

Laivastotykkistön tulenjohtolaitteiden viimeaikainen kehitys

Kirjoittanut insinööri komentajakapteeni M N y s t é n

A JOHDANTO

Tulenjohtolaitteiden kehityksen seuraaminen tuottaa yleensä tiettyjä vaikeuksia, sillä nehan kuuluvat siihen taisteluvälineiden alaan, josta ei anneta kovinkaan yksityiskohtaisia tietoja julkisuuteen. Ulkomaalaisilla sotalaivoilla ei tulenjohtolaitteita yleensä selosteta, eikä tulenjohtokeskuksiin ole ollut mahdollisuutta päästä. Näin ollen ei ole ollut helppoa saada käsitystä nykyaikaisten tulenjohtolaitteiden toimintatavoista.

Kirjoittajan Suomen Sotatieteelliselle Seuralle tämän vuoden alkupuolella laatima selostus "Laivatykkistön tulenjohtolaitteiden viimeaikainen kehitys" pohjautui pääosiltaan Italiaan, Sveitsiin, Hollantiin ja Ruotsiin vuonna 1954 tehtyyn opintomatkaan, jolla oli tilaisuus tutustua myös useisiin tulenjohtolaitteita valmistaviin tehtaisiin. Seuraavassa esitellään lyhyesti em selostukseen pohjautuen laivatykkistön tulenjohtolaitteissa tapahtunutta kehitystä ja nykyaikaisten tulenjohtolaitteiden toimintaperiaatteita. Tulenjohtolaitteilla käsitetään tässä valvonta- ja maalinosoituslaitteet, suuntaus- ja mitauslaitteet, ampuma-arvojen laskinlaitteet, sekä vakautuslaitteet.

B TULENJOHTOLAITTEIDEN KEHITYKSEEN JOHTANEET SYYT

Pienille taistelualuksille, joihin laajemmassa katsannossa luetaan myös hävittäjät, voidaan sijoittaa vain rajoitetusti tykkikalustoa. Tehtävät, joita näiden alusten tykkistöllä joudutaan suorittamaan,

ovat kuitenkin varsin moninaiset. Siksi on nykyinen laivatykistö aina 120 mm:n kaliiperiin saakka konstruoitu yleistyktöksi, joka soveltuu kaikkiin kysymykseen tuleviin tehtäviin eli meri-, maa- ja ilma-ammuntoihin.

Tykistön joustava käyttö eri tehtäviin edellyttää, että samoilla tulenjohtolaitteilla voidaan määrittää erilaisten ammuntojen vaatimat ampuma-arvot, joten tulenjohtolaitteiden tulee olla yleistulenjohtolaitteita.

Lentokoneiden lisääntynyt nopeus on vaikuttanut yllätysmahdollisuuksien suurentumiseen. Tämä on pakottanut kiinnittämään entistä enemmän huomiota valvontalaitteisiin, niiden toimintaetäisyyden pidentämiseen sekä valvonta- ja maalinetsintätoiminnan jatkuvuuden turvaamiseen.

Nopeuksien kasvamisen vuoksi on ilmatilanteen hallinta tullut entistä vaikeammaksi. Tilanteesta selvillä pysyminen, havaittujen koneiden tunnistaminen ja viholliskoneiden seuraaminen sekä maalinsoitus- ja tulenjakotoiminnan mahdollistaminen ovat pakottaneet tulenjohtolaitteiden suunnittelijat etsimään uusia toimintatapoja.

Lentokoneiden nopeuden suurennuttua 2—3 kertaiseksi on suuntaus- ja mittauslaitteille jouduttu asettamaan vastaavat vaatimukset, jottei toimintamahdollisuuksia rajoitettaisi. Suurempien suuntausnopeuksien saavuttamiseksi on suuntauslaitteissa jouduttu ottamaan käyttöön uusia teknillisiä ratkaisuja ja muuttamaan keskustähtämien rakennetta niin, että suuntauksen vaatima tehon tarve on mahdollisimman pieni.

Laskinlaitteiden tehtävänä on määrittää ampuma-arvot ja lähettää ne tykeille. Lentokoneen tullessa yllättäen näkyviin on ampuma-arvot saatava nopeasti aselle, jotta torjuntaan voidaan ajoissa ryhtyä. Laskinlaitteilta vaaditaan näin ollen suurta laskuvalmiutta. Tämän vaatimuksen täyttämiseksi on niiden konstruktiossa siirrytty yhä suuremmassa määrin sähköisten elementtien käyttöön.

Tulenjohtolaitteiden toiminnan tulee tapahtua mahdollisimman saumattomasti, joustavasti ja samanaikaisesti, jotta torjunnalle luotaisiin riittävät toimintaedellytykset. Tulenjohtolaitteiden eri osien on näin ollen muodostettava teknillisesti täysin hallittavissa oleva kokonaisuus, mikä edellyttää mahdollisimman pitkälle vietyä automatisointia ja kauko-ohjauslaitteiden käyttöä.

Lentokoneiden suurentunut nopeus on vähentänyt torjuntaan käytettävissä olevaa aikaa, joten tulen tarkkuuden lisäämisellä on pyrittävä korvaamaan ajan menetys. Suuntaus- ja mittauslaitteiden määrittämien maalin koordinaattien tarkkuudesta riippuu olennaisesti ampuma-arvojen tarkkuus. Suuntauksessa syntyviä virheitä ei koulutuksen tehostamisella eikä normaalisten suuntauslaitteiden kehittämisellä ole voitu riittävässä määrin poistaa. Näin ollen on tarkkuuden lisäämiseksi jouduttu liittämään suuntaus- ja mittausjärjestelmään laitteita, joiden tehtävänä on ratkaista maalin liiketekijät koordinaatistossa, jossa ne vakiolennon aikana pysyvät muuttumattomina, tasoittaa nämä suuntausvirheiden vaikutuksille alttiina olevat arvot sekä käyttää tasoitettuja ja vakiona pysyviä maalin liiketekijöitä suuntaustehtävän suorittamiseen ja ennakoiden laskemiseen.

Laivan keinuntaliikkeen eliminoiminen vaikuttaa ratkaisevasti aluksella toimivien tulenjohtolaitteiden ampuma-arvojen tarkkuuteen. Näin ollen on hyrrävakaussuuntauslaitteiden toiminnan oltava virheetöntä huolimatta ulkopuolisen kitkan ja laivan kiihtyvyyden aiheuttamista häiriötekijöistä.

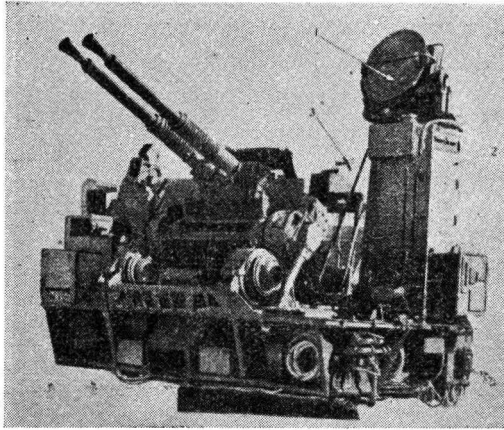
C TULENJOHTOJÄRJESTELMISSÄ TAPAHTUNUT KEHITYS

1. Kevyt ilmatorjuntatykistö

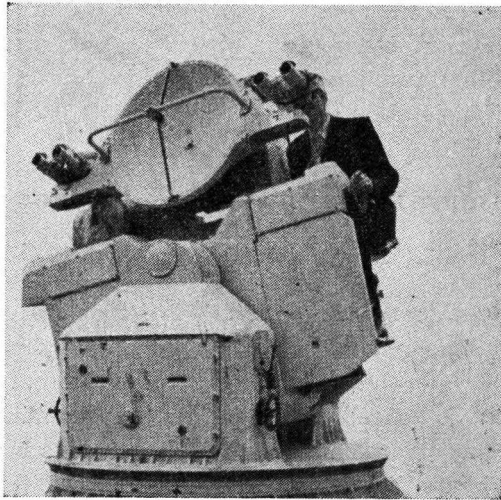
Tykin lavettiin asennetut tykkilaskimet muodostivat pääasiallisesti kevyen ilmatorjuntatykistön tulenjohtolaitteet 1930-luvun lopulla. 1940-luvun alussa tuli käyttöön 40 mm:n kaksoistykki, johon kuului myös koneellistetut laskinlaitteet ja etäisyydenmittari.

Kaksoistykissä oleva etäisyydenmittari korvattiin myöhemmin tutkalla, jota käytettiin myös tykin suuntaukseen tutkatähtäimien avulla (kuva 1).

Sotien jälkeen on keveiden ilmatorjuntatykkien laskinlaitteita edelleen huomattavasti kehitetty ja tulenjohtojärjestelmää muutettu. Tykkien suuntaajat on poistettu tykeiltä ja tykit yhdistetty tykkiryhmän yhteiseen suuntaimeen, joka keskussuuntaa (kauko-ohjaa) siihen kytketyt tykit. Varsinaiset laskinlaitteet sijaitsevat tulenjohtokeskuksessa, jossa ennakkokulmat yhdistetään tykeille



Kuva 1
Tutkalla varustettu 40 mm:n kaksoistykki

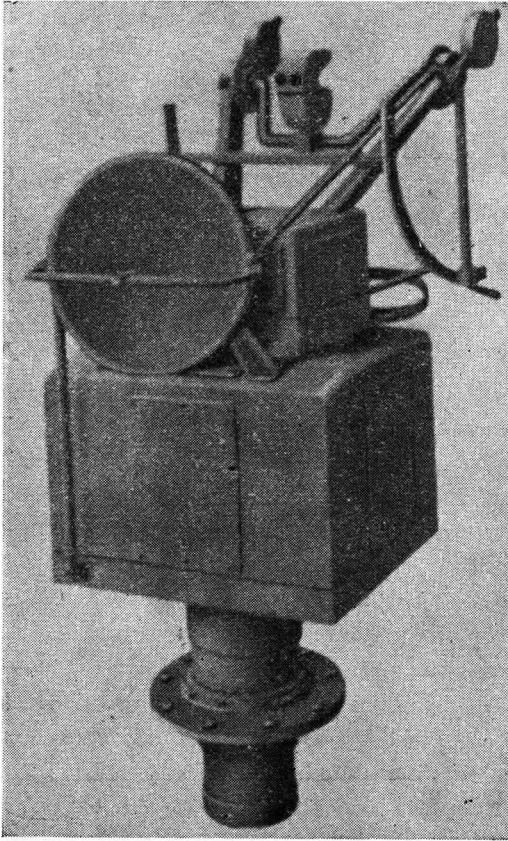


Kuva 2
40 mm:n tykistön keskustähtäin

meneviin suuntauskulmiin. Suuntain eli keskustähtäin, joka on hyr-
 vävakautettu, on varustettu tulenjohtotutkalla, ja sen toiminta tapah-
 tuu uusimmissa generatiivisissa laitteissa täysautomaattisesti tutkan
 avulla.

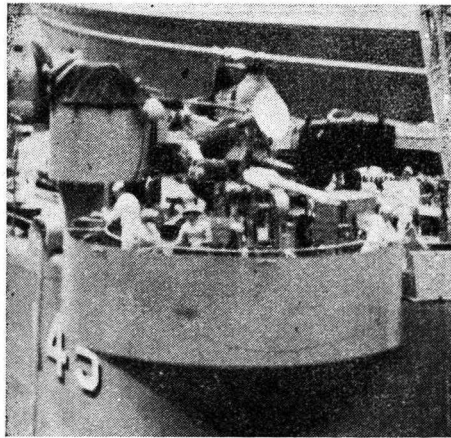
Kuvassa 2 esitetty keskustähtäin on 40 mm:n tykkiryhmän keskussuuntain, joita suurehkoilla, useita kevyitä tykkiryhmiä omaavilla taistelualuksilla on vastaava määrä.

Täydellisen hyrrävakautetun keskustähtäimen ohella on kehitetty myös yksinkertainen, etäisyydenmittaustukalla varustettu keskussuuntain, johon voidaan liittää 1—2 tykkiä (kuva 3).



Kuva 3

Etäisyydenmittaustukalla varustettu 40 mm:n tykistön keskussuuntain



Kuva 4
Tutkalaitteiden ohjaama ilmatorjuntatykki

Keskussuuntain ei ole vakautettu, mutta siinä olevaan ennakonlaskimeen on liitetty hyrrälaitteet laivan mutkailu- ja keinuntaliikkeiden vaikutuksen eliminoimiseksi ennakoiden määrittämisessä. Keskussuuntainin suuntauksen suorittaa yksi suuntaaja optista tähtäintä käyttäen. Keskussuuntainin käytön tarkoituksena on siirtää tärkeä suuntaustyö pois tykin välittömästä läheisyydestä, jossa sillä ei ole edullisia toimintamahdollisuuksia.

Tiettyä täydellisyyttä edustaa kevyen ilmatorjuntatykistön alalla tutkan ohjaama ilmatorjuntatykki, jossa tutkalaitteet on sijoitettu tykin yhteyteen (kuva 4).

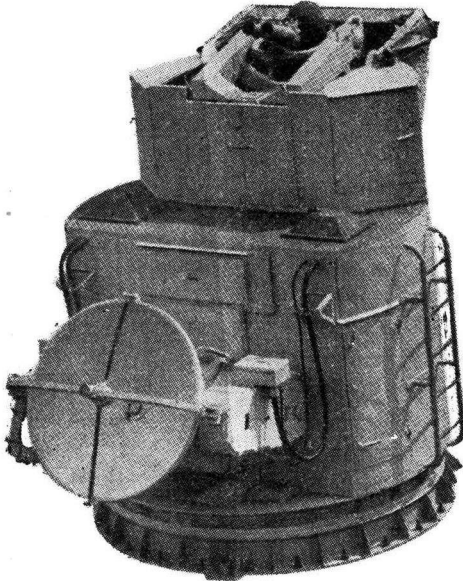
Samaan kokonaisuuteen on rakennettu myös laskinlaitteet, jotka määrittävät sivu- ja korkeusennakkokulmat. Toiminnassa ollessaan kyseinen tulenjohtojärjestelmä on kytketty etsinnälle, jolloin tutka servolaitteiden avulla ”pyyhki” koko taivaan pallon. Kun maali on tullut näkyviin tutkan kuvaputkella, järjestelmä kytketään automaattiselle seurannalle, jolloin tutka pysyy jatkuvasti maaliin suunnattuna ja tykin putki osoittaa ennakkopisteeseen.

2. Raskas yleistykiöstö

Raskas laivatykiöstö oli 1930—40 luvun vaihteessa suunniteltu yleensä vain meriammuntaa varten. Sen tulenjohtojärjestelmän muodosti keskustähtäin, tulenjohtokeskus laskinlaitteineen ja tykit. Keskustähtäin toimi paitsi siihen kytkettyjen tykkien keskussuuntaimena myös ao tykiöstön johtoelimenä, jonka päällikkönä oli tulenjohtajana toimiva upseeri.

Nykyaikaisissa sotalaivoissa on tykiöstötakillinen tulenjohto siirtynyt komentosillalta taistelunjohtokeskukseen, johon on sijoitettu valvontatutkan näyttölaite ym. valvontalaitteita.

Tykiöstön tulenjohtaja ei ole enää taistelutornissa keskustähtäimen ääressä, vaan hänen paikkansa on nykyisin tulenjohtosillalla. Hänellä on kauko-ohjattu tähtäin, jota hän voi käyttää joko havaintojen tekoon keskustähtäimen seuraamaan maaliin tai keskustähtäimiä kauko-ohjaavana maalinsoittimena.



Kuva 5
Raskaan yleistykiöstön keskustähtäin

Entisestä keskustähtäimestä tulenjohtajineen, suuntaajineen ja korjausten asettajineen on tullut pelkkä keskussuuntain, jonka miehistö käsittää yhden suuntaajan (kuva 5).

Kun suuntaus maaliin tapahtuu kauko-ohjauksena valvontatutkan näyttölaitteelta käsin tai tulenjohtajan tähtäinkaukoputken avulla ja maalin seuranta tapahtuu tulenjohtotutkan määrittämiin mittausarvoihin pohjautuen, tarvitaan suuntaaja vain optista suuntausta varten.

3. Tykkien vakautusjärjestelmä

Keskussuuntauslaitteiden ollessa vielä kehittymättömiä ei suuria suuntausnopeuksia eritoten sivusuunnassa voitu saavuttaa. Koska epäsuoran vakautuksen toteuttamiselle ei ollut useinkaan edellytyksiä, jouduttiin keinunnan eliminointi suorittamaan suoraa vakautusta käyttäen, mikä edellytti tykkien kolmiakselisuutta. Suurempien kaliiperien kohdalla tämä merkitsi huomattavan monimutkaista rakennetta.

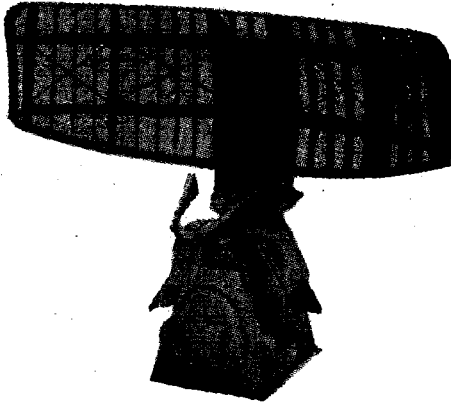
Kauko-ohjauslaitteiden kehityttyä servolaitteiden ansiosta on vakauttamisessa voitu laajemmassa määrin ottaa käytäntöön epäsuora menetelmä ja näin ollen rakentaa tykit kaksiakselisiksi. Nykyaikaiset laivatykit, kevyet ilmatorjuntatykit mukaanluettuna, ovat yleensä kaksiakselisia. Vakautuslaitteiden suhteen tämä on merkinnyt tiettyä lisätoimenpidettä, sillä 3-akselisen tykin ampuma-arvot on muunnettava 2-akselisen tykin ampuma-arvoiksi.

D TULENJOHTOLAITTEIDEN KEHITYS

1. Valvonta- ja maalinosoituslaitteet

1940-luvun alussa käytettiin valvontalaitteina yksinomaisesti erilaisia optisia välineitä, kuten maalinosoittimia, etäisyydenmittareita ja keskustähtäimiä.

Maalinosoitus suoritettiin joko varsinaisilla maalinosoittimilla, jotka yleensä pystyivät antamaan vain sivukulman keskustähtäimelle, tai lähettämällä havainnon tehneen keskustähtäimen suunta



Kuva 6
Hyrräväkautettu valvontatutkan antenni

tulentohtokeskuksen kautta ao taistelutorniin, jolloin maalin paikantamiseksi oli pakko suorittaa etsintää korkeussuunnassa ja etäisyydessä.

Nykyaikaisissa sotalaivoissa tapahtuu valvonta ja maalinosoitus-toiminta pääasiallisesti tutkalaitteiden avulla. Laivoilla käytettävien valvontatutkien antenni on usein hyrräväkautettu ja sen rakenne tekee mahdolliseksi sekä merialueen että riittävässä määrässä myös ilma-alueen valvonnan (kuva 6).

Valvontatutkan päänäyttölaitte sijaitsee taistelunjohtokeskuksessa. Yleisnäyttöputken (PPI) ohella on taistelunjohtokeskuksessa mm kauko-ohjatut katodisädeputket, joita käytetään eri tykistöjen keskussuuntaimien maalinosoitukseen (kuva 7).

Niin pian kuin maalit on todettu päänäyttölaitteessa, annetaan ne maalinosoituskuvaputkille, joiden hoitaja seuraa maaleja käsi-pyörien avulla. Maalinosoituskuvaputken sivusuunnan ja etäisyyden seurantalaitteisiin on kytketty lähettimet, jotka mahdollistavat automaattisen maalinosoituksen tulentohtotutkalla varustetulle keskustähtäimelle. Keskustähtäin kääntyy servolaitteiden avulla sivusuunnassa maalinosoituskuvaputken lähettimen osoittamaan suun-



Kuva 7
Valvontatutkan maalinsoitinlaite

taan, ja tutkan etäisyyden määrittämislaitteet tulevat servolaitteiden avulla ohjatuksi maalinsoittimen lähetintä vastaavaan asentoon.

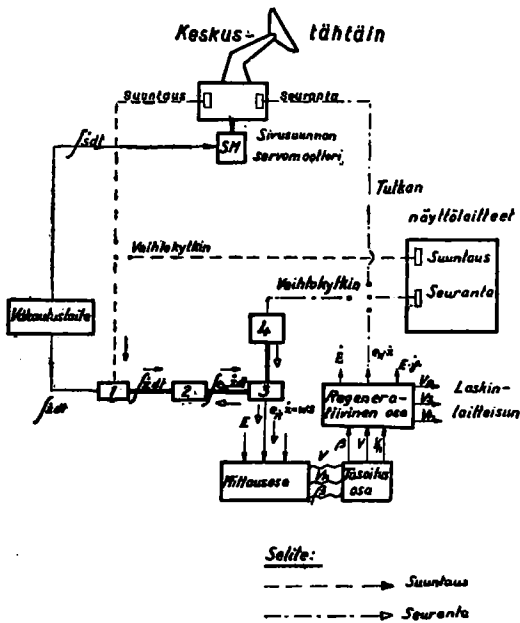
Maalinsoittimen lähetinlaitteet voidaan kytkeä myös tulenjohtajan kauko-ohjattuun tähtäinlaitteeseen, jolloin käy mahdolliseksi automaattinen maalinsoitus tälle tähtäimelle samoin kuin keskustähtäimellekin. Koska maalinsoituslaitteella ei voida määrittää korkeuskulmaa, tulenjohtoupseerin täytyy etsiä tähtäinkaukoputkellaan korkeussuunnassa tähtäimen pysyessä servolaitteen avulla jatkuvasti tähtäystason suunnassa. Tähtäinlaitteessa oleva etäisyyden vastaanotin osoittaa tulenjohtoupseerille valvontatutkan mittaa-man etäisyyden ko maaliin.

Tähtäintä käytetään myös optisena maalinsoittimena keskustähtäimille erityisesti silloin, kun yllättävästi tulee näkyviin maaleja, joita valvontalaitteilla ei satunnaisesti ole havaittu. Suuntaamalla optinen maalinsoitin lentokoneeseen saadaan samalla siihen kytetty keskustähtäin kääntymään servolaitteiden avulla tähtäimen osoittamaan suuntaan. Niin pian kuin tulenjohtotutkan keila osuu lentokoneeseen keskustähtäin seuraa maalia automaattisesti.

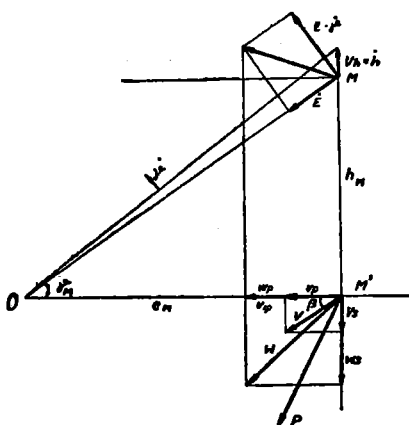
Jotta taktillinen tulenjohtaja saisi jatkuvasti tarkan yleiskuvan ilmatilanteesta, voidaan havaittujen ja maalinosoituspukella seurattujen maalien koordinaatit automaattisesti siirtää erityisen lentoreitin piirtimen tasolle, jolle voidaan samanaikaisesti saada myös keskustähtäimillä seurattavien maalien lentoreittien kuvaajat. Piirtimen tasolta saadaan näin ollen hyvä yleissilmäys maailtilanteesta. Tällainen järjestelmä helpottaa huomattavasti taktillista johtajaa nopean tilanteenarvostelun suorittamisessa ja maalien osoittamisessa eri tykistöille.

2. Suuntaus- ja mittauslaitteet

1940-luvulla käytännössä olleiden keskustähtäimien suuntaus tapahtui pääasiallisesti mekaanisen matkanopeusjärjestelmän mukaisesti.



Kuva 8
Regeneratiivinen toiminta kaavio



Kuva 9
Mittausarvot kolmiulotteisessa
yleistulentojohtojärjestelmässä

Koska suuntaajat joutuivat jatkuvasti muuttamaan keskustähtäimen kääntymisnopeutta seuratessaan suoraviivaisesti lentävää konetta, aiheutti suuntauksessa pakostakin ilmenevä epätarkkuus vaihteluja mittausarvoihin perustuvissa maalin liiketekijöissä ja näin ollen myös ampuma-arvoissa.

Nykyaikaisissa tulentojohtolaitteissa suuntaus maaliin voidaan suorittaa joko keskustähtäimellä tai tulentojohtokeskuksessa olevilta tutkan näyttölaitteilta käsin, ja se tapahtuu periaatteessa kuvien 8 ja 9 osoittamalla tavalla.

Sivusuuntakäsipyörän kääntäminen joko keskustähtäimessä tai tulentojohtotutkan panelilla saattaa servomoottorin (1) pyörimään nopeudella, joka on verrannollinen suuntauspyörän asentoon. Jatkuvatoimintaisessa kertolaskulaitteessa (2) kerrotaan moottorista (1) tuleva suuntiman muutos \dot{z} vaakataisuudella e_M ja tulos $\int e_M \dot{z} dt$ derivoidaan derivaattorissa (3). Tästä saatu arvo ($e_M \cdot \dot{z} = ws$) välitetään maalin paikantajan mittausosaan.

Etäisyyden muutos \dot{E} ja maalin suhteellinen nopeuskomponentti \dot{y} . E määritetään periaatteessa samalla tavalla ja välitetään ko mittausosaan.

Maalin paikantajan mittausosa laskee suuntausarvoihin perustuen maalin absoluuttiset liiketekijät v_h , v ja β . Kuten edellä on esitetty, nämä mittausarvot eivät ole tarkkoja, vaan ne vaihtelevat epätasaisesti suuntauksen virheellisyyden vuoksi, joten arvot on tasoitettava ennen niiden hyväksikäyttöä. Tasoitettut arvot välitetään maalin paikantajan regeneratiiviseen eli takaisinlaskevaan osaan, joka muuntaa maalin absoluuttiset liiketekijät takaisin maalin suhteellisen nopeuden komponentteiksi \dot{E} , $E \cdot \dot{\gamma}$ ja $e_M \cdot \dot{z}$.

Nämä arvot eivät vaihtelee epätasaisesti, joten niitä voidaan käyttää edullisesti laskulaitteissa ennakoiden määrittämiseen ja keskustähtäimen regeneratiiviseen suuntaamiseen maaliin.

Niin pian kuin maali on saatu tähtäimeen ja pidetty siinä muutamana sekunnina ajan, suuntaajat ja tutkamittaja kytkevät "seurannan" toimintaan, jolloin suuntauskäsipyörät tulevat vaikutuksettomiksi ja seurantakäsipyörät yhdistyvät ohjauspiireihin.

Derivaattori (3) toimii nyt integraattorina. Keskustähtäimeen tai tutkan näyttöpaneeliin sijoitetulla seurantakäsipyörällä voidaan servomootorin (4) välityksellä asettaa maalin suhteellinen sivunopeus ($w_s = s_M \cdot \dot{z}$) Laskinlaite (2) jakaa nyt $\int e_M \cdot \dot{z} dt$ e_M :llä ja suuntima $\int \dot{z} dt$ välitetään vakauslaitteeseen, josta edelleen sivukulmana keskustähtäimeen.

Maalin tarkka seuranta on näin ollen toteutettavissa. Samankaltaiset laskupiirit mahdollistavat myös korkeussuunnan ja etäisyyden regeneratiivisen seurannan. Mittausosan ja regeneratio-osan välillä olevan suljetun laskupiirin avulla maalin arvot pidetään oikea-aikaisina. Keskustähtäimen suuntaajilla ei regeneratiivisen seurannan aikana ole mitään tehtävää, ellei maali muuta liikesuuntaa tai nopeutta.

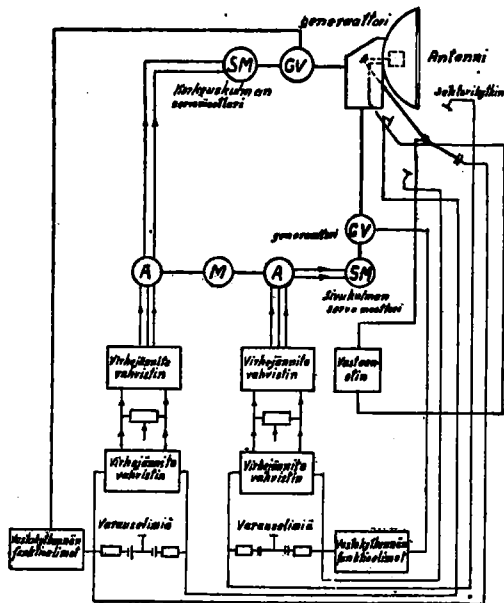
Viime vuosien aikana on saatu kehitetyksi täysautomaattinen generatiivinen järjestelmä, jossa keskustähtäimellä voidaan seurata maalia automaattisesti tutkan avulla, vaikka maalin liikesuuntakulma ja nopeus muuttuisivatkin.

Automaattisessa maalinosoituksessa, mikä tapahtuu valvontatutkan näyttölaitteelta käsin, keskustähtäin kääntyy automaattisesti servolaitteiden avulla osoitettuun suuntaan ja etsii maalia tulenjoh-

totutkan avulla korkeussuunnassa. Niin pian kuin tutkan keila osuu maaliin, tutka lopettaa etsintäliikkeen ja ryhtyy maalin seurantaan.

Keskustähtäin on ko järjestelmässä varustettu lisäksi regeneratiivisella ohjauksella, mikä tekee mahdolliseksi maalin seurannan regeneratiivisten suuntausarvojen perusteella, kuten edellä on selostettu. Regeneratiivinen ohjaus lisää huomattavasti suuntauksen tarkkuutta, sillä keskustähtäin jatkaa maalin häiriötöntä seurantaa siihen asti, kunnes maalin liiketekijöissä tapahtuu muutoksia, jolloin regeneratiivisen järjestelmän tutkalaitteet suorittavat keskustähtäimen suunnan korjaamisen.

Generatiivisen järjestelmän tutkauksessa käytetään kartiokeilausta, jossa keila pyörii siten, että sen akseli muodostaa avaruuteen kartion. Keilauskartio pyritään suuntaamaan siten, että maali saadaan kartion keskiakselille. Jos maali poikkeaa keskiviivasta saadaan keilan tietyistä asennoista erilaiset maali-impulssien voimakkuudet,



Kuva 10
Generatiivisen järjestelmän tutkalaitteiden toimintaperiaate

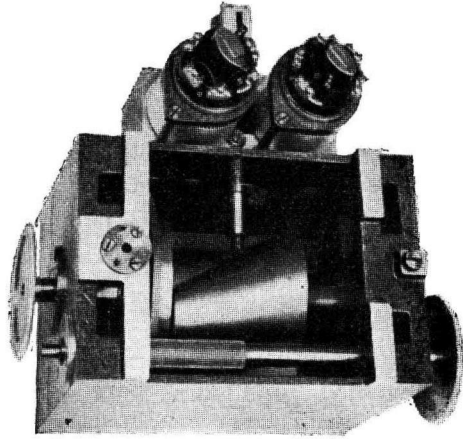
joiden perusteella voidaan todeta maalin sijainti sivu- ja korkeusuunnassa keskiakseliin nähden. Kuvassa 10 on esitetty generatiivisen järjestelmän tutkalaitteiden toimintaperiaate sivu- ja korkeusuunnassa.

Sektorikytkin, joka on mekaanisesti yhdistetty dipoliantenniin, pyörii kartiokeilauksen mukaan. Vastaanottimesta saatu maali-impulssi johdetaan sektorikytkimeen, jossa on neljä jakolevyä. Vastakkaisilla puolilla olevista jakolevyistä x_1 ja x_2 johdetaan jännite sivusuunnan virhejännitevahvistimeen. Vaikka kartiokeilauksessa käytetäänkin suhteellisen suurta keilan pyörimisnopeutta, maali-impulssit tulevat hieman eri aikoina ko virhejännitevahvistimeen. Jotta impulssit saadaan pysymään vertauskelpoisina, niiden annetaan vaikuttaa myös varauselimeen, jolla on suuri aikavakio. Jakolevyistä x_1 ja x_2 tulleiden maali-impulssien ero, virhejännite johdetaan vaihteentuntevana toisen virhejännitevahvistimen välityksellä pyörivään tehovahvistimeen, amplitudynegeneraattoriin, jota moottori M pyörittää. Virhejännite, monin verroin vahvistettuna, ohjaa sivukulman servomoottoria, joka suorittaa antennin ohjauksen sivusuunnassa siten, että virhejännite kumoutuu. Tutka-antennin värähtelyn estämiseksi on servomoottorin akselille asennettu vastakytkennässä oleva takometrigeneraattori G_v , joka antaa jännitteen verrannollisena servomoottorin pyörimisnopeuteen. Generaattorin jännite vaikuttaa funktio-elimeen, joka sisältää derivoivia ja integroivia elimiä. Näiden tehtävänä on suuntauksen tarkkuuden lisääminen ja syntyneen suuntauseron nopea poistaminen.

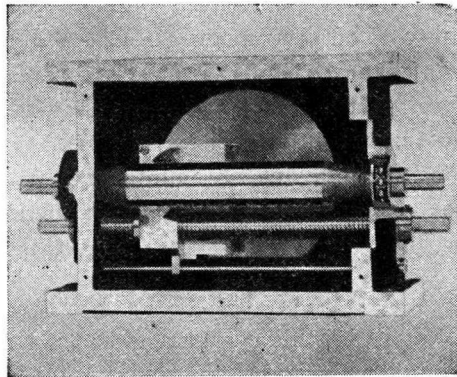
3. Laskinlaitteet

1940-luvun laskinlaitteet olivat rakenteeltaan yksinomaan mekaanisia. Niiden käyttövoimana ja laskinelementtien siirtolaitteina käytettiin erilaisia sähkömoottorirakenteita.

Nykyisin käytetään edelleen mekaanisia laskinelementtejä, jotka eivät periaatteelliselta rakenteeltaan paljoakaan poikkea aikaisemmin käytetyistä. Laskuoperation nopeuttamiseksi on laskinelementtien kokoa kuitenkin huomattavasti pienennetty ja laskinlaitteet automatisoitu servolaitteiden avulla (kuvat 11 ja 12).



Kuva 11
Muotokappale lähetinlaitteeseen



Kuva 12
Integraattori

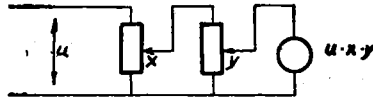
Viime vuosina on yhä suuremmissa määrin pyritty soveltamaan sähkömekaanisia laskinelementtejä tulenjohtolaitteisiin. Täten aikaansaadaan

- tulenjohtolaitteiden keveneminen, ja pienentyminen,
- ampuma-arvojen laskemisen nopeutuminen sekä
- kertolaskujen suorittamisen ja funktioiden muodostamisen yksinkertaistuminen.

Sähkömekaanisissa laitteissa ilmaistaan matemaattiset suureet jännitteen, virranvoimakkuuden tai vastuksen avulla.

Yhteenlaskun suorittamiseen käytetään Kirchhoffin lakia, jonka mukaan pisteeseen tulevien virtojen summa on sama kuin siitä lähtevien virtojen summa. Yhteenlaskettavat ja niiden summa kuvataan virranvoimakkuutena.

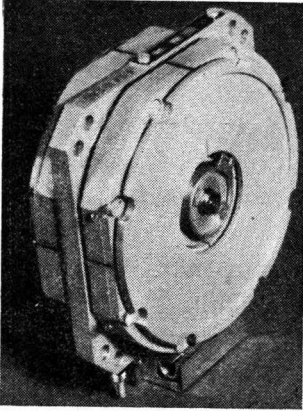
Sähkömekaaninen periaate on erittäin käyttökelpoinen kertolaskun suorittamisessa, mikä voidaan toteuttaa käyttämällä kahta potentiometriä kuten kuvassa 13 ilmenee.



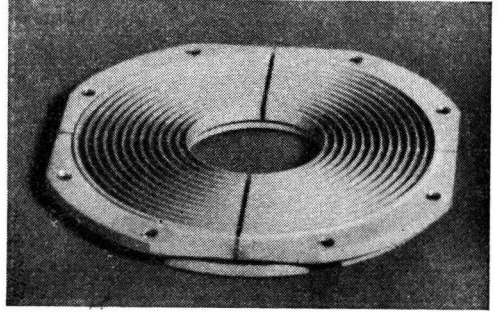
Kuva 13

Kertolaskun suoritus kahta potentiometriä käyttäen

x ja y ovat potentiometrin laahaimien kääntymiskulmat. Ne voivat vaihdella 0—1. Kertolaskulaitteeseen vaikuttaa vakiojännite u ja tulokseksi saadaan tulo $u \cdot x \cdot y$ jännitteenä. Jotta tulos olisi riittävän tarkasti oikein, tulee toisen potentiometrin vastuksen olla noin 20 kertaa niin suuri kuin ensimmäisen. Sähkömekaanisen kertolaskulaitteen yksinkertaisuus verrattuna vastaavaan mekaaniseen laitteeseen on ilmeinen. Syvempi syy sähkömekaanisen kertolaskulaitteen käyttökelpoisuuteen on siinä, että kertolasku, fysikaalisesti sanottuna, merkitsee dimensiomuutosta, johon sähkömekaaninen esitys erityisen hyvin sopii.



Kuva 14
Laskukondensaattori



Kuva 15
Kondensaattorin levy

Ballististen funktioiden esittämiseksi valmistetaan funktiopotentiometrejä, joiden vastusarvot muuttuvat halutulla tavalla kääntymiskulman mukaan.

Olellisesti tarkempia ja joustavampia kuin epälineaariset potentiometrit ovat laskukondensaattorit (kuvat 14 ja 15).

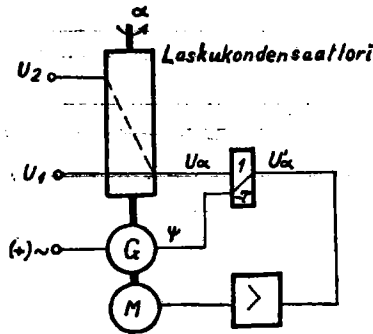
Laskukondensaattorien levyt leikataan siten, että kondensaattorien kapasitanssi tulee muuttumaan annetun funktion mukaisesti. Yhdistämällä useampia laskukondensaattoreita sähköiseen moninapaan syntyy erittäin suorituskykyisiä kapasitiivisia laskulaitteita, joita nykyisissä sähkömekaanisissa tulenjohtolaitteissa pääosiltaan käytetään.

Sähkömekaanisissa tulenjohtolaitteissa käytetään paljon myös moottoreita ja generaattoreita laskuelementteinä. Jos generaattori on rakennettu siten, että se kaikissa olosuhteissa antaa kierrosluvuun verrannollisen jännitteen, niin voidaan sitä käyttää derivaattorina. Päinvastaisessa tapauksessa moottori, jonka kierrosluku on verrannollinen vaikuttavaan jännitteeseen, toimii integraattorina.

Servolaitteilla on mitä monipuolisin käyttö nykyajan tulenjohtolaitteissa. Eräs tärkeimmistä tehtävistä on toiminta yhtälöiden ratkaisijana. Periaate on seuraava:

Olkoon $f(l_1, l_2, l_x) = 0$ ratkaistava yhtälö, jossa l_x on ainoa tuntematon. Laskuelementtiä, joka toteuttaa funktion $f(l_x)$ kääntää servolaite. Tämän systeemin servomoottoria ohjaa virhe $f(l_1, l_2, l_x) = a$ ja moottori pyörii siksi, kunnes $a = 0$, eli siihen asti kunnes yhtälö on toteutettu.

Esim $U_1 \cos \psi - U_2 \sin \psi = 0$, jossa ψ on tuntematon. Kuvassa 16 on esitetty servojärjestelmä, joka ratkaisee ψ kulman.



Kuva 16
Servojärjestelmä, joka ratkaisee ψ -kulman

Servomoottori M pyörittää laskukondensaattoria siksi, kunnes virhejännite on tullut nolaksi ja ψ :n arvo määritetyksi.

Tällaisen järjestelmän differentiaaliyhtälö on periaatteessa muotoa (kitkaa ei oteta huomioon)

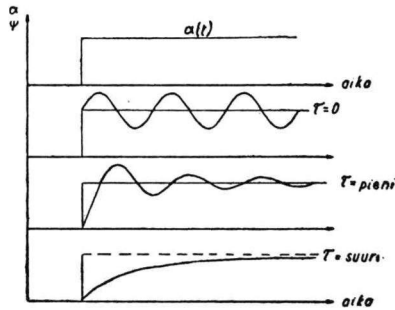
$$m \Theta \frac{d^2 \psi}{dt^2} + k [\psi - l(t)] = 0$$

Se on toisen kertaluokan diff yhtälö, jonka ratkaisu antaa ψ :n sinimuotoisen värähtelyn. Toisin sanoen servo värähtelee ψ :n oikean arvon molemmiin puolin. Tämä pyritään eliminomaan liittämällä virhejännitteeseen U_α takometrigeneraattorin antama jännite

$-\frac{d\psi}{dt}$ Diff yhtälö muodostuu silloin seuraavanlaiseksi:

$$m \Theta \frac{d^2 \psi}{dt^2} + \frac{d\psi}{dt} + k [\psi - l(t)] = 0$$

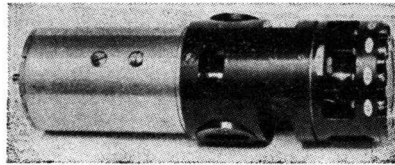
Vaimennustermin $\tau \frac{d\psi}{dt}$ aikavakion suuruuden mukaan saadaan $\psi(t)$:lle joko voimakkaasti vaimennettu värähtely, jatkuva värähtely tai perioditon liike (kuva 17).



Kuva 17

Värähtelyn lajit vaimennetussa servojärjestelmässä

Värähtelyn estämiseksi on yleensä jokaisen servomootorin yhteyteen sijoitettu takometrigeneraattori. Eräissä tulenjohtolaitteissa käytetty moottorigeneraattori on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18

Moottorigeneraattori

4. Hyrrävakautuslaitteet

1940-luvun hyrrävakautuslaitteet oli sijoitettu pääasiallisesti keskustähtäimeen, jossa niiden avulla suoritettiin taistelutornin ja sen optiikan vakautus sekä vakautuskulmien mittaus tähtäystasossa ja poikittaistasossa.

Hyrrälaitteiden sijoitus keskustähtäimeen yksinkertaisti vakautusjärjestelmää, sillä hyrrät olivat suuntauksen aikana jatkuvasti oikeissa toiminta-asennoissaan. Toisaalta voidaan sanoa, että hyrrälaitteiden sijoitus kauaksi laivan keinunta-akselista saattoi ne alttiiksi laivan keinuntaliikkeen kiihtyvyyden aiheuttamille jäyhyysvoimille, mistä oli seurauksena tiettyä virheellisyyttä hyrrien toiminnassa.

Vakautuslaitteiden rakenteellisten heikkouksien vuoksi hyrrät eivät voineet toimia täysin virheettömästi, vaan niiden vakautusta oli jatkuvasti tarkkailtava ja suoritusta korjattava.

Hyrrälaitteiden suorituskyvyn hetkellisiin heikkouksiin oli osittain syynä myös vakautusmoottorien ohjauksen epätäydellisyys, mistä oli seurauksena säädön hitaus sekä virheellisyydet vakautuksessa ja vakautuskulmissa.

Koska hyrrälaitteiden toiminnan virheettömyys oli välttämätön edellytys laivatykistön tulen tarkkuuden lisäämiseksi, on hyrrälaitteiden kehittämiseen kiinnitetty erityistä huomiota.

Nykyaikaisen laivatykistön vakautusjärjestelmä käsittää useita eri vakautuslaitteita, jotka on sijoitettu tulenjohtokeskukseen, lähelle laivan keinunta-akselia. Hyrrälaitteille on näin ollen luotu hyvät toimintamahdollisuudet.

Häiriötekijöiden vaikutuksen eliminoimiseksi on hyrrälaitteisiin asennettu erityisten elohopeakoskettimien ohjaamat vääntömomenttimoottorit, jotka häiriön sattuessa palauttavat hyrrän lyhintä tietä takaisin normaaliasentoon.

Jotta laivan kääntymisliikkeen kiihtyvyyden aiheuttama jäyhyysvoima ei aikaansaisi häiriötä hyrrien toimintaan, kuuluu vakautuslaitteisiin myös erityinen hyrräkytkin, joka ohjaa vääntömomenttimoottorien toimintaa.

Vakautusmoottorien ohjauslaitteissa on otettu käytäntöön servojärjestelmä, mikä on huomattavasti lisännyt vakautuslaitteiden suorituskykyä ja toimintatarkkuutta. Käyttömoottorina toimivaa servomoottoria voi ohjata eron kulmakihtyvyys ja kulmanopeus, joten virhettä ei helposti pääse syntymään. Seuraamistarkkuutta voidaan vielä lisätä kytkemällä järjestelmään integroiva elin, jolloin servo-

moottorin vääntömomentti on verrannollinen myös eron aika-intergaaliin.

Edellä esitettyjen hyrräväkautuslaitteiden sääntöelimien ansiosta on vakautuksessa ilmenneet virheet saatu eliminoiduksi, joten vakautuslaitteiden toiminnan valvontaa ja virheiden korjaamista ei enää tarvitse suorittaa.

E LOPPUKATSAUS

Edellä on pyritty selvittämään laivatykistön tulenjohtolaitteissa viime vuosina tapahtunutta kehitystä ja antamaan kuva nykykaisten tutkalla ohjattavien tulenjohtolaitteiden toiminnallisista ja rakenteellisista periaatteista.

Voidaan todeta voimakkaimman kehityksen tapahtuneen valvonta- ja maalinosoitus- sekä mittaus- ja suuntauslaitteissa. Kehitykseen ovat pääosaltaan vaikuttaneet tutkatekniikassa saavutetut edistysaskeleet.

Nykyiset laivatykistön etsintälaitteet kykenevät suorittamaan meri- ja ilmavalvontaa kaikissa olosuhteissa jatkuvana valvontatoimintana.

Maalinosoitus tykistön suuntauslaitteille tapahtuu kauko-ohjaimalla keskustähtäin joko tutkalaitteilta tai optilliselta maalinosoituslaitteelta käsin.

Laivatykistön uusimmat tulenjohtolaitteet voivat seurata maalia täysautomaattisesti tutkalaitteiden avulla.

Ampuma-arvojen määrittäminen ja välittäminen tykeille tapahtuu hyvin lyhyessä ajassa, ja tykit kauko-ohjataan ampuma-arvojen mukaan voimakkailta servomooottoreilla.

Tänä tutkan aikakautena on päästy tiettyyn tavoitteeseen tulenjohtolaitteiden alalla, täydelliseen automatisointiin tutkalaitteiden avulla. Laskinlaitteiden valmiusaika on saatu sähkömekaanisten laskinelementtien avulla ilmeisesti supistetuksi lähelle minimiään.

Ampuma-arvojen laskemisen heikoin kohta on edelleenkin ennakkoiden määrittämisessä, sillä ennakkopisteen paikkaa ei voida tulenjohtolaitteelta käsin riittäväällä varmuudella ennustaa. Onkin luultavaa, että kehitystyö kohdistuu tulevaisuudessa yhä suuremmassa määrin ammusten ohjauslaitteisiin ja niiden käytön yleistämiseen.