

Balistika na cilju

6

Upaljači

Upaljači. Klasifikacija

- **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).
- Za sistematsko proučavanje upaljača važne su sledeće **podele**:
 - prema **fizičkim i hemijskim procesima** na kojima se zasniva **delovanje upaljača**
 - prema **načinu aktiviranja** u odnosu na cilj
 - prema **vremenu reagovanja**
 - prema **načinu i stepenu osiguranja**



Upaljač UTIU – M72
Krušik - Valjevo

Klasifikacija upaljača prema primenjenim fizičkim i hemijskim procesima

- Upaljači su **složeni uređaji** sastavljeni od više podsistema koji obuhvataju razne funkcije
- svaki od tih **podsistema** (za armiranje, za osiguranje, za samolikvidaciju i sl.) može biti konstruisan na drugačijem principu
- upaljači se klasifikuju prema osnovnom funkcionalnom podsystemu - zvanom **podsystem nosilac funkcije** - koji obavlja osnovnu namenu upaljača, tj. **aktivira ga na clju**.
- Prema ovakvoj klasifikaciji upaljači mogu biti:
 - **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.),
 - **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 odredjenog vremena tempiranja i dr.),
 - **hemijski**, kod kojih se osnovna funkcija upaljača zasniva na hemijskim procesima različitim od sagorevanja pirotehničke smeše,
 - **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,
 - **magnetni**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na korišćenju raznih magnetnih fenomena.
 - **ostali**, kod kojih se osnovna funkcija zasniva na akustičnom efektu, detekciji infracrvenog zračenja, emisiji i detekciji radarskih signala i sl.; ovi upaljači se najčešće mogu svrstati u kategoriju **elektronskih** upaljača, jer im se funkcija zasniva na primeni elektronskih kola i elemenata, a potreban im je i izvor električne energije.

Klasifikacija upaljača prema načinu aktiviranja u odnosu na cilj

- Prema **načinu aktiviranja** u odnosu na cilj upaljači se mogu podeliti na:
 - **kontaktne**, koji deluju u neposrednom dodiru sa ciljem; **udarni** upaljači su samo deo ove kategorije,
 - **blizinske**, koji deluju na određenoj udaljenosti od cilja putem detekcije nekog za cilj karakterističnog efekta (zvuka, poremećaja magnetnog polja, Doppler-ovog efekta koji je posledica međusobnog kretanja cilja i izvora elektromagnetskih talasa i sl.),
 - **ambijentalne**, koji deluju putem detekcije određene promene u okolnoj sredini (pritiska, temperature, osvetljenosti i dr.),
 - **komandne**, koji deluju nakon prijema određenog signala (neautomatski emitovane komande),
 - **nezavisne**, koji deluju nakon unapred određenog vremena, bez obzira na prisutnost cilja i okolnu sredinu,
 - **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).

Klasifikacija upaljača prema vremenu reagovanja

- Prema **vremenu reagovanja** upaljači se mogu klasifikovati u sledeće grupe:
 - **supertrenutni** upaljači sa vremenom reagovanja reda 20...200 μ s,
 - **trenutni** upaljači sa vremenom reagovanja 0.5... 10 ms,
 - upaljači **sa kratkim usporenjem** sa vremenom reagovanja reda 0.02... 0.1 s
 - upaljači **sa dugim usporenjem** sa vremenom reagovanja reda 0.2... 0.6 s,
 - **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**.

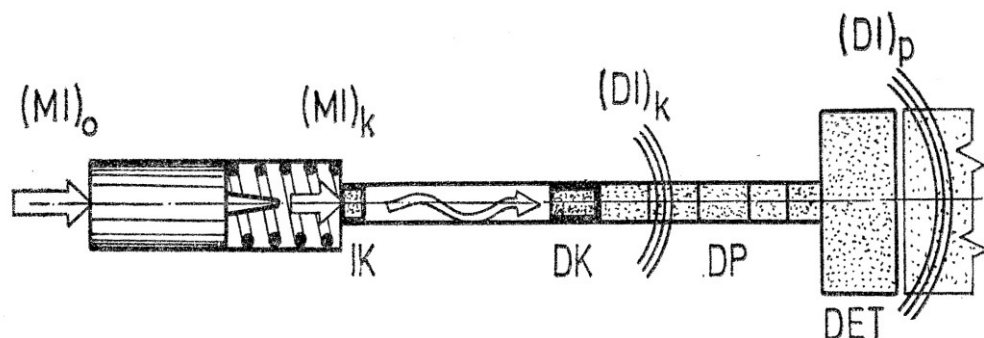
Klasifikacija upaljača prema načinu i stepenu osiguranja

- Klasifikacija upaljača **prema stepenu osiguranja** zasniva se na jednoj konstruktivnoj specifičnosti upaljača - ugradnji **dodatnog podsistema za osiguranje**, koji se sastoji od uređaja kojim se pirotehnički lanac u upaljaču **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:
 - upaljači sa **ugrađenim podsistemom** koji osigurava **potpun prekid pirotehničkog lanca**, tako sa 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.
 - 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.
 - upaljači sa takvim sistemom dopunskog osiguranja nazivani su u staroj terminologiji **poluosigurani** upaljači.
 - 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 **pogrešno** su odabrani (svi upaljači imaju odgovarajući neophodni **podsistem za osnovno osiguranje**) i unose zabunu i strah među korisnike (za onog ko nije detaljno upućen u konstrukciju upaljača, "neosiguran" je isto što i nesiguran).
- Suštinski, dopunski sistem osiguranja **povećava sigurnost upaljača** prvenstveno u raznim vanrednim slučajevima. U **normalnim uslovima rukovanja i upotrebe**, upaljači sa prekinutim pirotehničkim lancem i oni kod kojih je pirotehnički lanac otvoren podjednako su sigurni.

Funkcionalna kompozicija upaljača

- Svi upaljači 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:
 - da bude **pouzdan** u borbenoj upotrebi, tj. da pouzdano obavlja svoju funkciju u sklopu projektila ili mine, i
 - 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.**

Funkcionalna kompozicija upaljača



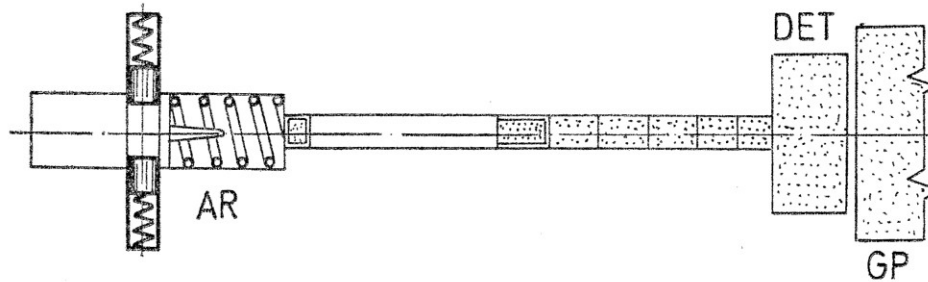
Podsystem **nosilac funkcije** i
podsystem **pirotehičkih**
elemenata

- Treba transformisati mehanički impuls koji je rezultat dodira vrha projektila/upaljača sa ciljem $(MI)_o$ u detonacioni impuls dovoljnog intenziteta za inicijaciju osnovnog punjenja $(DI)_p$.

Neophodno je:

- pretvoriti stohastički mehanički impuls $(MI)_o$ 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*;
- 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;
- 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 $(DI)_k$;
- 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.

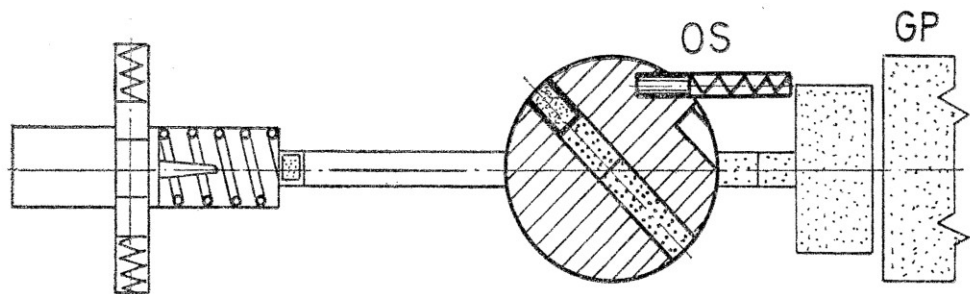
Funkcionalna kompozicija upaljača



Podsystem za armiranje

- **Pirotehnički lanac** je, u stvari, jedna od komponenata kojima se ostvaruje *osnovno osiguranje upaljača*.
- 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**.
- 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 podsystem nosilac funkcije za delovanje, nakon što je projektil normalno lansiran.
- Taj mehanizam ili uređaj u upaljaču naziva se *podsystem za armiranje* ("zapinjanje") upaljača.
- U primeru na skici za armiranje je iskorišćena **centrifugalna sila**, koja se javlja pri rotaciji projektila.

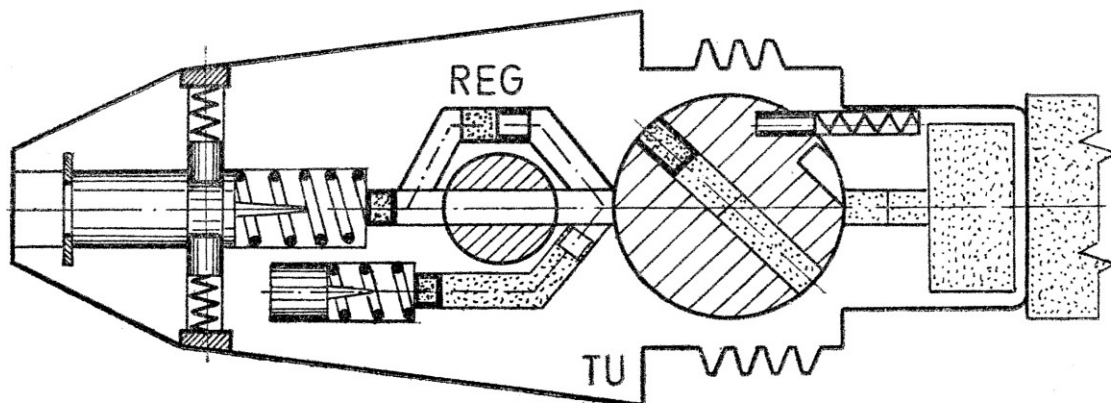
Funkcionalna kompozicija upaljača



Ugradnja podsistema za osiguranje

- Ugradnjom **podsistema za armiranje** potpuno je ostvareno **osnovno osiguranje upaljača**, tj. onemogućeno je da u normalnim (pa i mnogim nenormalnim) uslovima rukovanja igla aktivira inicijalnu kapslu.
- **Izolovanje osetljivih elemenata** (inicijalna i detonaciona kapsla) od detonatora i osnovnog punjenja u toku skladištenja, transporta i rukovanja, sve dok senzor ne signalizira da je projektil normalno lansiran.
- reč je o **dopunskom osiguranju upaljača**.
- kako za **podsistem za osiguranje** u pogledu aktiviranja važe isti principi kao za podsistem za armiranje (aktiviranje se dopušta samo u slučaju **normalnog lansiranja projektila**), oba podsistema se nakad posmatraju kao jedinstveni **podsistem za armiranje i osiguranje**.

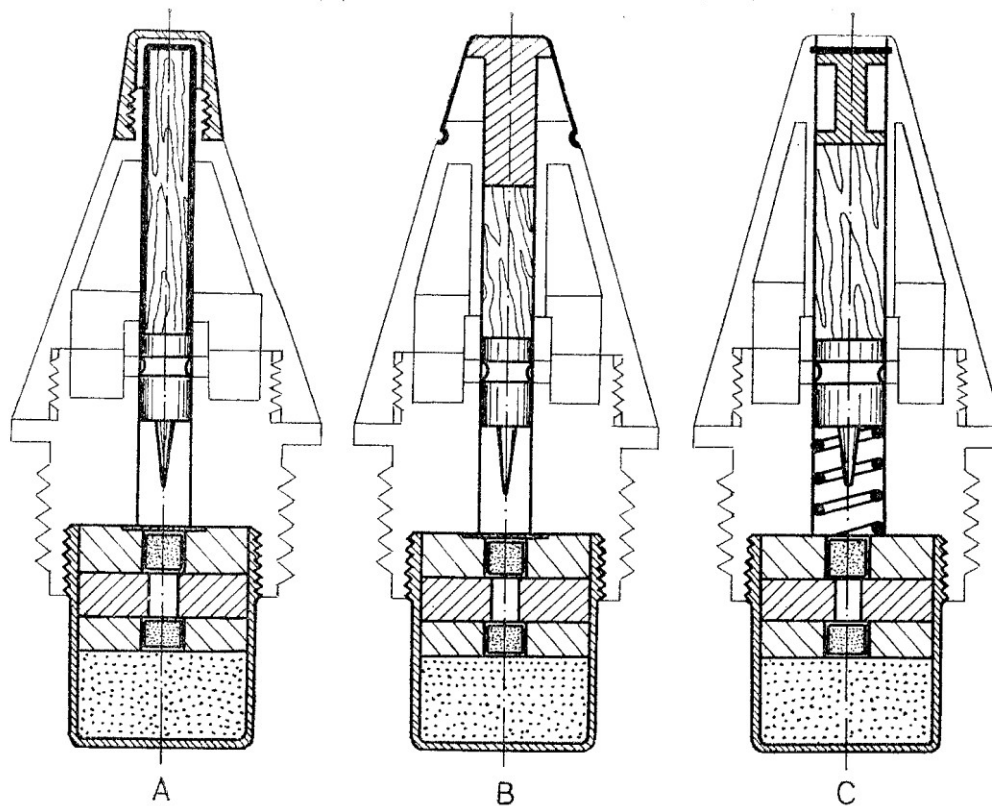
Funkcionalna kompozicija upaljača



Funkcionalno formiranje
upaljača integracijom
podсистема

- Upaljač sa svojim **podsystemom nosiocem funkcije**, **pirotehničkim elementima**, **podsystemom za armiranje** i **podsystemom 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 slici je prikazan pirotehnički samolikvidator, koji se aktivira prilikom ispaljivanja projektila pomoću inercijalnog **podсистема za početno aktiviranje**.
- Uređaj (podsystem) 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**.

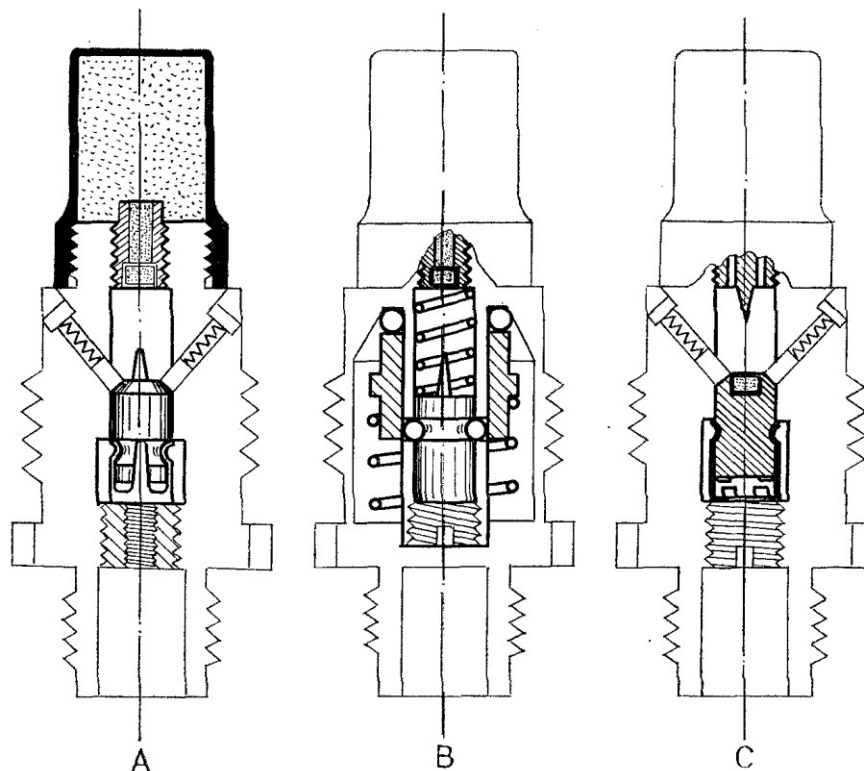
Mehanizmi mehaničkih upaljača



Konstrukcije šeme reakcionih udarnih mehanizama:

- a) reakcioni udarni mehanizam sa trnom,
- b) reakcioni udarni mehanizam sa zatvorenim trnom,
- c) reakcioni udarni mehanizam sa membranom

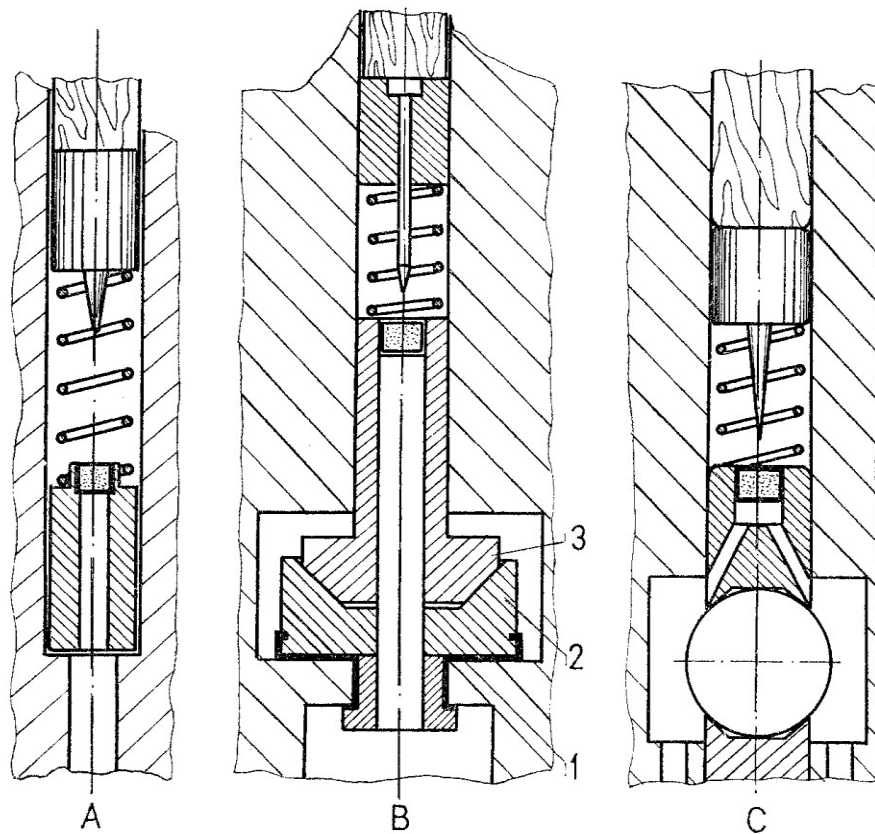
Mehanizmi mehaničkih upaljača



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 kapisle)

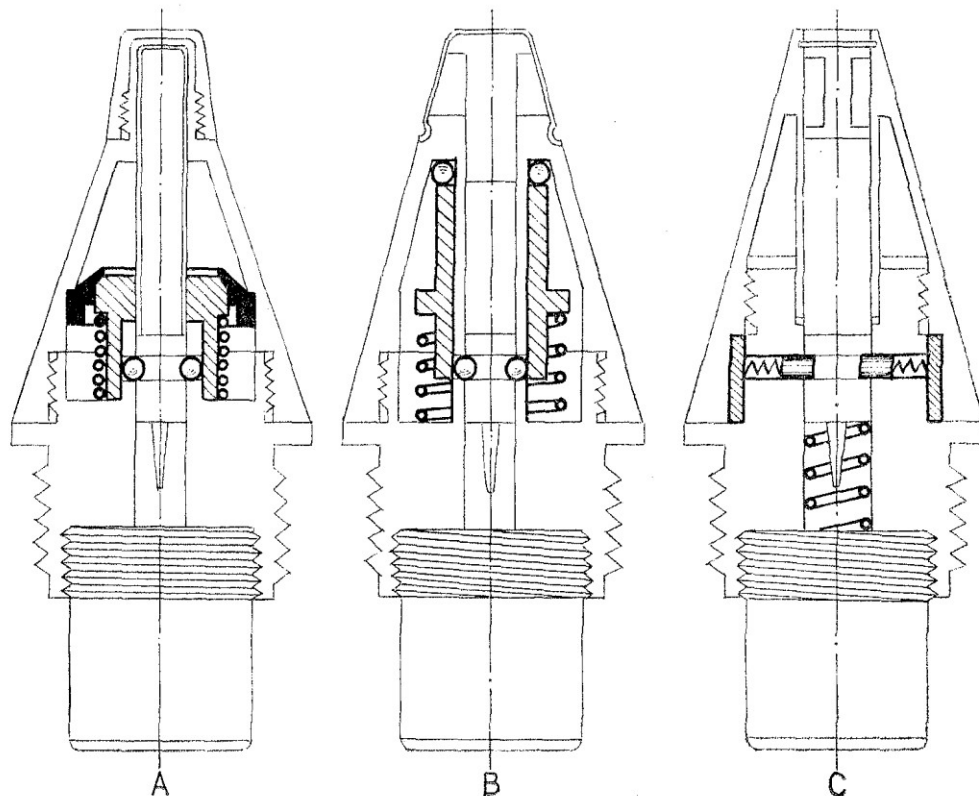
Mehanizmi mehaničkih upaljača



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

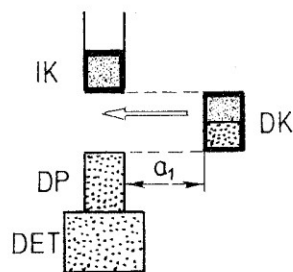
Mehanizmi mehaničkih upaljača



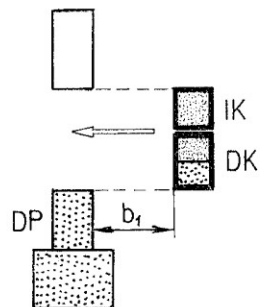
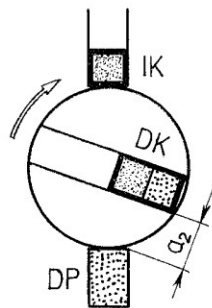
Šematski prikaz jednostavnih mehaničkih sistema za armiranje:

- a) mehanizam za armiranje sa inercijalnom čaurom,
- b) mehanizam za armiranje sa inercijalnom čaurom i kuglicom,
- c) centrifugalni mehanizam za armiranje sa pravolinijskim kretanjem

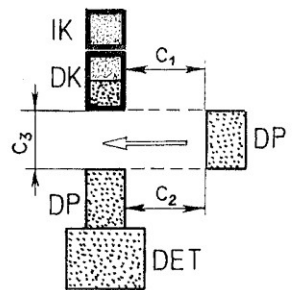
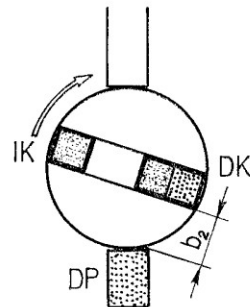
Mehanizmi mehaničkih upaljača



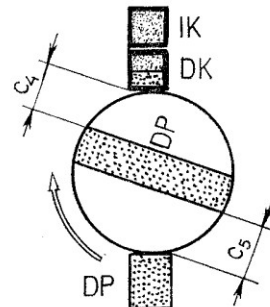
(A)



(B)



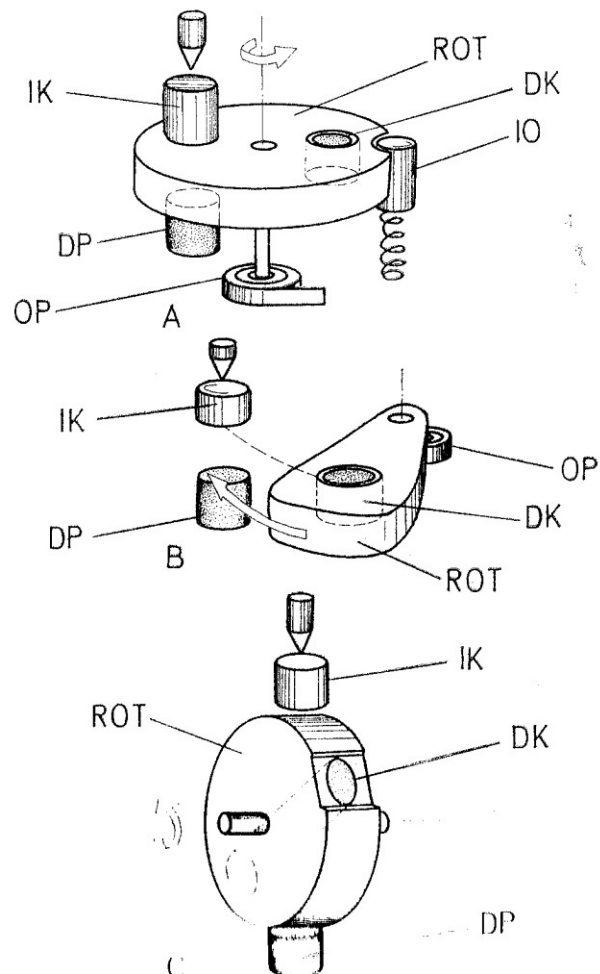
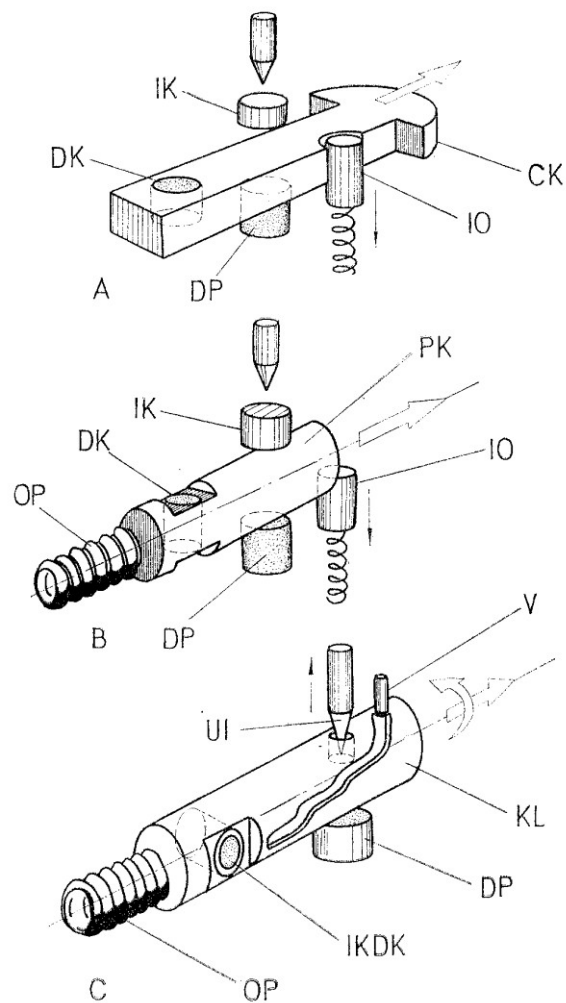
(C)



Mehanizmi za osiguranje:

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

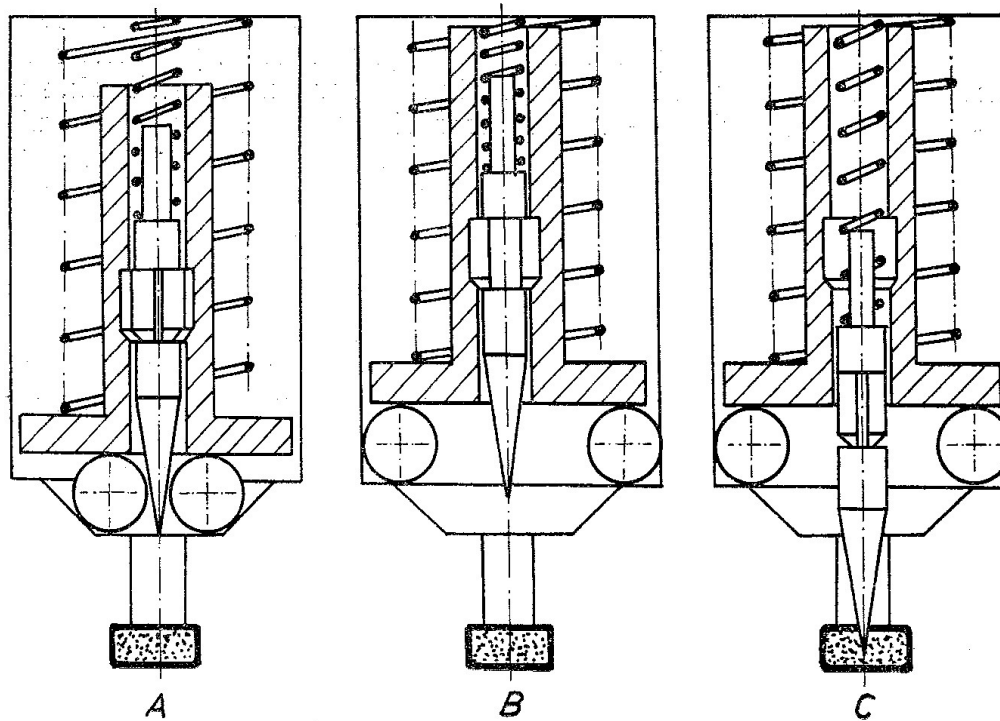
Mehanizmi mehaničkih upaljača



Mehanizmi podсистema za osiguranje:

Konstrukciona rešenja
klizača (levo) i rotora
(desno) u podсистemu
za prekidanje
pirotehničkog lanca

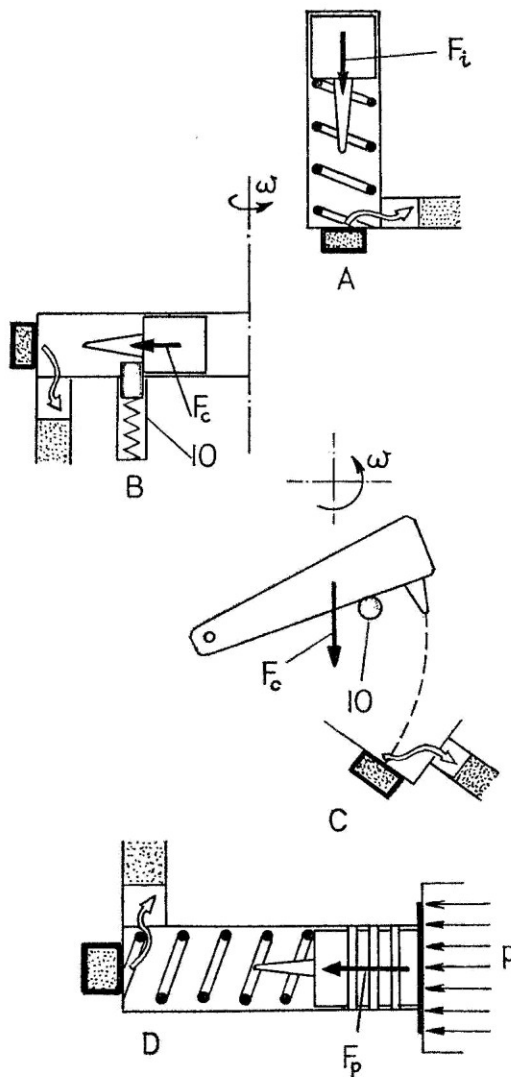
Mehanizmi mehaničkih upaljača



Mehanizam za samolikvidaciju na principu pada broja obrtaja:

- a) položaj delova pre opaljenja,
- b) položaj delova u toku leta prema cilju,
- c) samolikvidacija

Mehanizmi mehaničkih upaljača

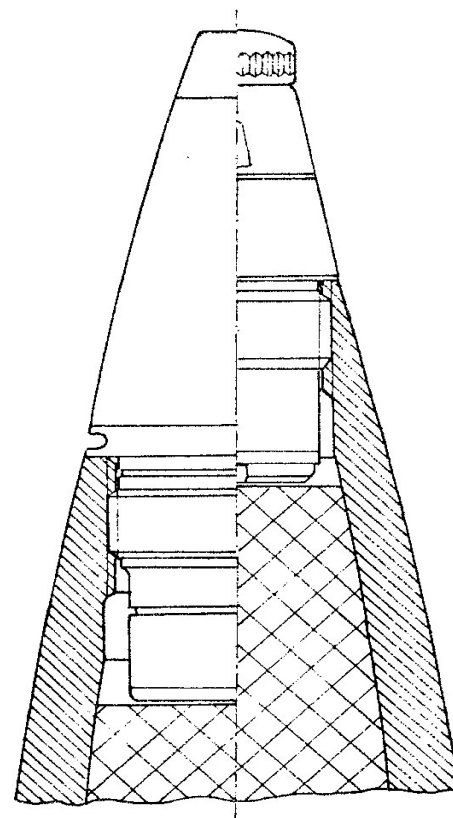


Šematski prikaz mehanizama za početno aktiviranje upaljača:

- 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

Mehanizmi mehaničkih upaljača

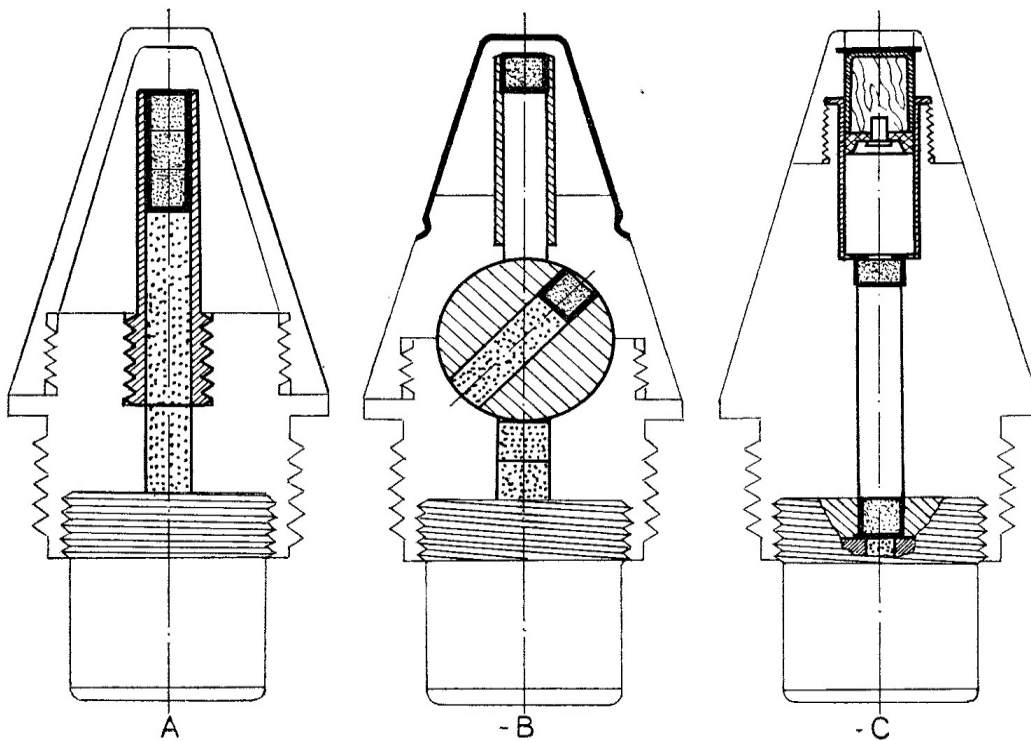
- Telo upaljača
 - povezuje sve elemente i podсистeme u jednu celinu,
 - štiti ih od spoljašnjih mehaničkih i ambijentalnih uticaja,
 - obezbeđuje vezu među podсистemima,
 - u njemu se nalaze ležišta-vođice za pojedine pokretne i nepokretne sisteme, kanali za prenos plamena itd.
 - na telu upaljača se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



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

Pirotehnički upaljači

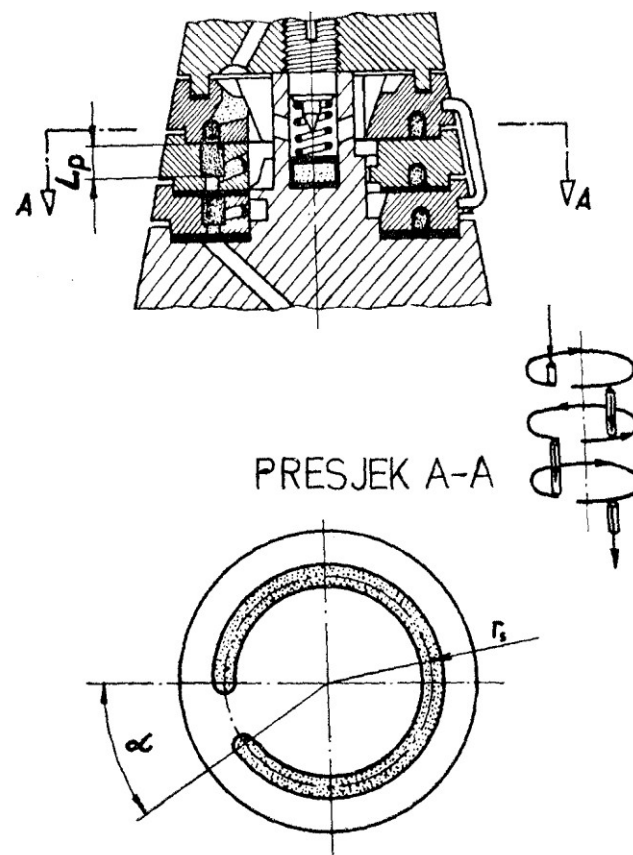
- Prvu grupu čine pirotehnički kontaktni uređaji, koji se jednostavno zasnivaju na primeni specijalnih inicijalnih kapisli za čije aktiviranje nije potreban odmeren ubod igle, već se aktiviraju gnječenjem, pritiskom, itd.



Osnovna konstrukciona
rešenja kontaktnih
pirotehničkih upaljača

Pirotehnički upaljači

- **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. **Usporači** se izrađuju uglavnom u obliku prstenova sa žlebovima u kojima je upresovana pirotehnička tempirna smeša.



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

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) u impulse potrebne za aktiviranje upaljača – ovo omogućava tzv. **blizinske upaljače**.
- 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 i elektronski beskontaktni upaljači podrazumevaju dve grupe:
 - **električni tempirni upaljači**
 - funkcionišu nezavisno od cilja (nosilac funkcije je elektronski sat),
 - **blizinski upaljači**
 - koriste određena svojstva cilja: emitovanje toplote, zvuka, reflektovani radarski signal, itd.

Električni upaljači

- 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 osetljivi na poremećaje izazvane **prisustvom** (približavanjem) **cilja**.
 - upaljači **aktivnog dejstva** koji sadrže uređaje za prijem impulsa koji su prethodno emitovani sa upaljača a zatim reflektovani od cilja.
- Najveću primenu imaju aktivni upaljači na bazi **Doppler-ovog efekta**.
 - Upaljač sadrži minijturni 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.

Električni upaljači

- **Radio-predajnik** u upaljaču emituje elektromagnetne talase oblika:

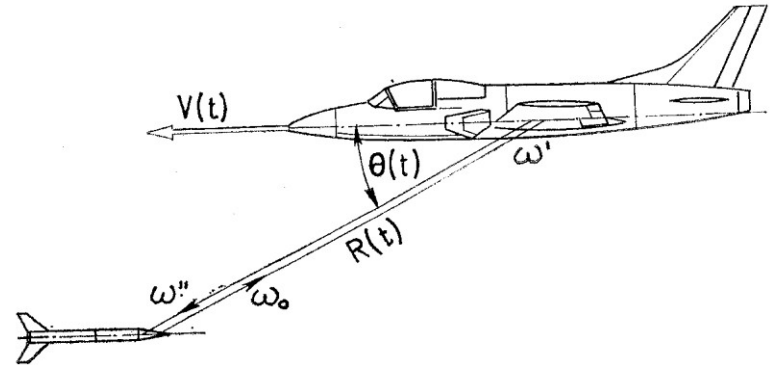
$$e = E \sin \omega_0 t = E \sin \varphi(t)$$

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

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

- **Dvostruka primena Doppler-ovog efekta**

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



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

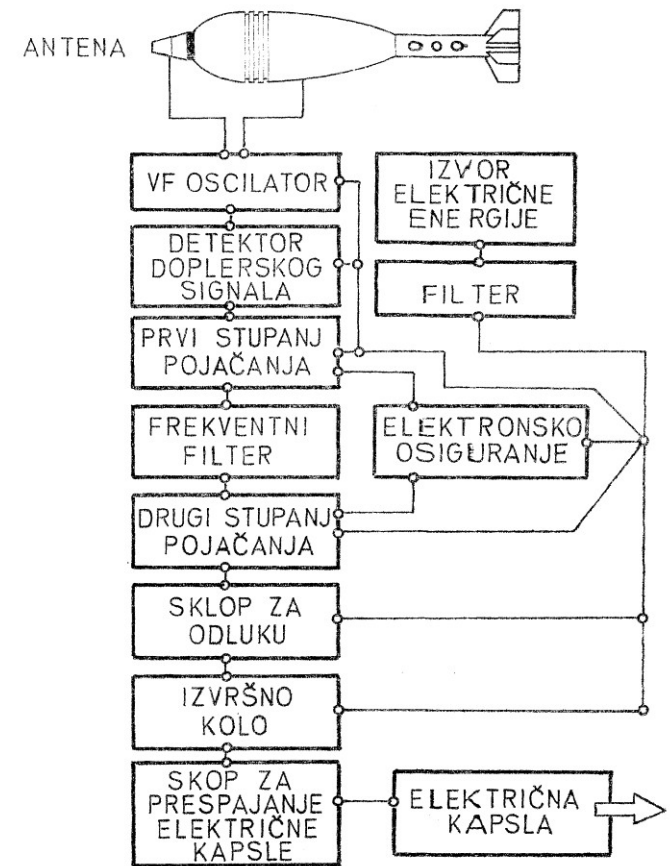
- Razlika između **emitovane i primljene frekvencije** je

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

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

Električni upaljači

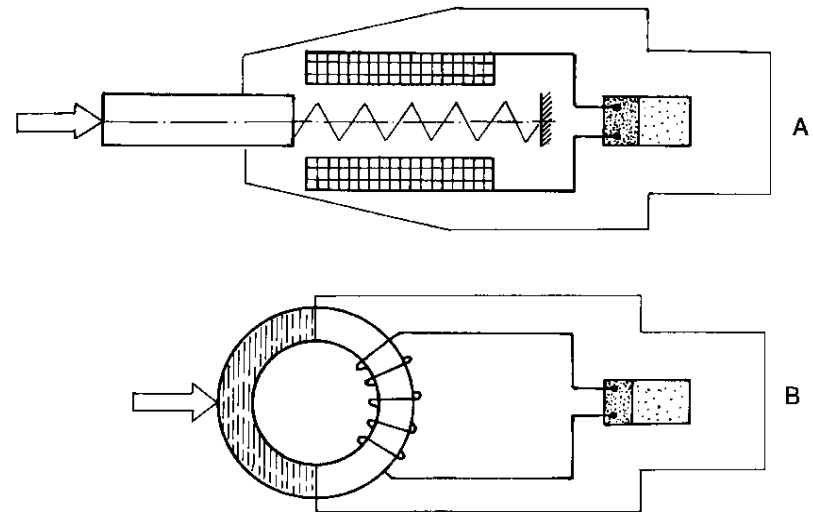
- Blok-šema blizinskog upaljača data je na slici:
 - primopredajnik neprekidno emituje elektromagnetne talase frekvencije ω_0
 - ako se u polju talasa nađe cilj koji se u odnosu na upaljač kreće brzinom V , upaljač će primiti signal čija frekvencija zbog dvostrukog Doppler-ovog efekta odstupa od emitovane 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.



Blok šema blizinskog upaljača na principu Doppler-ovog efekta

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. 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. U trenutku prekida magnetnog fluksa, indukuje se struja u kalemu i prenosi na električnu kapislu.



Principijelne šeme magnetnih upaljača:

- a) sa pokretnim magnetnim jezgrom,
- b) sa magnetnim jezgrom na kome se formiraju prsline

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.
- **Sile** koje deluju na **pokretne delove upaljača**
- **Inercijalna sila** zbog translatornog ubrzavanja projektila prilikom lansiranja je

$$F_i = m \frac{dv}{dt}$$

Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sile koje deluju na pokretne delove upaljača

- **Centrifugalna sila** usled rotacije projektila određena je sa

$$F_c = mr\omega^2$$

- **Tangencijalna inercijalna sila** usled ugaonog ubrzanja

$$F_t = mr \frac{d\omega}{dt}$$

- **Coriolis-ova sila**

$$F_k = 2m\omega \frac{dx}{dt}$$

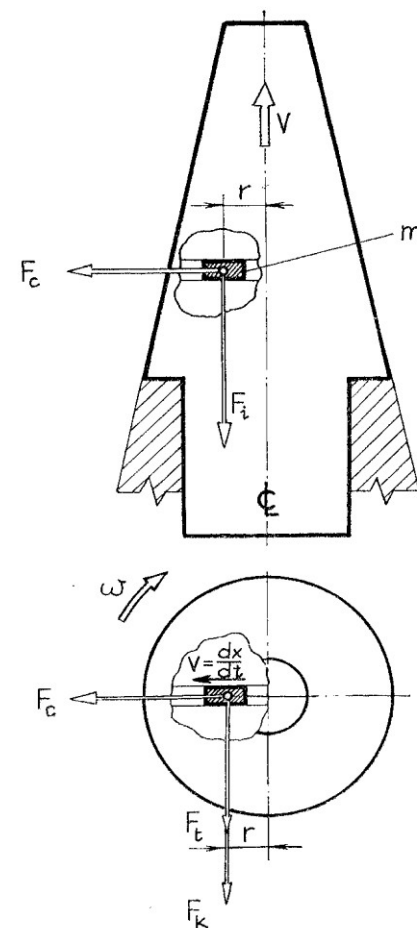
- **Sila trenja**

$$F_f = \mu R_N$$

- **Sile otpora krutih i elastičnih osigurača**

- Sile otpora krutih osigurača – **konstantne**, element počinje da se kreće tek pošto radna sila savlada silu otpora osigurača.
- Kod elastičnih osigurača – **opruga**

$$R_x = R \frac{x + \lambda_0}{\lambda}$$



Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- 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**

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

- 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

$$R \geq 2000mg$$

Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- Klasični statički metod

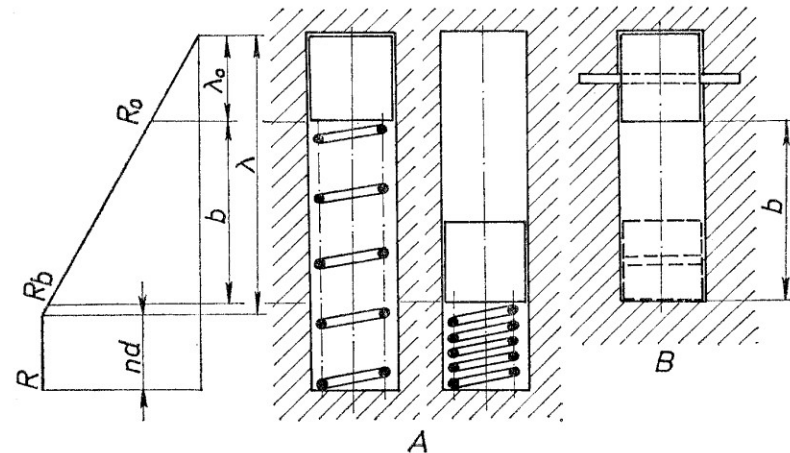
- Korišćenjem prethodne dve nejednakosti dobijamo **uslov sigurnosti i pouzdanosti armiranja za slučaj krutih osigurača**

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

- Svojstvo opruge da se vraća u početni položaj, kao i **moгуćnost potpune kontrole** karakteristika pri proizvodnji (što nije slučaj sa krutim osiguračima), snižavaju vrednost koeficijenta sigurnosti na 1500 ili u nekim slučajevima na 1000.

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

- može se dogoditi da definisani uslovi sigurnosti i pouzdanosti **ne mogu biti zadovoljeni**



Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- Dinamički metod
- Kretanje jednostavnog inercijalnog mehanizma sa elastičnim osiguračem (**oprugom**) može se opisati jednačinama

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

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.

- Istraživanja su pokazala da se u slučaju **pada projektila sa određene visine** kriva usporenja pri kontaktu sa različitim podlogama (zemlja, pesak, drvo, beton, čelična ploča itd.) može aproksimirati izrazom

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_s = Me^{-nt} \sin^k(\omega t)$$

Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- ako se uvedu **smene**

$$k^2 = \frac{R}{\left(m + \frac{m_0}{3}\right)\lambda} \qquad k_0 = \frac{R\lambda_0}{\left(m + \frac{m_0}{3}\right)\lambda}$$

- **jednačine glase**

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

- mehanizam će zadovoljavati **uslove sigurnosti i pouzdanosti** ako se izaberu koeficijenti k^2 i k_0 (tj. konstrukcione karakteristike elastičnog osigurača) tako da važi:

- u slučaju delovanja **radne inercijalne sile** mora biti

$$x_{\max} \geq a$$

- u slučaju delovanja **slučajne sile** mora biti zadovoljeno

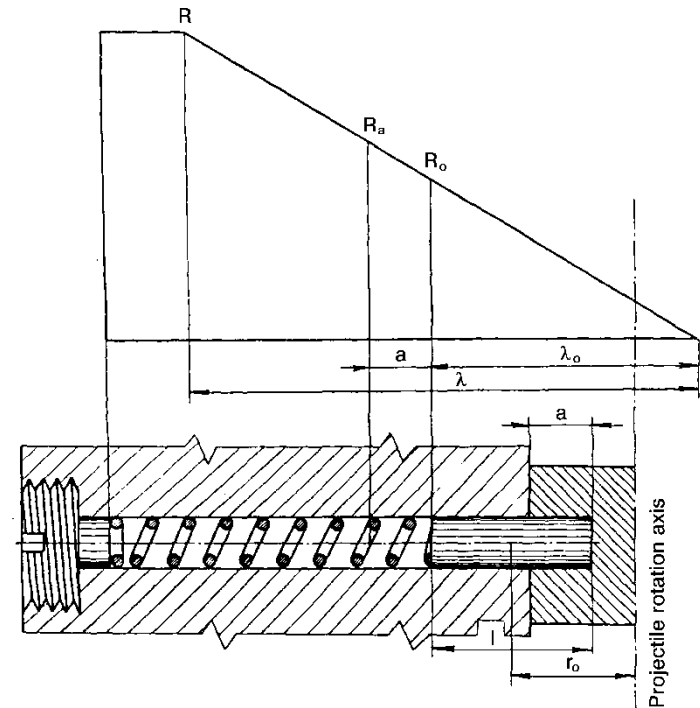
$$x_{\max} < a$$

Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- **Sigurnost i pouzdanost centrifugalnih mehanizama**
- Prema načinu **dejstva i konstrukciji**, centrifugalni mehanizmi se dele na:
 - mehanizme sa **pravolinijskim kretanjem** i
 - mehanizme sa **rotacionim kretanjem**.
- Pri slučajnom padu, udaru i sl. **centrifugalni mehanizmi ne mogu da budu izloženi rotaciji**, pa imaju značajnu prednost sa aspekta sigurnosti u odnosu na inercijalne mehanizme.
- Usvajajući **rezervu od 20%**, za centrifugalni mehanizam sa pravolinijskim kretanjem može se pisati:

$$\frac{4}{5}mr\omega_{\max}^2 \geq R_a$$



Šema centrifugalnog elementa sa pravolinijskim kretanjem

Pouzdanost i sigurnost upaljača

Sigurnost i pouzdanost inercijalnih mehanizama

- Usvajajući ranije korišćene oznake i obeležavajući početno rastojanje centra mase pokretnog elementa od ose rotacije se r_0 , imamo:

$$r = r_0 + a \quad R_a = R \frac{a + \lambda_0}{\lambda}$$

- Uslov postaje

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

- Ako se uvede

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi n_{\max}}{60}$$

- Konačno se dobija

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

- 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).

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, 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.

Ispitivanje upaljača

Metode ispitivanja funkcionisanja upaljača (**pouzdanosti**) uključuju:

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

Ispitivanje 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

Ispitivanje upaljača

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**.