

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАКЛАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С ДИСКРЕТНЫМ ВЫХОДОМ

Мухаммадиев Бахтияр Сапарович

Старший преподаватель Джизакского Политехнического института

(тел: +998 93 302 11 32, e-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com)

Аннотация:

В работе рассмотрены расчеты накладных трансформаторных преобразователей механических напряжений с дискретным выходом, а также для получения большую чувствительность и увеличенную точность преобразования сигналов по заданному алгоритму, приведен примерный расчет составляющих погрешности преобразователя.

Annotation:

The paper considers calculations of overhead transformer converters of mechanical stresses with discrete output, as well as to obtain greater sensitivity and increased accuracy of signal conversion according to a given algorithm, an approximate calculation of the error components of the converter is given.

Ключевые слова: трансформаторный преобразователь механических напряжений (ТПМН), система автоматического управления (САУ), оперативный усилитель (ОУ), магнитопровод, преобразователь, методы, электронная вычислительная машина (ЭВМ), погрешность.

Keywords: transformer converter of mechanical stresses (TPMN), automatic control system (ACS), operational amplifier (OP), magnetic circuit, converter, methods, electronic computer (computer), error.

Возрастающие требования к системам автоматического управления технологическими процессами, а также к устройствам и механизмам, дало толчок для развития средств первичного преобразования и обработки информации.

Практически во всех отраслях деятельности человека применяются новые технологии, энергетическое обеспечение которых осуществляется с помощью электричества. Одним из перспективных направлений развития альтернативных источников энергии являются разработка и производство термоэлектрических преобразователей.

Преобразователь – устройство, которое преобразует изменения входной величины в соответствующий выходной сигнал, удобный для дальнейшего использования, и служит воспринимающим органом ряда элементов (датчиков с промежуточным преобразованием). Преобразователи устройств весьма разнообразны. Наибольшее распространение получили индуктивные и трансформаторные преобразователи.

Трансформаторные преобразователи основаны на изменении взаимной индуктивности между двумя системами обмоток, а также конструктивно имеют много общего с индуктивными преобразователями, отличаясь от них наличием второй системы обмоток [1].

Преобразовательная техника используется для выпрямления токов переменного в постоянный, инвертирования постоянного в переменный, преобразования частоты, числа фаз, одной величины напряжения постоянного тока в другую.

Для преобразования механических напряжений в электрический сигнал используется тензометрические и магнитоупругие методы. Поскольку при тензометрическом методе требуется наклейка тензодатчиков на исследуемый объект, то для системы автоматического управления (САУ) технологическими процессами используется в основном магнитоупругий метод, позволяющий преобразовать как величину, так и направление механических напряжений в электрический сигнал [2].

При разработке методики расчета трансформаторного преобразователя механических напряжений (ТПМН) с дискретным выходом исходным уравнением является статистическая характеристика которая необходима, в первую очередь, для определения оптимальных соотношений геометрических параметров магнитопровода, число обмоток и оптимального режима работы преобразователя. В качестве критериев оптимизации параметров преобразователя используется обычно следующие: максимальная



чувствительность, минимальная погрешность и максимальное быстродействие [3].

Из анализа различных конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений можно сделать вывод о том, что независимо от конструктивных особенностей преобразователей, в них происходит преобразование информации в трех физических цепях, а именно: механической, магнитной и электрической. Для упрощения анализа, расчета и синтеза цепей различной физической природы удобно использовать единый математический аппарат, использующий принцип прямой аналогии, т.е. в качестве обобщенных величин, характеризующих процессы в цепях любой физической природы трансформаторных преобразователей механических напряжений приняты величина воздействия – обобщенное напряжение U , величина реакции – обобщенный ток I и заряд q [4].

Анализ патентно-технической литературы, посвященной вопросам создания различных конструкций трансформаторных преобразователей механических напряжений (ТПМН), а также топограмм, показывает, что составляет большое число конструктивных вариантов создания преобразователей с использованием магнитоупругого эффекта. Большой объем информации зачастую затрудняет правильный выбор оптимальной схемы построения преобразователя. Поэтому в настоящее время все большее распространение получают методы проектирования преобразователей на уровне структурных схем с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ) [5].

При разработке методики расчета трансформаторного преобразователя механических напряжений (ТПМН) с дискретным выходом исходным уравнением является статистическая характеристика которая необходима, в первую очередь, для определения оптимальных соотношений геометрических параметров магнитопровода, число обмоток и оптимального режима работы преобразователя [6].

При исследовании статической характеристики преобразователя было установлено, что во время режиме работы при питании квадратично изменяющимся во времени током эффективность короткозамкнутых управляющих обмоток изменяется с течением времени. Уменьшение



экранирующего действия управляющих обмоток вызывает появление магнитного потока, протекающего через стержни полюсов, на которых находятся управляющие обмотки, т.е. магнитная проводимость под стержнем полюса имеет конечное значение $\Delta C_{\mu\delta}$, зависящее от времени, причем $\Delta C_{\mu\delta} \neq 0$, что, и в конечном итоге, приводит к непостоянству коэффициента изменения эффективной площади поперечного сечения полюсов ТПМН коэффициент n_s [7].

Производится расчет систематической составляющей погрешности интегратора, обусловленной неидеальностью ОУ, в качестве которого используется, например, ОУ типа К14ОУД7, а резисторы R и R₁ выбраны одного номинала с погрешностью 5%.

Данные для расчета:

$$I_{BX}=200 \text{ нА}; \Delta I_{BX}=50 \text{ нА}; U_{CM}=4 \text{ мВ}; R=22 \text{ кОм}; \\ C=10 \text{ нФ}; t=1,6 \text{ мс}; K_{oy}=5 \cdot 10^4$$

Подставляя данные операционный усилитель (ОУ) и схемы, получим значения погрешностей. Составляющая погрешности, обусловленная входными токами, равно $\pm 0,064\%$. Мультипликативная составляющая, обусловленная напряжением смещения, составляет 0,29%, а аддитивная составляющая – 0,04%. Анализ полученных данных показывает, что мультипликативная составляющая систематической погрешности не превышает $\pm 0,3\%$, а аддитивная составляющая – не более $\pm 0,04\%$. Причем основной причиной погрешности является наличие напряжения смещения U_{см} (Рис.1) [8].

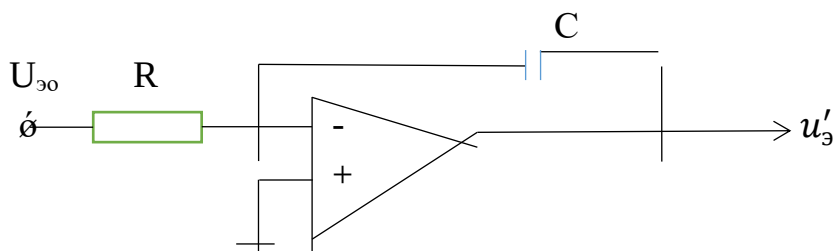


Рис.1 Принципиальная схема интегратора

Для уменьшения рассмотренных составляющих погрешности необходимо введение в цепи балансировку.

Для расчета трансформаторных преобразователей механических напряжений с дискретным выходом необходимы следующие исходные данные: марка материала исследуемого объекта, магнитоупругая характеристика материала,

диапазон преобразуемых механических напряжений, погрешность преобразования, геометрические размеры детали, быстродействие преобразователя, диапазон возможных изменений воздушного зазора, начальное значение воздушного зазора.

Расчет трансформаторных преобразователей механических напряжений проводится методом последовательных приближений в следующем порядке:

- из геометрических размеров исследуемого объекта выбирается типоразмер магнитопровода;
- из магнитоупругой характеристики материала исследуемого объекта при начальном воздушном зазоре выбирается значение магнитного напряжения U_μ , при котором коэффициент $K_{U_\mu C_\mu}$ максимален;
- производится расчет параметров магнитной цепи трансформаторного преобразователя механического напряжения;
- из магнитоупругой характеристики материала определяется диапазон оптимальных значений деятельности импульса питания преобразователя, из которого выбирается стандартное значение длительности импульса;
- по рассчитанным параметрам C_μ и $C_{\mu\delta}$ определяется максимальное значение магнитного напряжения, подаваемого на возбуждающую обмотку:

$$U_{\mu B} = U_\mu \frac{C_\mu}{2C_{\mu\delta}}$$

- выбирается количество витков возбуждающей обмотки I_3 , после чего рассчитывается требуемый электрический ток:

$$I_3 = \frac{U_{\mu B}}{K_{I_3} U_\mu}$$

- производится расчет генератора, квадратично изменяющихся во времени импульсов;
- по значению максимального тока возбуждения I_3 и выбранной для данного типа обмоток плотности тока определяется диаметр провода обмотки:

$$d_\pi = 2 \sqrt{\frac{I_3}{\pi j}}$$

- задавшись длиной обмотки ℓ , определяется высота возбуждающей обмотки:

$$\ell_4 = \frac{K_{I_3} U_\mu d_\Pi^2}{K_3 \ell}$$

- задавшись площадью сечения измерительной обмотки и наименьшим удобным для намотки значением провода, рассчитывается количество витков измерительной обмотки;
- по рассчитанному значению времени переходного процесса $3\tau_{\mu 1}$ определяется напряжение U_{31} на вторичной обмотке в момент окончания переходного процесса при минимальном значении воздушного зазора;
- выбираем значение нижнего порога сравнения компаратора:

$$U_{302} < U_{32}$$

- выбирается схема компаратора и рассчитывается усилитель сигналов с измерительной обмотки [9];
 - производится расчет управляющих обмоток, работающих в активном режиме, отличительной особенностью которых является наличие интегратора с токовым выходом, расчет которого ведется по соответствующей методике;
 - определяется значение интервала времени во втором режиме при максимальном воздушном зазоре;
 - исходя из заданной погрешности преобразования и значения интервала времени во втором режиме, выбирается значение частоты кварцевого генератора счетных импульсов;
 - по значению частоты счетных импульсов и интервала времени во втором режиме определяется размер двоично-десятичного счетчика;
 - выбирается тип специализированного микропроцессора и производится расчет схемы согласования микропроцессора со счетчиками;
 - производится расчет составляющих погрешности преобразователя и полученные данные сравниваются с техническим заданием. Если рассчитанное значение погрешности превышает заданное заданием, то необходимо увеличить размеры базы магнитопровода ℓ и повторить расчет.
- Предварительные данные для расчета трансформаторного преобразователя механического напряжения с дискретным выходом для случая преобразования механических напряжений в исследуемой детали выполненной из стали Ст.45
- | | | | | |
|-------|-----------------------|-------|---------------------------|--------|
| μ | $=1,36 \cdot 10^{-4}$ | Гн/м, | $\sigma = 4,2 \cdot 10^6$ | см/м), |
|-------|-----------------------|-------|---------------------------|--------|
- в диапазоне 0....200 Мпа, время преобразования – не более 1 с,

с погрешностью – не более 5%, при колебаниях воздушного зазора в диапазоне 0,21,0 мм.

В результате предварительного расчета получены следующие размеры и параметры трансформаторного преобразователя механического напряжения: магнитопровод М4000НМ1 Ш7х7; $K_{I_3 U_\mu} = 90$; $d_{\Pi} = 0.18$ мм; $K_{I_\mu U_3} = 7000$; $d_{\Pi} = 0,08$ мм; $\ell = 19$ мм; $\ell_3 = 12$ мм; $\ell_2 = 5,5$ мм.

Из анализа работ, посвященных трансформаторным преобразователям механических напряжений, используемых в системе автоматического управления, можно сформулировать следующие требования, предъявляемые к преобразователям:

- высокая чувствительность к механическим напряжениям;
- малая погрешность преобразования;
- высокое быстродействие;
- возможность обработки сигналов преобразователя с помощью ЭВМ;
- возможность преобразования составляющих сложного напряженного состояния;
- технологичность изготовления и простота эксплуатации;
- низкая стоимость и высокая надежность.

В результате внедрение в производство магнитоупругих и магнитоанизотропных преобразователей механических напряжений с улучшенными метрологическими характеристиками позволяет избежать ошибочных решений по «досрочному» ремонту конструкции, не позволяет пропустить опасное место даже в случаях, когда известные ультразвуковые, рентгеновские и другие приборы пропускают угрозу существованию конструкции. Это дает огромный экономический эффект, повышает безопасность инженерных конструкций, спасает экологию от последствий «техногенных катастроф» (взрывы трубопроводов, протечки нефтяных резервуаров и т.д.) [10].

Из этого дела вывод, находим что точность и быстродействие конструкций преобразователей механических напряжений с дискретным выходом два раза выше по сравнению с известными преобразователями. Также, они отвечают требованиям, предъявляемым со стороны системы автоматического управления подъемом и поддержанием магистрального трубопровода, и



позволяют при использовании в этой системе управления уменьшить вероятность аварий при проведении капитального ремонта магистральных трубопроводов [11].

Список использованных источников

1. Мухаммадиев Б. С. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ //E Conference Zone. – 2022. – С. 122-125.
2. Мухаммадиев Б. С. Накладные магнитоупругие преобразователи механических напряжений в системах автоматического управления //CANADA, International scientific-online conference: "INNOVATIVE DEVELOPMENTS AND RESEARCH IN EDUCATION" PART. – 2022. – Т. 4. – С. 69-73.
3. Мухаммадиев Б. С., Эшонкулова М. Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С ДИСКРЕТНЫМ ВЫХОДОМ //Экономика и социум. – 2021. – №. 11-2 (90). – С. 207-211.
4. Мухаммадиев Б. С. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАКЛАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ //Актуальные вопросы современной науки и образования. – 2021. – С. 93-101.
5. Мухаммадиев Б. С. МАШИННЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ //E Conference Zone. – 2022. – С. 201-205.
6. Мухаммадиев Б. С. ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ НАКЛАДНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ //E Conference Zone. – 2022. – С. 198-202.
7. Мухаммадиев Б. С. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ //O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI. – 2022. – Т. 1. – №. 8. – С. 323-331.



8. МУХАММАДИЕВ Б. С., ЭРГАШЕВА К. Н. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ОБОБЩЕННОЕ МАГНИТНОЕ НАПРЯЖЕНИЯ //ЭКОНОМИКА. – С. 212-216.

9. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.-К.:Техника, 1983.-213 с.

10. Мухаммадиев Б. С. ДЕЙСТВИЯ МАГНИТОУПРУГИХ И МАГНИТОАНИЗОТРОПНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЛУЧШЕННЫМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ //Conference Zone. – 2022. – С. 139-144.

11. Muhammadiev Bakhtiyar Saparovich. (2023). APPLICATION OF A TRANSFORMER CONVERTER WITH A DISCRETE OUTPUT IN AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM . Academic Research Journal, 2(1), 150–155.