

УДК 621.326

Михайло Паламар д.т.н; доц., Павло Мальований, Михайло Стрембіцький  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НАХИЛУ ОПОРНО-ПОВОРОТНОЇ ПЛАТФОРМИ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ MEMS АКСЕЛЕРОМЕТРА

Muhaylo Palamar, Ph.D., Assoc. Prof., Pavlo Malovany, Muhaylo Strembytskyu  
METHOD OF INCREASING MEASUREMENT ACCURACY ROTARY SUPPORT USING MEMS ACCELEROMETERS

Для забезпечення точності наведення антен важливе значення в системі керування відіграють сенсори кута. До складу опорно-поворотних пристроїв входить двигун, який у класичній схемі з'єднаний з валом. Тому більшість кутових сенсорів виготовляються таким чином, щоб їх можна було прилаштувати на обертовий вал. Але для антен з конструкцією поворотної платформи типу Нехарод неможливе використання кутових сенсорів, призначених для встановлення на обертовий вал через особливості конструкції Гексапод являє собою кінематичний механізм, що забезпечує рух в 3-хмірному просторі за рахунок зміни довжини 6-ти стержнів (актуаторів), закріплених до 2-х платформ. Тому, в даному випадку, було використано давач кута з іншим способом кріплення.

Завдяки розвитку сучасної елементної бази та досягнень нанотехнологій сьогодні на світовому ринку доступна велика кількість сенсорів, виготовлених по технології MEMS (Мікро Електро Механічні Системи). Пристрої такого типу забезпечують високу роздільну здатність і точність, зберігаючи при цьому невелику розміри, які лежать в межах від 1 до 100 мкм.

В роботі використано значення, що отримані із сенсора марки SCA61T-FA1H1G, який є інклінометром, що належить до сенсорів, які виготовлені по технології MEMS. Він являє собою мікросхему в SMD корпусі, кількість виводів – 8, діапазон вимірювання  $\pm 90^\circ$ , роздільна здатність  $0,0025^\circ$ , робоча напруга 4.75...5.25В, має вбудований температурний сенсор та аналогово-цифровий перетворювач (роздільна здатність 11 біт). Також даному інклінометру має функція автоматичного калібрування, яка корегує вихідне значення залежно від температури сенсора, оскільки зміна температури кристалу збільшує похибку вимірювання.

Спосіб отримання кутового положення із використанням показів MEMS-акселерометра ґрунтується на використанні формули:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{D_{out}[LSB] - D_{out@0^\circ}[LSB]}{Sens[LSB/g]}\right) \quad (1)$$

де  $\alpha$  - кут (в радіанах),  $D_{out}[LSB]$  - виміряне цифрове значення кута,  $D_{out@0^\circ}[LSB]$  - цифрове значення при положенні інклінометра в  $0^\circ$ ,  $Sens[LSB/g]$  - чутливість інклінометра.

Результати розрахунку кутового положення для платформи та порівняння їх значення і показами квадранта на діапазоні  $0^\circ-90^\circ$  приведені на рис.1.

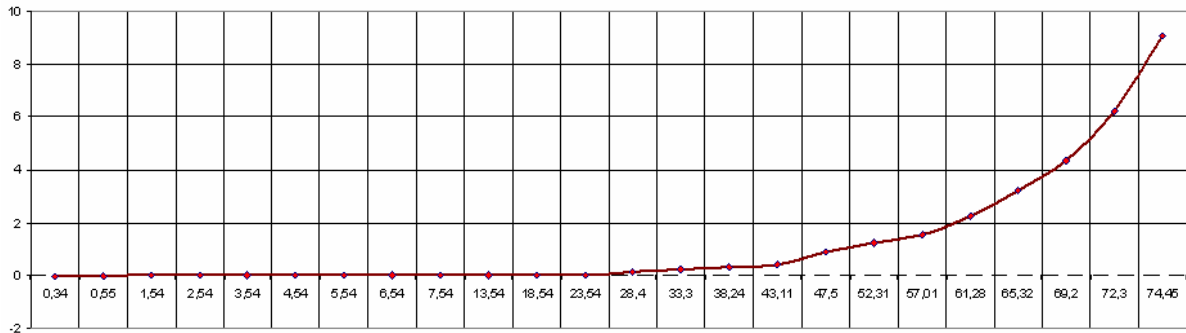


Рисунок 1. Розбіжність показів квадранта і отриманих значень кутового положення із MEMS-акселерометра

Як видно із приведеного графіку помилка визначення кутового положення наростає із збільшенням кута нахилу платформи, і при наближенні до  $90^0$ , значення помилка перевищує  $8^0$ .

Пропоновано використати калібрування при проведенні розрахунку прискорення 3-ох осей. Для цього скористаємося формулою перетворення (2):

$$G_{12} = \begin{pmatrix} G_{12x} \\ G_{12y} \\ G_{12z} \end{pmatrix} = WG_f + V = \begin{pmatrix} W_{xx} & W_{xy} & W_{xz} \\ W_{yx} & W_{yy} & W_{yz} \\ W_{zx} & W_{zy} & W_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{fx} \\ G_{fy} \\ G_{fz} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матриця посилення  $W$  має 9 незалежних елементів і розширює базову калібруючу модель через включення всіх можливих перехресних взаємодій і будь-який поворот корпусу сенсора на друкованій платі. 12 калібровачних параметрів обчислюються до кращого апроксимованого прикладеного гравітаційного поля в результаті повороту корпусу сенсора.

Будь-яке  $i$ -те вимірювання кута нахилу  $\theta[i]$  та  $\phi[i]$  можна записати як:

$$\begin{pmatrix} G_{12x}[i] \\ G_{12y}[i] \\ G_{12z}[i] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{xx} & W_{xy} & W_{xz} \\ W_{yx} & W_{yy} & W_{yz} \\ W_{zx} & W_{zy} & W_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_{fx}[i] \\ G_{fy}[i] \\ G_{fz}[i] \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} -\sin \theta[i] \\ \cos \theta[i] \sin \phi[i] \\ \cos \theta[i] \cos \phi[i] \end{pmatrix} \quad (3)$$

Формула (3) розкладається на три незалежні рівності для чотирьох калібровачних параметрів в кожному з трьох каналів прискорення. Відповідно до цього виразу проведено розрахунок кутового положення орієнтації опорно-поворотної платформи антенної системи.

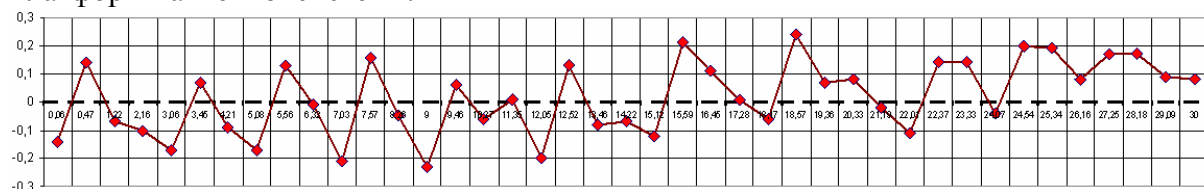


Рисунок 2. Розбіжність показів квадранта і отриманих значень кутового положення із MEMS-акселерометра після проведення калібрування

Підвищення точності вимірювання кутового положення опорно-поворотного пристрою антенної системи забезпечує використання розширеної калібруючої моделі, яка враховує можливість перехресних взаємодій на будь яку вісь повороту сенсора.