

GIROSKOPŲ VYSTYMO SI TENDENCIJOS

Tautvydas Jašinskas

VGTU AGAI Aviacijos prietaisų katedra

El. p. tautvydas.jasinskas@stud.vgtu.lt

Santrauka. Nuo pat pirmųjų giroskopo išradimo dienų, mokslininkams rūpėjo kuo labiau sumažinti jo dydį ir kuo optimaliau padidinti jo tikslumą. XX amžiuje giroskopai išstobulinti taip, kad pirmieji jų atradėjai nebeatpažintų. Per praėjusį šimtmetį buvo atsisakyta besisukančio rotoriaus, lazerio šviesą atspindinčių veidrodžių. Šiuolaikinio giroskopo masė dabar matuojama gramais, o pats giroskopas telpa į degtukų dėžutę. Dėl plačių pritaikymo galimybių giroskopai tapo ne tik pramoninės technikos ar aviacijos elementu, bet buvo pritaikyti ir kasdieninio vartojimo gaminiuose, tokiuose kaip dviračiai, automobiliai ar išmanieji telefonai.

Reikšminiai žodžiai: giroskopas, besisukantis rotorius, lazerinis giroskopas, pjezoelektrinis giroskopas, vibraciniai giroskopai, MEMS, optiniai giroskopai.

1. Įvadas

Giroskopas – tai prietaisas, skirtas padėti ir pusiausvyrai nustatyti. Įrenginys savo populiarumą įgavo jau XX amžiuje. Pirmiausia pradėtas naudoti moksliniams tikslams, vėliau giroskopas buvo pritaikytas laivyboje ir konstruojant įvairius įrenginius. XXI amžiuje šis prietaisas tapo kasdienes buities bei gyvenimo dalimi, nors daugelis iki šiol nežino, kad tokį turi ir naudoja. Sparčiam giroskopo populiarėjimui ir jo vartojimo perversmui didelės įtakos turėjo ne tik tai, kad buvo nuolat mažinama girokopų konstrukcija, bet metams bėgant didėjo jų tikslumas bei sparta: mažėjo konstrukcinės detalės, jos buvo perdaromos, keičiami ar į vieną sujungiami keli veikimo principai. Tobulindami giroskopus inžinieriai pasinaudojo tuometiniais naujaisiais fizikos atradimais, pavyzdžiui, mechaninės detalės pakeitė mikroelektronikos ir kvantinės fizikos komponentais. Iš esmės besisukančio rotoriaus giroskopas buvo pirmasis pramonėje naudojamas įrenginys, o šiandien, bene po 200 metų, naudojame mikroelektromechaninius (toliau – MEMS) ir kiek mažiau paplitusius bei ne taip gerai žinomus kvantinius giroskopus. Giroskopas buvo vystomas palengva, iš pradžių vien moksliniams tikslams skirti giroskopai pamažu tapo naudingi ir vis sparčiau besivystančioje pramonėje. Šiais laikais pagal struktūrą ir veikimo principą giroskopai skirstomi į mechaninius, optinius, vibracinius, kvantinius ir MEMS (Pileckas 2011).

2. Prasidėjo nuo žaidimo

Pirmuoju girokopu galima vadinti žaislą „vilkelį“. Juo vaikystėje džiaugėsi ne viena auganti karta, net nesusimastydama, kad tuo pačiu principu veikiančio prietaiso pagalba skrenda orlaiviai ir kyla raketos. Įsuktas „vilkelis“ sukasi savo vietoje tol, kol nesibaigia energija. XVIII a. pab. – XIX a. pr. mokslininkams kilo idėja žaislo veikimo principą panaudoti mokslo labui. Žinoma, tuo metu dar nebuvo nei lėktuvų, nei povandeninių laivų, niekas net nedrįso svajoti apie išmaniuosius telefonus.

Tačiau giroskopai buvo pritaikyti jūroje – jais naudodamiesi laivai rasdavo kelią į krantą.

3. Šiaurės ašigalio beiškant

Pirmasis apie tai, kad išrado girokopą, 1817 m. paskelbė vokiečių mokslininkas Johannas Bohnenbergeris. Kaip bebūtų gaila, tuo metu dar nebuvo sukurtas įrenginys, kurį naudojant pagelbėtų giroskopo teikiama informacija, todėl išradimas, kurį mokslininkas pavadino tiesiog „mašina“, liko dulkėti spintoje ir nebuvo pritaikytas. Neprabėgus nė pusei amžiaus, prancūzų fizikas Jeanas Foucault sukonstruoja savo girokopą, kuriuo jis pademonstravo, kaip Žemė sukasi apie savo ašį. Būtent šis fizikas pavadino įrenginį girokopu – sudurtiniu graikų kalbos žodžiu, kuriame *gyros* reiškia apskritimą arba sukimąsi, o *skopein* – apžvelgti arba matyti. Anot mokslininko, žodžiai nebuvo parinkti šiaip sau – juk būtent šis prietaisas leido pamatyti, kaip sukasi Žemė.

Vėliau giroskopai leidosi į jūrą: vokiečių išradėjas Hermannas Anschutzas-Kaempfe sumanė prietaisą panaudoti ieškant Šiaurės ašigalio ir sumeistravo pirmąjį praktiškai panaudojamą girokompasą. Kiek vėliau, 1909 m. amerikietis išradėjas ir verslininkas Elmeris A. Sperry's sujungė girokompasus į sistemą – taip laivuose atsirado pirmieji autopilotai.

4. Turėjo trūkumų

Technškai girokopu vadinamas greitai besisukantis simetriškas kūnas, kuris yra įtvirtintas specialioje pakaboje ir turi kelis laisvės laipsnius. Šiais laikais giroskopai atrodo visai kitaip.

Minėtiesiems besisukančio rotoriaus girokopams reikalingas sukimasis, kad jie galėtų pasipriešinti sunkio jėgai. Šį sukimąsi dažniausiai sukelia elektrinis variklis arba vakuumas. Vienas pagrindinių tokio giroskopo trūkumų yra tas, kad vakuumui sukurti reikalinga vakuuminė pavora, o šiai pavorai reikia nemažai elementų (vakuumo siurblio, vožtuvų, filtrų ir kt.), kurie didina sistemos matmenis ir masę – tai kartais gali tapti neįveikiama kliū-

timi, pavyzdžiui, orlaiviuose, kuriems sklęsti ore trukdo kiekvienas papildomas gramas. Elektriniu varikliu įsukami girokopai tikslesni už vakuumu varomus giroskopus, tačiau šie varikliai yra sunkūs ir sąlyginai brangūs. Girokopuose dažniausiai naudojami asinchroniniai specialios paskirties varikliai, kurie ne tik daug sveria, bet ir privalo būti itin galingi ir patikimi.

5. Fizika suvienijo jėgas

Puiki proga patobulinti mechaninius giroskopus atsirado pradėjus analizuoti šviesos optines savybes. Optiniai girokopai būna žiediniai lazeriniai arba optinio pluošto (šviesolaidiniai). Pastarieji matuoja kampinį sukimosi greitį pagal susidariusį skirtumą per apsisukimo laiką, kurį fiksuoja lazerio šviesos banga, judėdama priešinga sukimosi kryptimi. Dėl efekto, kurį pademonstravo prancūzų fizikas G. Sagnacas, atsiranda laiko skirtumas tarp atkeliavusių bangų. G. Sagnacas parodė, kad sukimosi greitis gali būti optiškai užfiksuotas. Jis sukūrė interferometrą, kurį pirmą kartą pademonstravo 1913 m.

1963 m. pasirodė pirmasis girokopas, pavadintas žiediniu lazeriniu girokopu, dar vadinamu RLG (angl. – *Ring Laser Gyro*). Šis girokopas nustebino pasaulį savo išskirtine konstrukcija – neturėjo jokių judančių dalių. Dėl šios priežasties padidėjo girokopas tikslumas, sumažėjo matmenys, taip pat išnyko mechaninė trintis. Girokopas perimetras sumažėjo iki keliasdešimties centimetrų. Šį pirmąjį RLG girokopą Jungtinėse Amerikos Valstijose pademonstravo Macekas ir Davisas, o toliau ši technologija paplito visame pasaulyje ir leido padidinti visų naujų girokopų tikslumą bei sumažinti jų matmenis. Kai RLG yra sukamas, atsiranda skirtumas tarp lazerio šviesos spindulių, kurie keliauja į priešingas kryptis, bet yra sugeneruojami vienu metu. Keliaujant optinei bangai tarp šių priešpriešinių bangų atsiranda dažnių skirtumas. Išmatavus šiuos skirtumus galima apskaičiuoti ir sukimosi nuokrypas. Toks girokopas veikimo principas naudojamas ir šiais laikais – šis, žinoma, patobulintas jutiklis kuo puikiau naudojamas inercinės navigacijos sistemose. Ne vienas girokopas sėkmingai veikia orbitoje, dar praejusiam amžiuje iškeltuose palydovuose ar kosminiuose aparatuose. Su šiuo girokopu galima pasiekti 0,01°/h tikslumą. Dauguma gamintojų tokiems jutikliams suteikia vienos iš 60.000 darbo valandų paklaidą.

Pirmąjį šviesolaidinį girokopą FOG (angl. – *Fibre Optical Gyro*) 1976 m. Jungtinėse Amerikos Valstijose pademonstravo V. Vali ir R. W. Shorthill. Jis, kaip ir RLG girokopai, neturėjo judančių dalių, o RLG girokopas tuo metu lenkė savo skiriamąją gebą – juos buvo galima panaudoti ten, kur reikalaujamas itin didelis nuokrypų tikslumas, pavyzdžiui, elektronikos pramonėje. Aišku, kiekvienas modelis ir kiekviena modifikacija turi teigiamų ir neigiamų savybių; tuometiniai FOG girokopai pasižymėjo vienu nemažu trūkumu – dreifo srovėmis. Supaprastintą šio tipo girokopas modelį sudaro koherentinės šviesos šaltinis, apvijos, kuriomis keliauja šviesos spindulys ir detektorius, priimančias atkeliavusį šviesos signalą.

Įvairių šaltinių teigimu, 1963 m. buvo išduotas patentas pirmajam dinamiškai sureguliuotam girokopui (angl. – *Dynamical Tuned Gyroscope*, toliau – DTG).

DTG – tai dviejų laisvės laipsnių girokopas, kurio tikslumas yra didesnis nei 0,01°/h, plataus masto diapazonas gali siekti iki 200°/s. DTG konstrukcijoje yra besisukantis rotorius ir universalusis lankstas, kuris turi judamąją ašį. Keičiant girokopas sukimosi greitį proporcingai kinta spyruoklių tamprumas (Ciminell *et al.* 2011). Šio girokopas matmenys dabar siekia kelis centimetrus.

6. Sukurti populiariausieji

1983 m. Charles Stark Draper laboratorijoje sukūrė vibracinį girokopą; jis į rinką pateko po ketverių metų. Vibraciniai girokopai šiuo metu yra vieni populiariausių. Jie dar skirstomi į pjezoelektrinius giroskopus, „vyno taurės“ rezonatorius, cilindrinis vibracinius, kamertoninius, vibruojančio rato ir MEMS giroskopus.

Tame pačiame dešimtmetyje buvo sukurtas ir Koriolio vibracinis girokopas (angl. – *Coriolis Vibratory Gyroscope*, toliau – CVG). Prietaiso pagrindinis veikimo principas pagrįstas Koriolio efektu. Girokopas struktūra – asimetrinė. Tai, kad prietaisas neturi besisukančių dalių, suteikia girokopui tokių privalumų, kaip didelis tikslumas ir vibracijoms jautri struktūra. Šie girokopai pasižymi radiaciniu atsparumu ir ilgaamžiškumu. Girokopas struktūrą sudaro simetrinių ašių korpusas su viena uždara dalimi (dugnu). Kitas korpuso šonas lieka atviras ir prie jo tvirtinamas rezonatorius. Prie korpuso pritvirtinami metaliniai strypeliai ir išgręžiamos skylės – taip įrenginys mechaniškai subalansuojamas ir aptinkami vibraciniai pasikeitimai. Vibracinius svyravimus fiksuoja pjezoelektriniai elektrodai.

Dvidešimtojo amžiaus devintajame dešimtmetyje atsiranda vieni iš dabar labiausiai paplitusių girokopų – MEMS girokopai.

Pirmieji MEMS girokopai buvo gaminami iš kvarco remiantis pjezoelektriniais principais. Juos keitė silicis, todėl konstrukcijoje pradėta naudoti nuolatinis magnetus; dar vėliau šiuos pakeitė elektrostatiškai aktyvuojamų silicio girokopų karta. MEMS girokopų dydis matuojamas milimetrais, jų tikrai aptiksite kasdieną naudojamuose įrenginiuose, tokiuose kaip mobilieji telefonai ir žaidimų konsolės.

Šie girokopai išnaudoja Koriolio jėgų poveikį, t.y. kai vibruojanti masė sukasi apie vibracijos plokštumos ašį. Naudojamos dvi pagrindinės konfigūracijos: kamertoninė konfigūracija ir vibruojančio cilindro konfigūracija (CVG). Abiejų konfigūracijų girokopai buvo kuriami pasitelkus mikro apdirbimo technologijas ir integrinių grandynų gamybos metodus, kurie leidžia gaminti labai mažus, tvirtus ir vientisus jutiklius be kitų sudedamųjų dalių. Jų paklaidos neviršija vienos iš 100.000 valandų, o kas svarbiausia – gamybos kaina yra labai maža.

1983 m. sukuriama kamertoninis girokopas (angl. – *Tuning Fork Gyro*). Pagrindinis principas yra kamertonas vibravimas ir signalų sustiprinimas. Tokio girokopas veikimas taip pat paremtas Koriolio efektu. Jį sudaro vibruojantis kamertonas ir jautri daviklių sistema. Jutiklių grandinė yra sudaryta iš diferencialinių stiprintuvų. Kamertoną sudaro du vibruojantys strypeliai, kurie turi savo judėjimo amplitudę. Kai kamertonas juda, Koriolio jėga vibruojančias ašis veikia statmenai. Tuomet gaunamos

lenkimo arba spaudimo jėgos, kurios yra proporcingos kampiniam greičiui.

Piezoelektrinis giroskopas (angl. – *Piezoelectric Gyroscope*) – tai giroskopas, kurio matmenys nesiekia dešimties centimetrų. Jis skirtas fiksuoti trijų ašių nuokrypas. Jo veikimo principas paremtas Koriolio efektu, labai silpnomis vibracijomis, kurios aptinkamos tik ypač jautriais elektriniais prietaisais. Giroskopą sudaro pjezoelektrinė plokštė, jis veikia vibruojančio kūno principu. Veikiant plokštę atsiranda įtampa tarp sienelių, kuri yra proporcinga kampiniam greičiui.

Pusrutulinis rezonatorinis giroskopas, dar vadinamas „vyno taurės“ rezonatoriumi, savo konstrukcija iš tiesų primena vyno taurę. Jo veikimo principas remiasi Koriolio efektu. Pirminius svyravimus sukuria stovinčios bangos efektas. Giroskopui vibruojant atsiranda antriniai svyravimai, kurie yra proporcingi kampiniam greičiui ir fiksuojami giroskopo dantukuose.

7. Įveikė šaltį

Pirmasis kvantinis giroskopas sukurtas Jungtinėse Amerikos Valstijose, Kalifornijos universitete. Šie giroskopai pasižymi ypač dideliu jautrumu. Jų veikimas pagrįstas super skysčio (angl. – *Superfluid*) savybėmis ir dideliu jautrumu, kuris dar vadinamas kvantiniu švilpimu – jis atsiranda tuomet, kai pro skylę tekančią skystį veikia slėgis. Iš pradžių bandymai buvo atlikti su viena skylute, tačiau norimų rezultatų gauti nepavyko – kvantinis švilpimas buvo per mažas. Problemą pavyko išspręsti barjere išgręžus daugiau skylių. Taip išgaunamas ne vienos, o daugelio skylių aidas, todėl signalas sustiprėja iki tokio lygio, kad jį galima užfiksuoti. Šie giroskopai veikia tik itin žemos temperatūros sąlygomis, kai ji nukrinta iki -270 °C. Giroskope naudojamas visiškai neklampus skystis, pavyzdžiui, iki -270 °C atšaldytas helis. Didžiausias kvantinių giroskopų privalumas – jų patikimumas ir gebėjimas veikti neįprastomis sąlygomis. Jie gali dirbti žemose temperatūrose, atlaikyti pagreičius, todėl puikiai tinka kosminiams aparatams.

Kvantiniams giroskopams priskiriami ir branduolinio magnetinio rezonanso giroskopai, bet jų veikimo principas yra kitoks. Apie šiuos giroskopus buvo žinoma jau XX a. 6-ajame dešimtmetyje, tada pradėti jų tyrimai. Giroskopuose naudojamas gyvsidabris, rubidis ir inertinių dujų stabilūs izotopai, pvz., ksenonas 129. Šių giroskopų pritaikymas – kosmoso erdvė. Veikimo principas pagrįstas atomų poliarizacija ir nukreipimu į inertines dujas, dėl to yra generuojamas kintamas magnetinis laukas.

8. Išvados

1. Giroskopai naudojami ne tik mokslo reikmėms, kur reikalingas didelis tikslumas, bet ir pramonėje bei buityje.
2. Nė vienas iš giroskopų tipų šiuo metu nėra užmirštas; visi jie pritaikomi skirtingose veiklos sferose.
3. Iš visų per maždaug du šimtmečius išrastų ir tobulintų giroskopų didžiausio populiarumo sulaukė ir labiausiai šiuo metu paplitę yra vibraciniai MEMS giroskopai.

4. Giroskopai nukeliavo ilgą tobulėjimo etapą; keitėsi ne tik jų struktūra, panaudojimo sfera, bet ir dydis, kuris nuolat mažėjo. Dėl to šiuo metu giroskopus galima pritaikyti kone visose technologijų srityse; giroskopai, kurie kuriami grindžiant naujausiomis technologijomis, tarnauja net kosminėje erdvėje.

Padėka

Dėkoju prof. habil. dr. Eugenijui Pileckui už pagalbą rengiant straipsnį.

Literatūra

- Pileckas, E. 2011. *Aviaciniai skrydžio valdymo prietaisai ir sistemos*. Vilnius: Technika.
- Ciminelli, M. N.; Dell'Olio, C.; Passaro, F. 2011. *Development of a Dynamically Tuned Gyroscope – DTG*, [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. vasario 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Mechanics/Gyroscope/Gyroscope.html>

GYROSCOPES DEVELOPMENT TRENDS

T. Jašinskas

Summary

From the earliest days of the gyroscope invention, researchers aimed to minimize the size of the gyro and to increase its accuracy to the maximum. During the twentieth century gyros were improved and perfected so much that their inventors would no longer recognize them. Over the last century, gyros got stripped of such structural elements as the rotating rotor or laser light-reflecting mirrors. The weight of the modern gyro is now measured in grams and a gyroscope would perfectly fit into a matchbox. Gyroscopes became so widely applicable that they are used not only for the purposes of industrial engineering and aviation, but also in everyday consumer-products, such as bicycles, cars, or smart phones.

Keywords: gyroscope, laser gyroscope, piezoelectric gyroscope, vibratory gyroscope, MEMS, optical gyros.