

такие, чтобы среднее значение управляющего сигнала на заданных интервалах времени (например, 1 с) оставалось постоянным. Это позволяет точнее производить стабилизацию амплитуды при температурных уходах [4].

Имеется важная особенность – область применений ЦМЛГ включает инерциальные навигационные системы, в которых используется блоки чувствительных элементов с тремя жестко связанными на одном основании лазерными гироскопами (ЛГ) с взаимно перпендикулярными осями чувствительности к вращению (рисунок 4) [5].

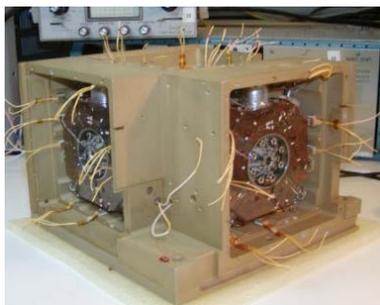


Рисунок 4 – Блок чувствительных элементов с тремя ЛГ

В этом случае образуется механическая колебательная система с тремя источниками возбуждения, связанными через общее основание. Необходимо разнести частоты виброколебаний всех трех ЛГ на 20–40 Гц. В противном случае будет наблюдаться перетекание колебательной энергии между ними и, как следствие, неконтролируемые амплитуды их раскачки. Это приводит к резкому ухудшению точностных характеристик ЛГ и навигационных систем на их основе.

Расчеты в работе [3] показывают: для импульсного управления виброподвесом обеспечивается

выход на установившееся значение амплитуды за доли секунды, что трактуется как достоинство такого способа управления. Однако при работе в блоке чувствительных элементов из трех ЛГ быстрая раскрутка их виброподвесов приводит к возникновению состояний такой совместной колебательной системы, спектральный состав которой и распределение типов колебаний по элементам конструкции невоспроизводимы от включения к включению. Это приводит к дополнительному разбросу показаний ЛГ и в разы понижает точность самовыставки навигационной системы. Поэтому для ЦМЛГ в программу микроконтроллера включен код, который обеспечивает плавное увеличение амплитуды колебаний виброподвеса от нуля до номинального значения за 1–2 с, что вполне допустимо для обеспечения типичного времени функциональной готовности 10–15 с.

1. Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М., Оксенчук И.Д. Цифровой малогабаритный лазерный гироскоп. Материалы 9-й МНТК «Приборостроение-2016». – Мн.: БНТУ, 2016. – С. 82-83.
2. Filter wheels (dithering wheels) are the key components of ring laser gyroscopes. <http://www.mh-elec.com/photo-x.php?id=221>
3. Енин В.Н., Санеев В.И. Цифровой автогенератор виброподставки лазерного гироскопа. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 05. С.154–177.
4. Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Влияние температуры на резонансную характеристику вибропривода кольцевого лазера. Материалы 13-й МНТК «Наука – образованию, производству, экономике» в 4 томах. Том 2. – Мн.: БНТУ, 2015. – С. 164.
5. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система. Пятый белорусский космический конгресс 25–27 октября 2011 года. Материалы конгресса. – ОИПИ НАН Беларуси, Минск. – Т. 2. – С.247-251.

УДК 621.375.826

СТАБИЛИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО РЕЖИМА ВИБРОПРИВОДА ЦИФРОВОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ЛАЗЕРНОГО ГИРОСКОПА ПО ФАЗЕ МЕЖДУ СИГНАЛОМ УПРАВЛЕНИЯ ДРАЙВЕРОМ ВИБРОПРИВОДА И СИГНАЛОМ ДАТЧИКА УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Кривицкий П.Г., Исаев А.В., Матюшевский В.М., Оксенчук И.Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Важной частью цифрового малогабаритного лазерного гироскопа (далее ЦМЛГ) [1] является система частотной подставки вибрационного типа, включающая механическую часть – виброподвес (ВП) [2], и электронный блок его управления – драйвер вибропривода (ДВП). ВП обеспечивает угловые колебания кольцевого лазера (КЛ) вокруг его оси чувствительности с частотой 400 – 500 Гц и амплитудой 3 – 5 угл. мин. ДВП, управляемый через ЦАП микроконтроллера (МК), формирует синусоидальный сигнал возбуждения ВП,

который подается на пьезоэлектрические пластины, приклеенные к лепесткам ВП таким образом, что за счет обратного пьезоэлектрического эффекта происходит деформация лепестков ВП, приводящая к крутильным колебаниям приклеенного к ВП КЛ.

Экспериментально полученная резонансная характеристика ВП ЦМЛГ представлена на рисунке 1. Сдвинутая влево резонансная характеристика получена при сканировании частоты ВП в прямом направлении (с увеличением частоты), а сдвинутая вправо кривая – в обратном.

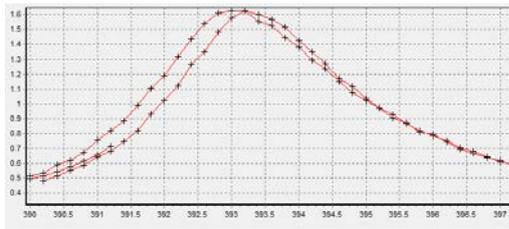


Рисунок 1 – Резонансная характеристика ВП ЦМЛГ (по горизонтальной оси – частота крутильных колебаний ВП, Гц, по вертикальной оси – амплитуда крутильных колебаний ВП, угл.мин.)

Работа ВП на резонансной частоте (или вблизи ее) позволяет минимизировать потребляемую им мощность, что позволяет уменьшить разогрев элементов конструкции ЦМЛГ и соответствующие температурные дрейфы его выходного сигнала [2].

Для настройки частоты ВП на резонанс применяется аппаратная либо программная ее модуляции (с частотой модуляции от долей Гц до нескольких кГц) с выделением сигнала коррекции средней частоты ВП.

Побочным отрицательным эффектом такого режима стабилизации частоты ВП является усложнение задачи стабилизации амплитуды колебаний ВП, поскольку ее приходится производить с постоянной времени, на порядок превышающей период модуляции ВП. Это негативно отражается на точностных характеристиках ЦМЛГ в динамике.

Введение ошумления амплитуды колебаний ВП, необходимое для предотвращения синхронизации частот встречных волн в КЛ, также существенно ухудшает настройку частоты ВП.

Еще одна проблема вышеуказанного режима настройки частоты ВП может проявиться в случае применения блока лазерных гироскопов (БЛГ), т.е. сборки из тех ЛГ, закрепленных на общем жестком основании в трех взаимно перпендикулярных осях [3].

Недоработки при конструировании БЛГ, отсутствие этапа моделирования его вибрационных характеристик приводят к увеличению взаимовлияния ВП отдельных ЛГ в блоке. Это проявляется в искажениях резонансных характеристик их ВП и даже к появлению дополнительных экстремумов на резонансных частотах ВП ЛГ в блоке. Изменчивость таких связей в процессе работы БЛГ приводит к нарушениям в системах стабилизации, перекачке энергии колебаний между ЛГ и соответствующим скачкообразным изменениям амплитуды их виброколебаний.

На рисунке 2 представлены экспериментальные графики резонансных характеристик ВП ЛГ в трехосевом БЛГ, полученные в ходе разработки конструкции БИНС-А.

Поэтому при разработке управляющей программы для МК ЦМЛГ применен другой способ настройки и коррекции частоты ВП.

В качестве контрольного сигнала берется не максимальное значение амплитуды ВП и ее отклонения из-за модуляции частоты ВП, а фаза между управляющим сигналом возбуждения ВП и сигналом Д0 датчика углового положения, определяющим момент прохождения «нулевого» (равновесного) положения ЛГ.

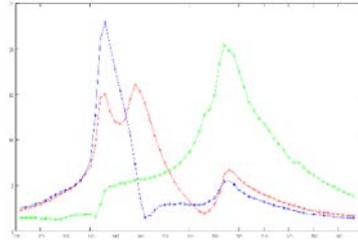


Рисунок 2 – Резонансные характеристики ВП ЛГ в трехосевом БЛГ

На рисунке 3 представлены осциллограммы сигнала возбуждения ВП (1) и сигнала датчика углового положения (2) в режиме резонанса. Сигнал возбуждения подается на пьезопластины ВП, а сигналом датчика углового положения является напряжение на пьезопластине, также приклеенной на один из «лепестков» ВП. Видно, что оба сигнала практически совпадают по фазе.

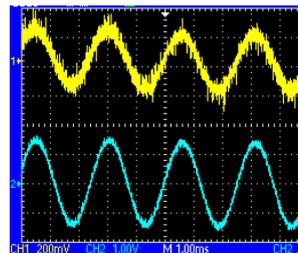


Рисунок 3 – Осциллограммы сигнала возбуждения ВП (1) и сигнала датчика углового положения (2)

Определение и стабилизация фазы выполняется в функции `tune_faza()`, вызываемой из обработчика прерываний `HAL_DAC_ConvCpltCallbackCh1()` по завершению выдачи в ЦАП выборки реализации периода управляющего сигнала ВП в программе МК.

В ней выполняется определение текущего значения времени (в тактах таймера частотой 64 МГц):

```
ifaza_dac = htim2.Instance->CNT;
```

Затем определяется интервал времени от момента прихода сигнала Д0:

```
ifaza_d0c1 = ifaza_dac - tim2ch1capture;
```

И вычисляется само значение фазы в долях периода (значение 0,5 равно 180 град.):

```
faza_x = ifaza_d0c1 / (ViTim8 * 64.);
```

где `ViTim8` – число тактов частотой 64 МГц между выборками ЦАП, а `64` – длина реализации периода управляющего сигнала ВП.

Экспериментальная зависимость вышеописанной фазы и амплитуды колебаний от частоты ВП представлена на рисунке 4. Провалы на амплитудной зависимости вызваны вторичными резонансами конструкции макета ЛГ.

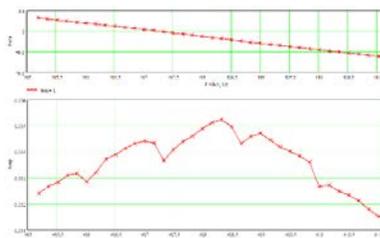


Рисунок 4– Зависимость фазы от частоты ВП ЛГ

Реализованный в ЦМЛГ способ настройки и коррекции частоты ВП включает три последовательных этапа. На первом этапе должна определяться температура корпуса ВП и за 1 – 3 сек выполняться плавная его раскрутка до заданной амплитуды. Затем в течение 3 – 6 сек выполняется настройка на максимум амплитуды колебаний ВП с определением контрольного значения фазы. И,

наконец, происходит переход в рабочий режим стабилизации этого контрольного значения путем коррекции частоты колебаний ВП.

Опытная наработка ЦМЛГ с данным режимом настройки частоты ВП по фазе показала его стабильность и надежность функционирования.

1. Кривицкий П.Г., Мапошевский В.М., Оксенчук И.Д. Цифровой малогабаритный лазерный гироскоп // Материалы 9-й МНТК «Приборостроение-2016». – Мн.: БНТУ, 2016. – С. 82-83.
2. Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Влияние температуры на резонансную характеристику вибропривода кольцевого лазера. Материалы 13-й МНТК «Наука – образованию, производству, экономике»: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2015. – Т 2.– С. 164.
3. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система // Пятый белорусский космический конгресс: материалы конгресса. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2011. – Том 2.С.247-251.

УДК 621.382.019.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Манего С.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Анализ практики передовых мировых производителей светодиодных устройств (СУ) позволяет сделать вывод, что непосредственным результатом превращения качества в основной фактор конкурентоспособности стал отказ от методов контроля и отбраковки как средства обеспечения надежных свойств и выработки гарантий качества для потребителей. Среди причин, ограничивающих возможность применения этих методов в современных условиях, являются: стоимостные ограничения, физические ограничения и организационные ограничения.

Невозможность эффективно разрешить указанные ограничения стимулировала переход к более совершенным системам, основанным на концепции предотвращения появления дефектов. В качестве методической основы работ, ведущихся в этом направлении в промышленно развитых странах, наиболее широко используется международная система стандартов ISO 9000. В то же время потребности разработки новых или совершенствования существующих систем управления качеством требуют для своей реализации наличия адекватной научно-методологической базы и формирования новых подходов решения данной проблемы. В качестве таковых в последнее время разрабатываются направления создания «имитационных моделей» деградации оптоэлектронных устройств и проведение ускоренных испытаний, которые позволяют достаточно точно предсказать надежность СУ. Где в качестве основных критериев использовались: минимизация экономических затрат, надежность полученных свойств изделия и характеристик вариативности значений указанных параметров [1].

Поскольку сложные СУ функционируют в стационарных и нестационарных режимах при большом разнообразии воздействующих неконтролируемых, а зачастую и неизвестных факторов, то наиболее информативным их эмпирическим описанием представляются статистические данные, предшествующие деградационным изменениям, нарушающим нормальное функционирование СУ. Следует отметить, что число таких данных ограничено. Реальные состояния СУ могут быть неизоморфны значениям контролируемых параметров.

Для решения проблемы о состоянии СУ предлагается использовать метод моделирования ускоренных исследовательских испытаний светодиодных устройств. Математическая задача планирования эксперимента состоит в том, чтобы найти уравнение поверхности отклика: $\eta = \eta(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где η – функция отклика, т.е. параметр оптимизации; x_i – факторы, которые варьируются при проведении эксперимента. Таким образом, математическое планирование связано с изучением формы поверхности отклика; следовательно, оптимальному значению выхода соответствуют максимальные или минимальные точки этой поверхности. Для большинства реальных процессов вид поверхности отклика заранее неизвестен, поэтому при экспериментальном поиске оптимальных условий функцию η представляют в виде степенного ряда:

$$\eta = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_i x_i^2 \quad (1)$$

Точность подобной аппроксимации определяется порядком степенного ряда и