila (sl. 24), a ω ugaona brzina rotacije projektila.



Slika 24. Sile koje deluju na pokretni element upaljača mase m u fazi lansiranja rotirajućeg projektila

3. Tangencijalna inercijalna sila usled ugaonog ubrzanja projektila iznosi

$$F_t = mr \frac{d\omega}{dt}, \quad (20)$$

gde je $d\omega/dt$ ugaono ubrzanje projektila. Tangencijalna inercijalna sila deluje na element i prilikom ugaonog usporavanja projektila koje može biti prilično intenzivno u toku prodiranja projektila u prepreku i ima analognu formu.

4. Coriolis-ova sila deluje na pokretni element u slučaju da se on pravolinijski kreće relativnom brzinom $v=dx/dt$, dok telo upaljača rotira ugaonom brzinom ω . Imamo da je:

$$F_k = 2m\omega \frac{dx}{dt}. \quad (21)$$

5. Sila trenja deluje na dodirnoj površini između elementa i površine na koju se element oslanja:

$$F_f = \mu R_N, \quad (22)$$

gde je μ koeficijent trenja, a R_N rezultanta svih normalnih sila koje deluju na dodirnu površinu. U nekim slučajevima ove sile se mogu zanemariti.

6. Sile otpora krutih i elastičnih osigurača. Sile otpora krutih osigurača uglavnom su konstantne i element počinje sa kretanjem tek pošto radna sila savlada silu otpora osigurača. Kod elastičnih osigurača – opruga, sila otpora linearno se povećava sa hodom mehanizma, odnosno sa sabijanjem osigurača. Za pređeni put x sila otpora je

$$R_x = R \frac{x + \lambda_0}{\lambda}, \quad (23)$$

gde je R – maksimalna sila otpora elastičnog osigurača, λ – maksimalni hod elastičnog osigurača, a λ_0 – prethodno sabijanje elastičnog osigurača.

Pored navedenih sila u upaljačima se u posebnim slučajevima mogu pokretati elementi pod dejstvom aerodinamičkih sila, sila pritiska u raketnom motoru itd.

Na koji način će pomenute sile delovati na mehanizam i kako će uticati na njegovo ponašanje zavisi prvenstveno od konstrukcije samog mehanizma. Dve osnovne kategorije mehanizama koje nalaze primenu kod upaljača su mehanizmi sa pravolinijskim i mehanizmi sa rotacionim kretanjem.

5.2. Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

5.2.1. Klasični statički metod

Prema klasičnom kriterijumu, da bi se osiguralo kretanje inercijalnih mehanizama u toku lansiranja projektila, otpor krutog osiguravajućeg uređaja ne sme da pređe dve trećine vrednosti sile koja pokreće mehanizam. Kako je mehanizam projektovan za kretanje elementa pod dejstvom inercijalne sile usled translatorskog ubrzanja projektila, aktivna sila koja sila koja deluje na element ima oblik

$$F_i = m \frac{dv}{dt}, \quad (24)$$

pri čemu je m masa osiguranog pokretnog elementa. Ako sa R označimo maksimalni otpor osigurača, uslov za kretanje mehanizma (npr. armiranje) je:

$$R \leq \frac{2}{3} F_{i,\max} = \frac{2}{3} m \left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max}. \quad (25)$$

Prema tome, za pouzdano armiranje preostaje rezerva od oko 30% sile koja pokreće mehanizam.

Sa druge strane, sila otpora R upoređena sa inercijalnom silom koja deluje na element u uslovima rukovanja (udari pri transportu, pad upaljača sa ili bez projektila i sl.) definiše nivo sigurnosti upaljača. Eksperimentalnim putem (merenjem inercijalnih sila pri padu upaljača) utvrđeno je da je sigurnost upaljača potpuna ako je

$$R \geq 2000mg, \quad (26)$$

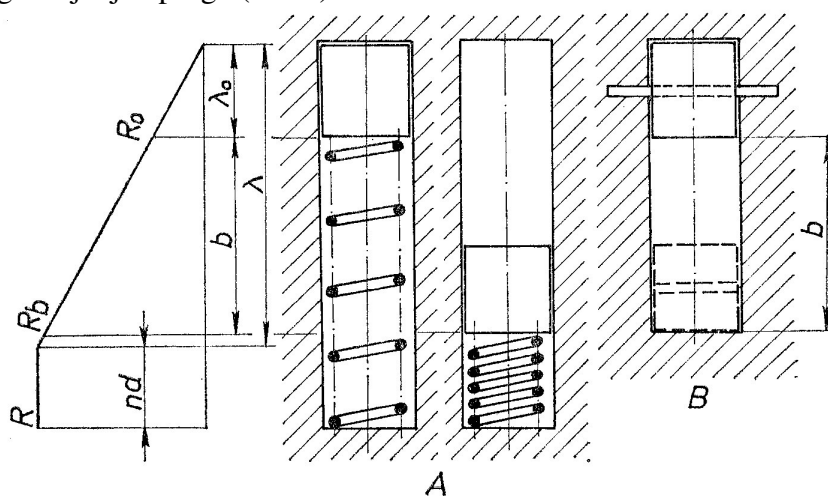
gde je mg težina elementa čije kretanje osigurač sprečava.

Korišćenjem prethodne dve nejednakosti dobijamo uslov sigurnosti i pouzdanosti armiranja za slučaj krutih osigurača

$$2000 \leq \frac{R}{mg} \leq \frac{2}{3} \frac{\left(\frac{dv}{dt} \right)_{\max}}{g}. \quad (27)$$

Prema poslednjem izrazu, otpor osigurača treba da se nalazi u granicama koje određuju sa jedne strane uslovi sigurnosti pri rukovanju i sa druge strane uslovi pouzdanosti pri lansiranju.

Svojstvo opruge da se vraća početni položaj i uspostavlja početnu silu posle prestanka delovanja opterećenja, kao i mogućnost potpune kontrole karakteristika pri proizvodnji (što nije slučaj sa krutim osiguračima), snižavaju vrednost koeficijenta sigurnosti na 1500 ili u nekim slučajevima na 1000. Vrednost otpora R_0 pri kojoj dolazi do armiranja uobičajeno se usvaja tako da do armiranja dođe pre potpunog sabijanja opruge (sl. 25).



Slika 25. Šematski prikaz inercijalnog mehanizma sa elastičnim osiguračem (a) i krutim osiguračem (b)

Uslov sigurnosti i pouzdanosti inercijalnog mehanizma sa elastičnim osiguračem sada glasi:

$$1500 \leq \frac{R_a}{mg} \leq \frac{2}{3} \frac{F_{i,\max}}{mg}. \quad (28)$$

Korišćenjem jednačine otpora opruge (23) dobija se konačno uslov

$$1500 \leq \frac{R \frac{a + \lambda_0}{\lambda}}{mg} \leq \frac{2}{3} \frac{\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\max}}{g}. \quad (29)$$

Kod obe razmatrane grupe osigurača (krutih i elastičnih) može se dogoditi da uslovi sigurnosti i pouzdanosti definisani relacijama (25), odnosno (29) ne mogu biti zadovoljeni. To se obično dešava kod projektila sa malim ubrzanjima pri lansiranju kao što je slučaj sa raketnim projektilima. Tada se dobija da je vrednost na desnoj strani nejednakosti manja od 1500 ili 1000. U ovim slučajevima, koriste se tzv. statički osigurači u obliku čivija, osovinica, klinova, prstenova i sl. koji onemogućavaju kretanje osiguranog elementa u toku skladištenja, transporta itd. Ove osigurače je neophodno ručno ukloniti pre lansiranja projektila. Nedostaci ovakvog rešenja su u tome što je potreban izuzetan oprez pri rukovanju projektilom posle uklanjanja osigurača, kao i teškoće sa eventualnim vraćanjem osigurača u slučaju odustajanja od lansiranja projektila.

5.2.2. Dinamička analiza sigurnosti i pouzdanosti inercijalnih mehanizama

Klasični statički metod proračuna sigurnosti i pouzdanosti inercijalnih mehanizama upaljača ima osnovni nedostatak što ne uzima u obzir dinamiku procesa kretanja osiguranog elementa.

Dinamički kriterijumi sigurnosti i pouzdanosti predstavljaju se sistemom diferencijalnih jednačina kretanja mehanizma. Jedna jednačina definiše kretanja u normalnim uslovima lansiranja, a druga u uslovima slučajnog opterećenja. Kretanje jednostavnog inercijalnog mehanizma sa elastičnim osiguračem (oprugom) može se opisati jednačinama:

$$\left(m + \frac{m_0}{3}\right) \frac{d^2 x}{dt^2} = \left(m + \frac{m_0}{3}\right) \left(\frac{dv}{dt}\right)_r - R \frac{x + \lambda_0}{\lambda}, \quad (30)$$

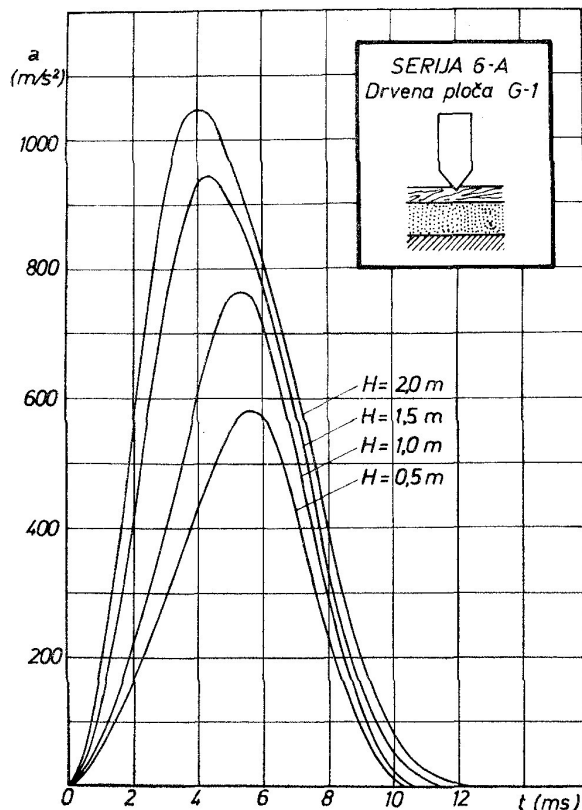
$$\left(m + \frac{m_0}{3}\right) \frac{d^2 x}{dt^2} = \left(m + \frac{m_0}{3}\right) \left(\frac{dv}{dt}\right)_s - R \frac{x + \lambda_0}{\lambda}. \quad (31)$$

U prethodnim jednačinama korišćene su sledeće oznake: m – masa pokretnih elemenata inercijalnog mehanizma, m_0 – masa elastičnog osigurača (opruge), $(dv/dt)_r$ – radno ubrzanje pri kome se ostvaruje dejstvo upaljača, $(dv/dt)_s$ – usporenje pri padu projektila sa određene visine, R – maksimalni otpor opruge, λ_0 – početno sabijanje opruge, λ – maksimalni hod opruge.

Zavisno od uloge inercijalnog mehanizma, radno ubrzanje može biti translatorno ubrzanje u toku lansiranja (kod mehanizama za armiranje ili početno aktiviranje) ili usporenje pri udaru u prepreku (kod inercijalnih udarnih mehanizama). U oba slučaja promena radnog ubrzanja može se predvideti. Sa druge strane, usporenje u toku udara pri padu sa određene visine najčešće nije poznato. Ono zavisi od udarne brzine, mase projektila, mehaničkih karakteristika tla, oblika i deformisanja dela kojim projektil udara u prepreku i sl. Istraživanja su pokazala da se u slučaju pada projektila sa određene visine kriva usporenja pri kontaktu sa različitim podlogam (zemlja, pesak, drvo, beton, čelična ploča itd.) može aproksimirati izrazom:

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_s = M e^{-nt} \sin^k(\omega t), \quad (32)$$

Gde su M , n , k i ω parametri koji zavise od uslova eksperimenta. Krive usporenja pri padu projektila na drvenu ploču prikazane su na sl. 26.



Slika 26. Krive usporenja pri udaru izazvanim padom projektila na drvenu ploču sa različitim visina (projektil sa konusnim vrhom)

Ako se u jednačine (30) i (31) uvedu smene

$$k^2 = \frac{R}{\left(m + \frac{m_0}{3}\right)\lambda}, \quad (33)$$

$$k_0 = \frac{R\lambda_0}{\left(m + \frac{m_0}{3}\right)\lambda}, \quad (34)$$

one se transformišu u oblik

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k^2x = \left(\frac{dv}{dt}\right)_r - k_0, \quad (35)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + k^2x = \left(\frac{dv}{dt}\right)_s - k_0. \quad (36)$$

Razmatrani mehanizam će zadovoljavati odgovarajuće uslove sigurnosti i pouzdanosti ako se izaberu koeficijenti k^2 i k_0 (odnosno konstrukcione karakteristike elastičnog osigurača) tako da budu ispunjeni sledeći uslovi:

- u slučaju delovanja radne inercijalne sile mora biti

$$x_{\max} \geq a, \quad (37)$$

- u slučaju delovanja slučajne sile mora biti zadovoljeno

$$x_{\max} < a. \quad (38)$$

U prethodnim relacijama a predstavlja radno pomeranje elementa neophodno za delovanje mehanizma.

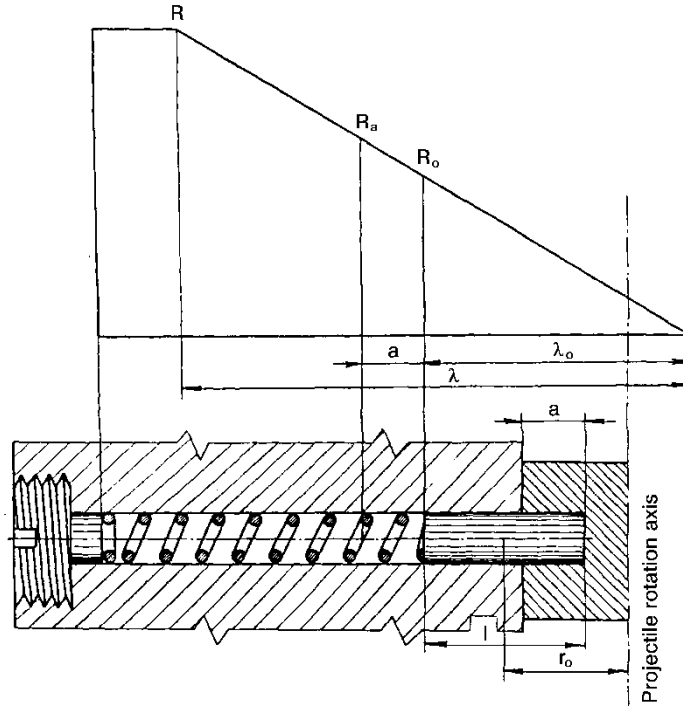
Iz uslova (37) i (38) mogu se odrediti vrednosti parametara k_0 i k^2 , a zatim i parametri opruge iz jednačina (33) i (34) mnogo tačnije nego primenom statičkih uslova.

5.3. Sigurnost i pouzdanost centrifugalnih mehanizama

Centrifugalne sile koji deluju na elemente upaljača kod projektila sa rotacijom oko uzdužne ose mogu se koristiti za izvršavanje različitih funkcija: pokretanje podsistema za armiranje, podsistema za osiguranje, podsistema za početno aktiviranje tempirnih uređaja, podsistema za samolikvidaciju, pokretanje osigurača kod električnih i elektronskih upaljača itd.

Prema načinu dejstva i konstrukciji, centrifugalni mehanizmi se dele na:

- mehanizme sa pravolinijskim kretanjem (sl. 27), i
- mehanizme sa rotacionim kretanjem.



Slika 27. Šema centrifugalnog elementa sa pravolinijskim kretanjem

Pri slučajnom padu, udaru i sl. centrifugalni mehanizmi ne mogu da budu izloženi rotaciji, pa stoga imaju značajnu prednost sa aspekta sigurnosti u odnosu na inercijalne mehanizme.

Kao i inercijalni mehanizmi, centrifugalni mehanizmi imaju osigurače koji ih drže u propisanom položaju dok radna centrifugalna sile na postane veća od odgovarajuće sile otpora. Usvajajući rezervu od 20%, za centrifugalni mehanizam sa pravolinijskim kretanjem može se pisati

$$\frac{4}{5}mr\omega_{\max}^2 \geq R_a, \quad (39)$$

pri čemu su: r – rastojanje centra osiguranog elementa od ose rotacije, ω_{\max} – najveća ugaona brzina projektila. Usvajajući ranije korišćene oznake i obeležavajući početno rastojanje centra mase pokretnog elementa od ose rotacije se r_0 , imamo:

$$r = r_0 + a, \quad (40)$$

$$R_a = R \frac{a + \lambda_0}{\lambda}, \quad (41)$$

gde je a radno pomeranje pokretnih elementa. Nejednakost (39) sada postaje

$$\frac{R}{m} \frac{a + \lambda_0}{\lambda(r_0 + a)} \leq \frac{4}{5} \omega_{\max}^2. \quad (42)$$

Ako uvedemo izraz

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi n_{\max}}{60}, \quad (43)$$

gde je n_{\max} broj obrtaja projektila u minuti, dobija se

$$\frac{R}{m} \frac{a + \lambda_0}{\lambda(r_0 + a)} \leq \frac{4}{5} \left(\frac{2\pi}{60} \right)^2 n_{\max}^2. \quad (44)$$

Uslov sigurnosti i pouzdanosti centrifugalnog mehanizma sa pravolinijskim kretanjem najčešće se daje u obliku:

$$\omega_r^2 \leq \frac{R}{m} \frac{a + \lambda_0}{\lambda(r_0 + a)} \leq \frac{4}{5} \omega_{\max}^2 . \quad (45)$$

U poslednjem izrazu ω_r je ugaona brzina projektila pri slučajnom kotrljanju niz strmu ravan ili u sličnim situacijama. Usvaja se da u ovakvim situacijama broj obrtaja projektila ne može preći vrednost $n_r=2000$ o/min ($\omega_r=210$ s⁻¹).

6. Ispitivanje upaljača

Kao elementi od vitalnog značaja za funkcionisanje, pouzdanost i sigurnost projektila i minskoeksplozivnih sredstava upaljači se u toku fabrikacije, prilikom predaje, periodično u toku skladištenja i vanredno, kada to posebne okolnosti zahtevaju, podvrgavaju ispitivanjima kojima se proveravaju:

- pravilno funkcionisanje pojedinih sklopova i kompletnih upaljača u predviđenim radnim uslovima, tj. da li u pogledu *pouzdanosti* upaljač zadovoljava postavljene zahteve,
- *sigurnost* pojedinih sklopova i kompletnih upaljača u eksploatacionim uslovima i slučajevima grubog rukovanja,
- *otpornost* pojedinih sklopova i kompletnih upaljača na mehaničke i druge uticaje koji bi mogli poremetiti njihovo funkcionisanje i sigurnost
- *trajnost* pojedinih elemenata, sklopova i kompletnih upaljača u normalnim i pooštrenim uslovima skladištenja.

Ovde ćemo zbog kompletnosti uvida u obim i složenost ispitivanja upaljača samo navesti osnovne metode ispitivanja upaljača.

Metode ispitivanja funkcionisanja upaljača (pouzdanosti) uključuju:

- ispitivanje funkcionisanja pojedinih podsistema upaljača
 - ispitivanje podsistema nosioca funkcije
 - ispitivanje funkcionisanja podsistema za armiranje
 - ispitivanje funkcionisanja podsistema za osiguranje
 - ispitivanje funkcionisanja podsistema za početno aktiviranje
 - ispitivanje funkcionisanja podsistema za samolikvidaciju
- ispitivanje specifičnih karakteristika upaljača
 - ispitivanje osetljivosti upaljača
 - ispitivanje vremena reagovanja upaljača
 - ispitivanje pouzdanosti upaljača.

Metode ispitivanja *sigurnosti* upaljača podrazumevaju:

- ispitivanje sigurnosti upaljača pri rukovanju i transportu
 - ispitivanje upaljača na udar posle slobodnog pada
 - posebna ispitivanja upaljača bacanjem
 - ispitivanje upaljača na snažne udare
- ispitivanje upaljača na rotaciju
- ispitivanje upaljača na treskanje

- ispitivanje upaljača na tumbanje
- ispitivanje sigurnosti upaljača pri gađanju
 - ispitivanje sigurnosti u fazi kretanja projektila kroz cev (lanser)
 - ispitivanje sigurnosti upaljača na putanji
 - ispitivanje sigurnosti upaljača u posebnim uslovima koje nameće borbena upotreba.

Metode ispitivanja trajnosti upaljača podrazumevaju:

- ispitivanje hermetičnosti upaljača
 - ispitivanje hermetičnosti upaljača potapanjem
 - ispitivanje upaljača na delovanje kiše
 - ispitivanje hermetičnosti upaljača pod pritiskom
 - ispitivanje hermetičnosti u komori sa potpritiskom
- ispitivanje otpornosti upaljača na uticaje okolne sredine
 - ispitivanje upaljača na uticaj temperature
 - ispitivanje upaljača na uticaj korozivne sredine
 - ispitivanje upaljača na uticaj mikroorganizama.

Sve navedene procedure ispitivanja upaljača detaljno su propisane odgovarajućim standardima.