Введение

Балансировка резонаторов является одной из ключевых задач в процессе изготовления любых гироскопов, независимо от принципа их действия. Цель балансировки заключается в снижении начальной разночастотности двух ортогональных мод, которые используются в рабочем режиме гироскопа. Отличительное чертой 4-х массового резонатора камертонного типа изд. ДУС-ММ, которая усложняет процесс балансировки, является наличие в разбалансированной системе не только разночастотности между модами, но и разноамплитудности между парами подвижных узлов. Разноамплитудность вызвана наличием двух дополнительных добротных линейных мод (мода **1** и **3**) вблизи рабочих мод (мода **2** и **2*’***). А сам процесс балансировка осуществляется для двух пар ортогональных направлений ***X***, ***Y*** и ***Q***, ***L***. Сами балансировочные элементы представляют собой совокупность перемычек, служащих для корректировки массы каждого подвижного узла в 4-х направлениях. Удаление перемычки может осуществляться, как с помощью лазера, так и с помощью ручных инструментов.

Текущая разработанная методика балансировки 4-х массового резонатора, включает в себя последовательное выполнение 3-х этапов:

1. Выравнивание амплитуд колебания инерционных масс пар подвижных узлов на одной из вспомогательных мод **1** или **3** в направлениях **X** и **Y**.
2. Выравнивание амплитуд колебания инерционных масс пар подвижных узлов на одной из вспомогательных мод **1** или **3** в направлениях **Q** и **L**.
3. Снижение разночастотности рабочих мод **2** и **2*’*** для двух пар ортогональных направлений **X**, **Y** и **L**, **Q**.

В текущем состоянии методику балансировку сложно автоматизировать. Для дальнейшей автоматизации балансировки необходимо решить следующие проблемы:

* Невозможность в аналитическом виде представить методику.
* Сложность в численной оценке величины необходимого воздействия для осуществления балансировки в минимальное количество итераций;
* Для усвоения методики балансировки от оператора требуется понимание принципов работы гироскопа.
* В определенных возможных разбалансированных состояниях методика балансировки может не работать.

Постановка задачи машинного обучения

 Машинное обучение – это обширный подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных обучаться.  Другими словами, на основе конечной совокупности прецедентов — пар «объект, ответ», строится алгоритм, способный для любого возможного входного объекта выдать достаточно точный ответ. Важной особенностью при этом является способность обучаемой системы к обобщению, то есть к адекватному отклику на данные, выходящие за пределы имеющейся обучающей выборки.

В качестве объектов выступает возможные разбалансированные состояния резонатора, признаками которых является частоты 4 мод и амплитуды пар подвижных масс на каждой моде. Ответом же является количество перемычек, которые необходимо удалить, чтобы полностью сбалансировать данную модель.

Данная задача является задачей регрессионного анализа. Параметры модели настраиваются таким образом, что модель наилучшим образом приближала данные. Для измерения точности ответов вводится оценочный функционал качества. Критерием качества приближения целевой функцией выберем среднеквадратичную ошибку

Сбор данных

Сбор данных осуществляется с помощью программы физического моделирования *Ansys.*

Был разработан скрипт на языке программировании *APDL.*

Данный скрипт включает следующие основные блоки:

1. **Построение модели конструкции резонатора**.

Данный блок включает в себя: импорт 1/8 модели, построение её сетки. Для лучшей симметрии с целью формирования полной структуры производится копирование элементов сетки, а не геометрии модели. Для лучше точности расчетов, сетка уточняется у упругих подвесов. Производится закрепление в точках заделки. Определяются необходимые характеристики кремния.

1. **Определение балансировочных элементов.**

Выделяются перемычки для каждого подвижного узла в 4 направлениях и для дальнейшего использования копируется номера элементов сетки выбранных элементов в отдельную компоненту (*component*). Для моделирования удаления элементов, создается отельный материал, имеющий параметры упругости сходные с кремнием, но плотность берётся за 1 (0.04% от исходной плотности). Перед запуском решателя, балансировочные элементы определяются данным материалом.

1. **Выбор перемычек, которые будут формировать случайное разбалансированное состояние резонатора.**

С целью формирования случайных состояний был разработан алгоритм, который однозначно представляет целевую функцию для правильной работы нейронной сети.

1. **Запуск решателя для каждого разбалансированного состояния.**

Производится цикличный запуск частотного анализа. Расчет производится только 4 мод, необходимых для балансировки.

1. **Определяется амплитуда пар подвижных узлов и частоты мод.**
2. **Вывод данных в файл.**

После каждого цикла запуска, производится запись входных и выходных данных.

Благодаря автоматизации работы ansys,

Подготовка данных

Нейронные сети