

ӘОЖ 528.88

**МИКРОСПУТНИКТИҢ БЕЛСЕНДІ ТҰРАҚТАНДЫРУ-БАҒДАРЛАУ
ЖҮЙЕСІНДЕ МАХОВИК-ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ МҮМКІНДІГІН
АРТТЫРУ ТӘСІЛІ**

Маликова Әсем Ғабитқызы

malikova.assem@mail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ Ғарыш техника және технологиялар Кафедрасының 3-ші
курс студенті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекші- Ракишев Ж.Б.

Кіріспе

Ғарыш техникасы ғылыми, техникалық, әлеуметтік-экономикалық және қорғаныс міндеттерін шешу мақсатында ғарыш кеңістігін және Жерден тыс объектілерді зерттеуге және пайдалануға арналған. Өнеркәсіптің жеке саласы болып табылатын ғарыш техникасын жасау-кез келген мақсаттағы зымырандардың табысты жұмыс істеуі үшін қажетті техникалық шешілетін міндеттердің тұтас кешені. Негізгі міндеттердің бірі ғарыш аппараттарын кеңістікте бағдарлау және тұрақтандыру болып табылады. Қазіргі таңдағы шағын спутник құрудағы талаптарға сәйкес, оның бұрыштық жылдамдығын қадағалай отырып, жерсеріктің қозғалысын басқарудың тәсілі қарастырылған.

Геомагниттік өріспен байланысты және зарядталған бөлшектердің өзара әрекеттесуінен туындаған құбылыстарды зерттеу және зерттеу үшін құрылғылардың сезімталдық осін осы өрістің кернеу векторына қатысты белгілі бір жолмен бағыттаған жөн. Жұлдызды аспанның немесе жер бетінің әртүрлі бөліктерін бақылау кезінде спутниктің бұрыштық күйін жүйелі түрде өзгерту қажет немесе, керісінше, спутниктің берілген осі үнемі аспан сферасының сол нүктесіне бағытталуы керек. Осылайша, спутниктер шешетін ғылыми және қолданбалы міндеттердің әртүрлілігі оның бұрыштық қозғалысын қамтамасыз ететін бағдарлау жүйесі деп аталатын құрылғыға әртүрлі талаптарды тудырады.

"Бағдарлау" термині спутниктің алдын-ала анықталған бұрыштық қозғалысы туралы айтқысы келгенде кеңінен қолданылады (лат. oriens, "Шығыс" дегенді білдіреді және фр. orientation-бағыт, бағдар). Кейде олар "бұрыштық позицияны тұрақтандыру" терминін

спутниктің берілген белгілерге қатысты қажетті дәлдікпен ұсталғанын атап көрсеткісі келгенде қолданады. Спутниктің бұрыштық қозғалысына бақылау әсерінің табиғаты қандай, оны жүзеге асыру жолдары қандай және қандай құрылғылар қажет екеніне байланысты белсенді, пассивті және аралас бағдарлау жүйелері ажыратылады.

Бұл жұмыстың мақсаты- микроспутниктің ұшосыті белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесіндегі(ТБЖ) маховик-қозғалтқыштың техникалық мүмкіндігін арттыру.

Зерттеу мәселесі келесідей: Маховик-қозғалтқыштың құрылымына қандай өзгерістер енгізу керек?

Келесі міндеттер қойылды:

- микроспутниктің ұшосыті белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесінің сипаттамасын зерттеу;
- тұрақтандыру-бағдарлау жүйесінде қолданылатын маховик-қозғалтқыштардың құрылымдарын зерттеу;
- маховик-қозғалтқыштың техникалық мүмкіндіктерін арттыру тәсілін жасау;
- әзірленген тәсілді қолдана отырып есептеулер жүргізу және тәсілдің сенімділігін зерттеу;
- осы тәсілді пайдалану бойынша ұсыныстарды тұжырымдау.

Жасанды спутниктердің басым көпшілігінің бүкіл ұшу кезінде шешілуі керек маңызды мәселелердің бірі-олардың бұрыштық қозғалысын қамтамасыз ету. Спутникке массаның центріне айналу арқылы берілген белгілерге қатысты дұрыс бұрыштық позиция беріледі. Осындай бағдарлар ретінде аспапты өлшеу арқылы анықтауға болатын көрінетін аспан және жер бетіндегі объектілер(Жұлдыздар, Күн, көкжиек сызығы) немесе кеңістіктегі бағыттар(жергілікті вертикаль, геомагниттік өрістің кернеу векторы, ауа ағынының жылдамдық векторы) болады. Бұл жағдайда спутник, мысалы, бағытталған антенна мен бейнекамераның объективі бекітілген төменгі түбі үнемі жердің ортасына бағытталуы керек.

Егер басқару әсерін жасау үшін бортта сақталған жұмыс денесін немесе энергияны тұтыну қажет болса және осы әсерлерді қалыптастыру үшін логикалық блок, бағдарлау сенсорлары және атқарушы органдар қажет болса, онда мұндай жүйе белсенді бағдарлау жүйесі деп аталады. Оның көмегімен еркін және жылдам бұрыштық бұрылыстарды жүзеге асыруға болады. Бұл оның басты артықшылығы. Белсенді жүйенің кемшіліктеріне, егер жұмыс істейтін дененің немесе борттағы массаның қоры пайдаланылса, мысалы, басқару әсерін жүзеге асыру үшін реактивті отын немесе сығылған газ пайдаланылса, оның шектеулі жұмыс уақытын жатқызуға болады. Іс жүзінде белсенді бағдарлау жүйелері кеңінен қолданылады. Олар пассивтіге қарағанда кең мүмкіндіктерге ие, жоғары бағдарлау дәлдігі мен жүйенің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді. Егер жобаның анықтаушысы оның құны емес, спутниктің бұрыштық қозғалысына қойылатын талаптардың орындалуы болса, онда белсенді жүйелер көбірек қолданылады.

Заманауи ғарыштық технологияларды жаңа деңгейге көтеру үшін ғарыш саласы әр түрлі деңгейдегі жерсеріктерін жасау кезінде сәйкес элементтер базасын құру қажет. Маховик-қозғалтқыштары (МҚ) микроспутниктің тұрақтандыру-бағдарлау жүйесінің маңызды элементі болып табылады. МҚ-қа жалпы қабылданған талаптар - бұл энергияны түрлендіру кезіндегі қуат шығынының және массаның сипаттамаларының минималды болуы. МҚ-қа қойылатын функционалды талаптар: ротордың ағымдық бұрыштық жылдамдығына қарамастан, оның білігіндегі айналу моменті спутниктен келетін басқару сигналына пропорционалды болатын басқару заңын қамтамасыз ету болып табылады. Нөлдік басқару сигналы пайда болған кезде, МҚ ағымдағы бұрыштық жылдамдықтың тұрақтандыру режимін іске қосып, осылайша реактивті моменттің болмауын қамтамасыз етеді.

Әдіснама

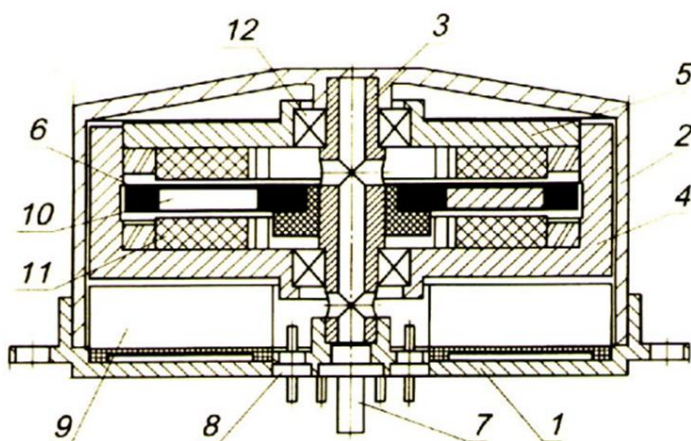
«Чибис-М» мысалында белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесін қарастырайық.

РАН Ғарыштық зерттеу Институтының «Чибис-М» микроспутнигінің ұшосыті белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесін СПУТНИКС мамандары әзірлеген.

«Чибис-М» микроспутнигінің белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесінің(ТБЖ) құрамы:

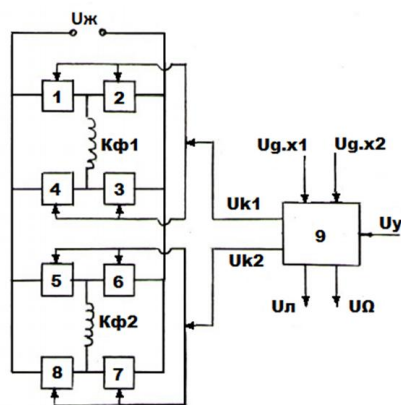
- үшосьті мангитометр;
 - 5 сандық Күндік сенсорлар;
 - үшосьті бұрыштық-жылдамдықтар сенсоры;
- Жүйенің атқарушы элементтері ретінде:
- маховик-қозғалтқыштар
 - электромагнитті құрылғылар.

«Чибис-М» микроспутнигінің үшосьті белсенді тұрақтандыру-бағдарлау жүйесіндегі(ТБЖ) МҚ-тың техникалық мүмкіндіктерін арттыру үшін статордың құрылымы дәстүрлі түрінен көп қабатты электр катушкаларының орналасуынан катушкаларды бір қабатты орналастырумен ерекшеленеді, өйткені бір қабатты орналастыру кезінде тиімді орамдармен толтыру көлемінің 33% - ға артуына қол жеткізіледі. Бұл қозғалтқыштың магниттік-электрлік сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді. Белгілі МҚ өндірушілері статор жасау үшін көп қабатты тақталар технологиясын қолданады, ал қуат катушкалары қорыту әдісімен қалыптасады. Бұл, сөзсіз технологиялық артықшылықтарға ие. Осы тәсілді өз әзірлеуінде дамыта отырып, катушкалар тесіктерінде алдыңғы күшейткіштер мен Холл датчик базасында жағдай датчиктерін орналастырамыз. Мұндай мүмкіндік катушкалардың бір қабатты орналасуымен ғана орын алады. Осы тәсіл арқылы катушкалар мен жағдай датчиктерінің өзара орналасуының келесі жоғары дәлдікке қол жеткізуге, сонымен қоса монтажды сымдармен байланыстардың санын азайту арқылы МҚтың беріктігін арттыруға болады. Мұндай қосылыстардың минималды саны герметизацияланған шығыс санына тең және МҚ-тың бірегей тақта құрылымына сәйкес келеді (мысалы, Ali, Aerospace SYSTEMS DIVISION (АҚШ) фирмасы). Қозғалтқыштың моноблокты құрастырылуы қолданылатын МҚ-тың құрылымдық схемасы көрсетілген(сурет 1).[3]. МҚ-ты басқару және контроллердегі ақпаратты түрлендіру схемасы Екіфазалы қозғалтқыш мысалында МҚ-тың фазаларындағы токпен басқарудың негізгі схема көрсетілген(сурет 2). Егер микроконтроллерден басқару импульстік сигналдары $9U_{ki} > 0$ болса жұп кілттер құлптанады, егер $U_{ki} < 0$ тақтар жабылады, ал жұптар ашылады. Холл датчиктерінің сигналдарынан U_{dxi} жағдай датчиктерінің сигналдарын құрады. U_y - жерсеріктен басқару сигналы. U_n , U_n - ағымдағы бұрыштық жылдамдық сигналдары және телеметрия мен МҚ-ты түсіру жүйесіне арналған логикалық сигналдар. Микроконтроллердегі ақпаратты өңдеу логикасы сур.3-те көрсетілген.

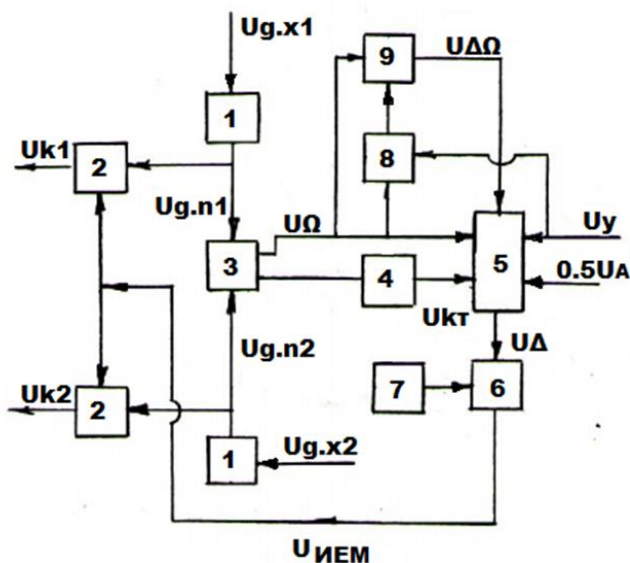


Сурет 1. Маховик-қозғалтқышының құрылымдық сұлбасы.

1-корпус; 2 – қақпақ; 3-білік; 4-ротор; 5-ротор(жоғарғы); 6-статор; 7-газды толтыруға арналған бекіткіш; 8-гермошығыс; 9-сақиналы тақта; 10-жағдай датчигінің тақтасы; 11-магнит; 12-мойынтірек.



Сурет 2. Маховик-қозғалтқышының фазаларындағы токты басқару сұлбасы. 1-8-ашық кілттер; 9-микроконтроллер.



Сурет 3. Микроконтроллердегі ақпаратты өңдеу блок-сұлбасы.

1-МҚ-қа тиісті фазаларының тиімділігімен уақыт бойынша сәйкес келетін екі полярлы импульстік сигналдар болып табылатын позиция датчиктерінің сигналдарын қалыптастыру құрылғысы ($U_{d.n.i}$);

2- басқарылатын инверторлар, олар ендік импульсті модуляция импульсі (ЕИМ) болмаған кезде ($U_{d.n.i}$) сигналдарын түрлендірусіз жібереді, ал импульс болған кезде ЕИМ-сигналдардағы ($U_{d.n.i}$) белгіні өзгертеді;

3- ($U_{d.n.i}$) сигналдар бойынша бұрыштық жылдамдық сигналын $U_{\Omega} = S_{\Omega} \cdot \Omega$ құрайтын жиілік-өлшеуіш, S_{Ω} -тіктілік;

4- МҚ-тың айналу осі бойынша құрғақ үйкелісті ($U_{КТ}$) өтейтін сигналды құрайтын компаратор;

5- шығыс сигналы ЕИМ импульсының ұзақтығын анықтайтын U_{Δ} сумматор,

$$U_{\Delta} = U_Y + 0.5U_A + U_{\Omega} + U_{КТ} + U_{\Delta\Omega};$$

6- шығыс импульстік сигналы бар $U_{ШИМ}$ компаратор;

7- амплитудасы U_A болатын үшбұрышты сигнал генераторы;

8- бұрыштық жылдамдықты ($\dot{\Omega}_0$) есте сақтайтын құрылғы, $U_Y = 0$ кезде жұмыс істейді, ал $U_Y \neq 0$ кезде өшеді;

9- айырмашылық сигналын $U_{\Delta\Omega} = k(\dot{\Omega}_0 - \dot{\Omega})$ құрайтын құрылғы;

Контроллердегі ақпаратты (сурет. 2) негізгі күшейткішпен бірге (сурет. 3) түрлендірудің басқару заңын МҚ-тың реактивті моменті мен жерсеріктен басқару сигналы арасындағы пропорционалдылықты қамтамасыз ететін логикасы келтірілген.

Маховик-қозғалтқыштың қуат тұтынуды есептеу

МҚ-тың роторының қозғалыс теңдеуі келесідей

$$J(\dot{\Omega} + \varepsilon) = M - M_C \quad (1)$$

мұндағы, J -ротордың инерция моменті; Ω -ағымдағы бұрыштық үдеу; ε - спутниктің МҚ осіне қатысты бұрыштық үдеу; M -магниттік-электрлік момент; M_C - айналу кедергісінің моменті.

Магниттік-электрлік момент келесі теңдікпен анықталады

$$M = S \cdot I = S \frac{U_{сєєр}}{R} \quad (2)$$

мұндағы, S -тіксілік коэффициенті; I -МҚ-тың фазаларындағы ток; R -фазалардың кедергісі; $U_{сєєр}$ -ендік-импульсті модуляция импульсі(ЕИМ) кезеңіндегі фазадағы кернеудің орташа мәні.

$$U_{сєєр} = (U_{Ж} - S \cdot \dot{\Omega}) \frac{(T-t_1)}{T} + (-U_{Ж} - S \cdot \dot{\Omega}) \frac{t_2}{T} \quad (3)$$

мұндағы, T - ЕИМ периоды; t_1 – ЕИМ импульсінің ұзақтығы; $U_{Ж}$ -қуат кернеуі.

Қарсылық кезінде біз екі негізгі компонентті ескереміз-сұйық және құрғақ үйкеліс, ал қалған кішкентай компоненттер M_0 терминінде ескеріледі . Онда

$$M_C = k_0 \cdot \dot{\Omega} + M_T \sin g \cdot \dot{\Omega} + M_0 \quad (4)$$

мұнда k_0 -сұйық үйкеліс коэффициенті; M_T - құрғақ үйкеліс моменті.

Геометриялық қатынастардан жаза аламыз $\frac{t_2}{T} = 1 - \frac{U_d}{U_A}$.

Қозғалыс теңдеуі (1) (2) ескере отырып...(4) және $\dot{\Omega} \gg \varepsilon$ теңсіздігі мынадай

$$J\dot{\Omega} = k_1 \cdot U_T + M_0 + k_1 \cdot k(\dot{\Omega}_0 - \dot{\Omega}) \quad (5)$$

мұнда $k_1 = \frac{s \cdot U_{Ж} \cdot s}{U_A \cdot R}$, ал 3 жиілік өлшегіштің тіктігі және 4 компаратордың сигналы арақатынастармен анықталады

$$S_{\Omega} = \frac{s^2}{k_1 \cdot R} + \frac{k_0}{k_1}, \quad U_k = \frac{M_T}{k_1} \quad (6)$$

(6) өрнектер МҚ басқару заңына (5) электр қозғаушы күшке, сұйық және құрғақ үйкеліске қарсы әсерді өтеу шарттарын анықтайды.

МҚ реактивті моментін құру кезінде $U_T \neq 0$, ал қозғалыс заңы (5) M_0 кіші моментіне дейін дәл шығарылады, өйткені $k = 0$, ал айырмашылық сигналының әсері тек басқару сигналының нөлінен өткен кезде пайда болады.

Нөлдік реактивті моментті құру режимінде қозғалыс теңдеуі:

$$J\dot{\Omega} + k_1 \cdot k(\dot{\Omega}_0 - \dot{\Omega}) = M_0$$

Бұл режимде $M_0 = \text{const}$, реактивті моменттің тұрақты мәні нөлге тең, ал жылдамдықты тұрақтандырудың қателігі болады

$$(\dot{\Omega}_0 - \dot{\Omega}) = \frac{M_0}{k \cdot k_1}.$$

Әрекет ету уақыты t_1 болатын ЕИМ импульсі болған кезде борттық батареялар I фазалық токпен зарядталатынын ескере отырып, батареялардың энергиясы МҚ тұтынылатын Т ЕИМ кезеңіне қатысты уақыт пайызы $\frac{T-2t_1}{T}$.

Сондықтан МҚ –тың тұтыну қуаты (N) мына формула бойынша есептеледі:

$$N = U_{\text{Ж}} \cdot I \frac{(T-2t_1)}{T} = \frac{k_1}{s} \cdot U_{\text{сеп}} (U_{\Delta} - 0.5U_{\Delta}),$$

онда компоненттер (2), (3), (5) теңдеумен анықталады.

Нәтиже

Максималды реактивті моментті қалыптастыру кезінде тұтыну қуатының ағымдағы бұрыштық жылдамдыққа тәуелділігін көрсетеді (сурет 4). 1,1 (мН×м) жеделдету циклінде Ω тах-қа дейін, ал тежеу $\Omega = 0$ -ге дейін (график электронды блоктың тұтыну қуатын ескермейді, шамамен 0,15(Вт) құрайды). Тежеу кезіндегі теріс қуат белгісі МҚ борттық батареяларды зарядтайтынын анықтайды.[3,4]

Дамудың негізгі сипаттамалары:

- өлшемдері: 45x25 (мм);
- салмағы 1,2 (Н) ≈ 0,1223 кг;
- тұрақты ток кернеуі + 12 (В);
- 0,025 (Н·м·с) қанықтыру жылдамдығы кезіндегі кинетикалық момент);
- максималды сәт 1,1 (мН· м);
- максималды ток 0,17 (А);
- ток тығыздығы 3 (А / мм);
- фазалардың кедергісі 1,5 (Ом);
- максималды момент жасалатын бұрыштық жылдамдық диапазоны ±15000 (айн/мин.);
- тұтынудың ең жоғары қуаты 2,1 (Вт) аспайды;
- орташа тұтыну қуаты 0,4 (Вт) аспайды;
- құрғақ үйкеліс моменті 0,03 (мН· м);
- сұйық үйкеліс коэффициенті $6 \cdot 10^{-5}$ (мН * м * с);
- тіктілігі 7,5 (мН·м/А).

Алынған нәтижелерден маховик-қозғалтқышты құру кезіндегі құрылымы және схемалық шешімдері ең жақсы үлгілердің мүмкіндіктеріне сәйкес келетін, негізгі сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Системы ориентации спутников: от Лагранжа до Королева. [Электрон. ресурс]. -2014. URL: http://window.edu.ru/resource/696/20696/files/9912_091.pdf (жүгінген уақыт: 18.03.2021)
2. Академический Микроспутник Чибис-М. Космические Исследования. Космические исследования, 2014, том 52, № 1, с. 1–13
3. Marinich Yu. M., Zbrutskiy A. V. Motor-hapngwheel for satellite angular movement control// Вісник Черкаського Державного Технологічного університету – 2009. Спецвипуск.–С.–66–68.
4. Д.В.Ермаков, А.А.Денисова, Н.А.Колеватова, Ю.Г.Гладышев. Двигатель-маховик для малых космических аппаратов//Вестник СибГАУ. –2016. –Том 17, №3. С684-690.