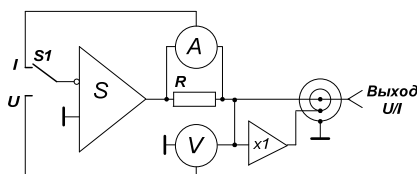
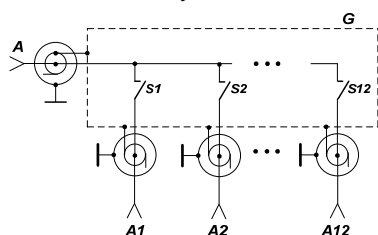


Второй каскад коммутации, согласно предлагаемому способу, целесообразно выполнить в виде мультиплексного модуля (платы) коммутации, структурная схема которого представлена на рисунке 2.



A – измеритель тока, V – измеритель напряжения, S – источник сигнала на основе мощного операционного усилителя, S1 – переключатель обратной связи по току или по напряжению

Рисунок 1 – структурная схема первого каскада коммутации



A – условное наименование модуля коммутации, A1–A12 – выходные порты модуля A, S1–S12 – ключевые элементы (герконы), G – экранирующая охранная поверхность, эквипотенциальная сигналу (Guard)

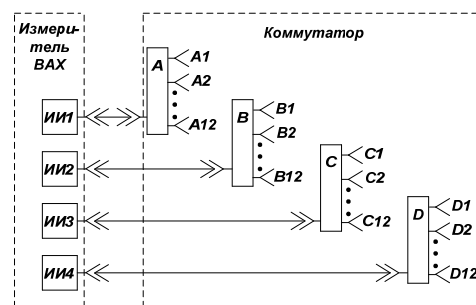
Рисунок 2 – структурная схема мультиплексного модуля коммутации

Коммутатор, реализующий новый метод, содержит известные средства формирования испытательного сигнала и известные средства коммутации, однако, как единое целое он не может быть отнесен ни к одному из описанных ранее типов коммутаторов [1]. Чтобы подчеркнуть разнородную структуру включенных последовательно каскадов коммутации, будем в дальнейшем называть его гибридным.

Как видно из рисунка 2, в измерительной цепи гибридного коммутатора будет замкнут лишь один ключевой элемент, то есть, последовательное включение двух каскадов не увеличивает его погрешность.

На рисунке 3 представлена структурная схема разработанного гибридного коммутатора, который содержит 4 модуля по двенадцать портов,

общее количество портов коммутатора составляет $4 \times 12 = 48$.



A, B, C, D – модули коммутации, A1–A12, B1–B12, C1–C12, D1–D12 – выходные порты мультиплексного коммутатора

Рисунок 3 – структурная схема разработанного гибридного коммутатора

Узлы гибридного коммутатора на его структурной схеме объединены не по каналам коммутации, а по функциональным признакам. В частности, четыре ИИ объединены в измеритель ВАХ, в качестве которого может быть использован измеритель ИППП-1, а четыре модуля – в мультиплексный коммутатор.

В ОАО «МНИПИ» изготовлен макет мультиплексного коммутатора, образующий вместе с ИППП-1 гибридный коммутатор, представленный на рисунке 3, и разработано соответствующее программное обеспечение.

Подготовка гибридного коммутатора к работе с тестовым модулем включает:

- установку программы тестирования,
- подключение присоединительного устройства, например зондовой установки, к портам коммутатора согласно установленной программе вручную.

Программа тестирования готовится заранее и должна учитывать, что электроды каждого ОПТ следует подсоединять к портам разных модулей (A, B, C, D).

Составление программы тестирования не требует специальных знаний в области программирования.

Литература

1. Switching Handbook. A Guide to Signal Switching in Automated Test Systems / 6th Edition, Keithley Instruments, Inc., 2008. – USA. – 131 p.

УДК 531.385

ГИРОСТАБИЛИЗАТОР ГРАВИМЕТРА С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И САМОНАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ Малютин Д.М.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Российская Федерация

В настоящее время продолжают активные исследования в области гравиметрии. Если в глобальном плане гравитационное поле Земли известно по результатам спутниковых съемок,

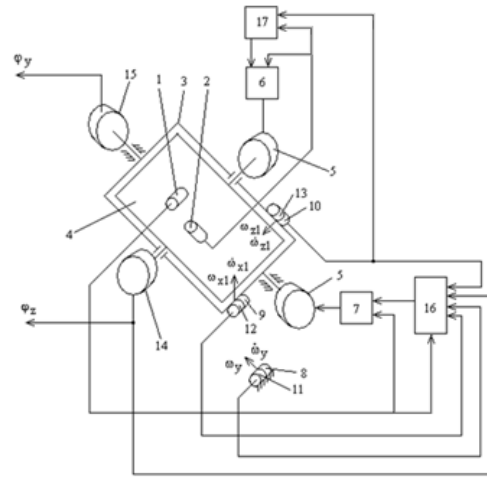
то крупномасштабные карты отдельных участков практически отсутствуют, хотя в них имеется большая потребность [1–5]. Задача повышения точности гравиметрических измерений является

актуальной и сегодня [2, 6, 7]. Уровень точности применяемой аппаратуры для целей разведки месторождений углеводородного сырья должен обеспечивать уверенное обнаружение аномалий с амплитудой 0,1–0,2 мГал. Перспективной является задача увеличения точности гравиметрических измерений до уровня 0,01–0,05 мГал. Обеспечение перспективной точности возможно при проведении работ, связанных с совершенствованием гиросtabilизаторов (ГС), гравиметрического датчика, увеличением точности обработки гравиметрической информации, методики проведения гравиметрической съемки, увеличением точности навигационной информации о параметрах движения объекта-носителя.

Совершенствование ГС возможно не только при использовании новых чувствительных и исполнительных элементов повышенной точности, но и за счет использования метода комбинированного управления [8], включая компенсацию возмущающих воздействий (особенно при работе на малотоннажных судах в условиях повышенного уровня возмущений). ГС с комбинированным управлением представляет собой объединение в одну систему замкнутой системы управления по отклонению и разомкнутой системы управления по возмущающему воздействию. Принцип компенсации возмущений позволяет существенно повысить точность стабилизации за счет использования информации о внешней ситуации. В работе [9] исследованы различные структурные решения построения цепей компенсации возмущений, действующих на двухосную систему стабилизации в процессе трехкомпонентной качки подвижного объекта. Актуальной является задача разработки способа самонастройки параметров цепей компенсации возмущающих моментов в условиях изменяющегося комплекса влияющих факторов, что обеспечивает эффективное функционирование цепей компенсации.

Функциональная схема. Рассмотрим функциональную схему контуров стабилизации ГС с комбинированным управлением и самонастройкой параметров цепей компенсации возмущающих моментов, работающего в режиме гировертикали (рисунок 1). Для формирования компенсирующих сигналов используется информация с дополнительных датчиков угловой скорости (ДУС) и углового ускорения (ДУУ), установленных на основании и наружной раме ГС.

Математическая модель ГС с комбинированным управлением и самонастройкой параметров. Математическая модель контуров стабилизации двухосного ГС с комбинированным управлением и самонастройкой параметров имеет вид (1). В уравнениях (1) проекции абсолютной угловой скорости носителя на его главные оси обозначены $\omega_x, \omega_y, \omega_z$, где система координат $x_0y_0z_0$ жестко связанная с основанием.



- 1, 2 – поплавковые интегрирующие гироскопы каналов платформы и наружной рамки, 3 – наружная рамка ГС, 4 – стабилизируемая платформа, 5 – исполнительные двигатели (датчики моментов), 6, 7 – усилители, 8, 9, 10 – ДУС цепей компенсации возмущений, 11, 12, 13 – ДУУ цепей компенсации возмущений, 14, 15 – датчики углов, 16, 17 – вычислители компенсирующих сигналов

Рисунок 1 – Функциональная схема контуров стабилизации ГС с комбинированным управлением

Положение осей гиросtabilизированной платформы с установленной на ней гравиметрической аппаратурой $x_2y_2z_2$ относительно $x_0y_0z_0$ задано углами φ_y, φ_z . $\omega_{x2}, \omega_{y2}, \omega_{z2}$ – проекции абсолютной угловой скорости платформы. С наружной рамкой ГС связаны оси координат $x_1y_1z_1$. M_{ds1}, M_{ds2} – моменты, развиваемые стабилизирующими двигателями (датчиками момента) наружной рамки и платформы соответственно, M_{bn1}, M_{bn2} – возмущающие моменты относительно осей наружной рамки и платформы соответственно, J_x, J_y, J_z – моменты инерции платформы относительно соответствующих осей; J_{x1}, J_{y1}, J_{z1} – моменты инерции наружной рамки относительно соответствующих осей; b_1b_2 – удельные демпфирующие моменты относительно осей наружной рамки и платформы соответственно, K_{ymi} – коэффициент передачи усилителя контура стабилизации, K_{dsi} – коэффициент передачи датчиков момента (ДМ), $W_{kz1}(p)$, $W_{kz2}(p)$ – передаточные функции корректирующих звеньев контуров стабилизации, p – оператор дифференцирования, T_{ds1}, T_{ds2} – электромагнитные постоянные времени датчиков момента; K_3, K_4, K_5, K_6 – коэффициенты передачи цепей компенсации возмущений, H – кинетический момент поплавкового интегрирующего гироскопа, J_α, J_β – моменты инерции поплавковых интегрирующих гироскопов каналов наружной рамки и платформы соответственно относительно

но осей прецессии, δ, γ – углы поворота ротора поплавковых гироскопов каналов наружной рамки и платформы относительно осей прецессии, $W_{kz3}(p), W_{kz4}(p), W_{kz5}(p), W_{kz6}(p)$ – передаточные функции цепей компенсации возмущений, $K_{dyy(y)}, K_{dyy(x1)}, K_{dyy(z1)}, K_{dys(y)}, K_{dys(x1)}, K_{dys(z1)}$ – коэффициенты передачи ДУУ и ДУС, оси чувствительности которых направлены вдоль осей oy, ox_1, oz_1 . T_{dys}, T_{dyy} – постоянные времени ДУУ и ДУС, ξ_{dyy}, ξ_{dys} – коэффициенты демпфирования собственных колебаний ДУУ и ДУС. K_δ, K_γ – коэффициенты передачи датчиков угла поплавковых гироскопов, $M_{p\delta}, M_{p\gamma}$ – возмущающие моменты по осям прецессии поплавковых гироскопов. Пренебрегая влиянием гироскопов на движение платформы в виду малости кинетического момента можно записать уравнения:

$$\begin{cases} (J_y \cos^2 \varphi_z + J_x \sin^2 \varphi_z + J_{y1})\ddot{\omega}_{y2} / \cos \varphi_z + b_1 \omega_{y2} / \cos \varphi_z - M_{d\delta 1} = \\ = -(J_x - J_z)\omega_{z2}\omega_{x2} \cos \varphi_z - (J_z - J_y)\omega_{z2}\omega_{y2} \sin \varphi_z + M_{bn1} + b_1 \omega_y - \\ - b_1(\omega_x \cos \varphi_y \operatorname{tg} \varphi_z - \omega_z \sin \varphi_y \operatorname{tg} \varphi_z) - J_{y1}(\omega_{z2} - \omega_{z1})(\omega_x \cos \varphi_y - \omega_z \sin \varphi_y) - \\ - (J_{x1} - J_{z1})\omega_{x1}\omega_{z1} - (J_x + J_{y1})\omega_{x1} \operatorname{tg} \varphi_z - (J_x + J_{y1})(\omega_{z2} - \omega_{z1})(\omega_{x2} \operatorname{tg} \varphi_z \sin \varphi_z + \\ + \omega_{y2} \sin \varphi_z); \\ J_z \ddot{\omega}_{z2} + b_2 \omega_{z2} + M_{dz} = M_{bn2} - b_2(-\omega_z \cos \varphi_y - \omega_x \sin \varphi_y) - (J_y - J_x)\omega_{x2}\omega_{y2}, \\ J_a(\ddot{\delta} + \dot{\omega}_{z2}) + b_a \dot{\delta} - H \delta \omega_{z2} - H \omega_{y2} = M_{p\delta}, \\ J_p(\ddot{\gamma} + \dot{\omega}_{y2}) + b_p \dot{\gamma} + H \omega_{z2} + H \gamma \omega_{x2} = M_{p\gamma}, \quad \alpha = \int_0^t \omega_{y2} dt, \quad \beta = \int_0^t \omega_{z2} dt, \quad (1) \\ U_1(p) = K_\delta \delta(p), \quad U_2(p) = K_\gamma \gamma(p), \\ U_3(p) = U_1(p) K_{ym1} W_{kz1}(p), \quad U_4(p) = U_2(p) K_{ym2} W_{kz2}(p), \\ U_5(p) = \omega_y(p) \frac{K_{dys(x1)}}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \quad U_6(p) = \omega_y(p) \frac{K_{dys(y)} p}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \\ U_7(p) = \frac{K_6 U_6(p) U_1(p)}{p}, \quad U_8(p) = (U_5(p) + U_6(p)) W_{kz3}(p) K_3 U_7(p), \quad K_3 = b_1, \\ U_9(p) = \omega_{x1}(p) \frac{K_{dys(x1)} p}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \quad U_{10}(p) = \omega_{x1}(p) \frac{K_{dys(x1)}}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \\ U_{11}(p) = (U_9(p) + U_{10}(p)) W_{kz4}(p) K_4 U_7(p), \quad K_4 = b_1 \operatorname{tg} \varphi_z, \\ U_{12}(p) = \omega_{x1}(p) \frac{K_{dys(x1)} p}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1} W_{kz5}(p) K_5, \quad K_5 = (J_x + J_{y1}) \operatorname{tg} \varphi_z, \\ U_{13}(p) = \omega_{z1}(p) \frac{K_{dys(z1)} p}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \quad U_{14}(p) = \omega_{z1}(p) \frac{K_{dys(z1)}}{T_{dys}^2 p^2 + 2\xi T_{dys} p + 1}, \\ U_{15}(p) = \frac{K_7 U_{14}(p) U_2(p)}{p}, \quad U_{16}(p) = (U_{13}(p) + U_{14}(p)) W_{kz6}(p) K_8 U_{15}(p), \\ K_8 = b_2, \quad U_{17}(p) = U_3(p) + U_4(p) - U_{11}(p) - U_{12}(p), \quad U_{18}(p) = U_4(p) + U_{16}(p), \\ T_{d\delta 1} M_{d\delta 1}(p) p + M_{d\delta 1}(p) = K_{d\delta 1} U_{17}(p), \quad T_{d\delta 2} M_{d\delta 2}(p) p + M_{d\delta 2}(p) = K_{d\delta 2} U_{18}(p), \\ \omega_{z1} = \omega_z \cos \varphi_y + \omega_x \sin \varphi_y, \quad \omega_{x1} = \omega_x \cos \varphi_y - \omega_z \sin \varphi_y, \\ \omega_{x2} = \omega_x \frac{\cos \varphi_y}{\cos \varphi_z} - \omega_z \frac{\sin \varphi_y}{\cos \varphi_z} + \omega_{y2} \frac{\sin \varphi_z}{\cos \varphi_z}, \quad \dot{\varphi}_z = \omega_{z2} - \omega_z \cos \varphi_y - \omega_x \sin \varphi_y, \\ \dot{\varphi}_y = \omega_{y2} / \cos \varphi_z + \omega_x \cos \varphi_y \operatorname{tg} \varphi_z - \omega_y - \omega_z \sin \varphi_y \operatorname{tg} \varphi_z, \quad \varepsilon_{x1} = \dot{\omega}_{x1}. \end{cases}$$

Повышение точности схемы компенсации возмущений достигается за счет самонастройки параметров схемы компенсации. С целью компенсации составляющей момента от вязкого трения $b_1 \omega_y$ ДУС измеряет угловую скорость ω_y . Чтобы исключить отставание компенсирующего момента по отношению к возмущающему из-за инерционности исполнительного двигателя ДУУ

измеряет угловое ускорение $\dot{\omega}_y$. При изменении температуры окружающей среды изменяется величина удельного демпфирующего момента b_1 относительно оси вращения наружной рамки, что обуславливает нарушение равенства возмущающего и компенсирующего моментов и появление погрешности стабилизации платформы по оси наружной рамки от момента $\Delta b_1 \omega_y$ (Δb_1 – разность между величиной удельного демпфирующего момента и величиной постоянного коэффициента передачи K_3 цепи компенсации). Погрешность стабилизации от момента $\Delta b_1 \omega_y$ имеет частоту, равную частоте изменения угловой скорости основания ω_y и сдвиг по фазе по отношению к угловой скорости основания ω_y стремящийся к нулю. После перемножения сигнала ДУС и сигнала гироскопа по каналу наружной рамки, в котором присутствует гармоника, соответствующая погрешности стабилизации от момента $\Delta b_1 \omega_y$, на выходе умножителя содержится постоянная составляющая сигнала и переменная составляющая сигнала. Интегратор с коэффициентом передачи K_6 эффективно сглаживает переменную составляющую сигнала умножителя и осуществляет интегрирование постоянной составляющей сигнала умножителя. В установившемся режиме величина выходного сигнала интегратора равна отношению величины коэффициента вязкого трения в оси вращения наружной рамки к коэффициенту передачи K_3 цепи компенсации. На выходе второго умножителя (сигнал U_8) формируется скорректированный компенсирующий сигнал, амплитуда которого вновь равна амплитуде момента от вязкого трения, что приводит к повышению точности двухосной системы стабилизации по каналу наружной рамки. Изменение величины удельного демпфирующего момента по оси наружной рамки приводит также к появлению погрешности стабилизации платформы относительно оси наружной рамки от составляющей момента вязкого трения $-\Delta b_1 \operatorname{tg} \varphi_z \omega_{x1}$. После перемножения выходного сигнала звена с коэффициентом передачи K_4 и выходного сигнала интегратора на выходе третьего умножителя (сигнал U_{11}) формируется скорректированный компенсирующий сигнал, амплитуда которого вновь равна амплитуде момента $-\Delta b_1 \operatorname{tg} \varphi_z \omega_{x1}$, что приводит к повышению точности стабилизации по оси наружной рамки. Описанный способ повышения точности работы схемы компенсации применен и в канале стабилизации по каналу внутренней рамки. Амплитуда погрешности системы стабилизации с комбинированным управлением и самонастройкой параметров

от рассмотренного возмущающего момента в установившемся режиме уменьшается в 180 раз, а время самонастройки параметров цепи компенсации не превышает 2 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Грант №17-08-00434 А.

Литература

1. Ривкин С.С., Береза А.Д. Гироскопическая стабилизация морских гравиметров. – М. : Наука, 1985. – 176 с.

2. Современные методы и средства измерения параметров гравитационного поля Земли / Пешехонов В.Г., Степанов О.А., Августов Л.И. и др. / Под общей ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова; научн. редактор О.А. Степанов. – СПб. : ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2017. – 390 с.

3. Форсберг Р. Проведение аэрогравиметрических измерений гравиметрами «ЛАКОСТАРОМБЕРГ» и «ЧЕКАН-АМ» с целью определения геоида / Форсберг Р., Олесен А.В., Эйнарссон И. // Гироскопия и навигация., № 3 (90), 2015. – С. 19–29.

4. Глазко В.В. Морские гравиметрические комплексы и гравиметры гидрографической службы военно-морского флота РФ / Глазко В.В.,

Шустов Е.Б., Филакок И.Н. // Навигация и гидрография. – № 32. – 2011. – С. 79–87.

5. Железняк Л.К. Гравиметры двойного назначения для измерений с морских и воздушных носителей / Железняк Л.К., Конешов В.Н., Несенюк Л.К. и др. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 23–28.

6. Малютин Д.М. Распопов В.Я. Исследование динамики гиросtabilизатора морского гравиметра с самонастройкой параметров / Малютин Д.М. Распопов В.Я. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 9. Ч. 2. – 2017. – С. 96–104.

7. Малютин Д.М. Система для морских гравиметрических измерений повышенной точности с самонастройкой параметров гиросtabilизатора // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 5 (325). – 2017. – С. 147–156.

8. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. С-П. : Профессия., 2004. – 752 с.

9. Малютин Д.М. Гиросtabilизатор гравиметра с комбинированным управлением // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. № 3 (329). – 2018. – С. 123–136.

УДК 004.056

АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БОРТОВЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

Медведев Н.В.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация*

Безопасность информационной среды бортового оборудования гражданских воздушных судов является важнейшей составной частью безопасности полетов.

Для составления актуального и отвечающего реалиям списка угроз и атак на бортовую операционную систему (БОС) гражданского воздушного судна (ВС) необходимо в полной мере представлять себе отличительные особенности таких систем, выделяющие их в ряде других ОС.

Рассмотрим эти особенности на примере уже существующих операционных систем реального времени (ОСРВ), использующихся в настоящее время [1]:

- QNX Neutrino,
- VxWorks,
- LynxOS.

Главным требованием к ОСРВ является минимальное время задержки обработки того или иного события. На практике это означает, что должны быть малы следующие параметры:

- время отклика на прерывание – время между фактическим возникновением прерывания

и началом обработки первой инструкции обработчика прерывания;

- время переключения потока управления – время переключения между двумя потоками в одном процессе;
- время переключения контекста процесса (только для ОС, поддерживающих модель процессов) – время переключения между двумя потоками управления, принадлежащими двум различным процессам.

Помимо характеристик времени обработки для ОСРВ важна также стабильность этих характеристик. Именно этот критерий во многом определяет «жесткость» ОСРВ, т. е. предсказуемость времени обработки данных, момента выдачи результатов и т. д.

Важным пунктом можно считать открытость исходных кодов ОСРВ. Открытая ОСРВ имеет явные преимущества с точки зрения ИБ. Кроме этого:

- разработчики прикладного ПО могут разобраться в сложных проблемах без привлечения службы технической поддержки;