

УДК 621.785

Подпругин Александр Ильич,

Студент инженерного факультета, 4 курс,
БелГАУ имени В.Я. Горина, Россия, г. Белгород

Podprugin Alexander Ilyich,

Engineering student, 4 year,
BelGAU names V.Ya. Gorina, Russia, Belgorod

Кожевин Сергей Алексеевич

Студент инженерного факультета, 4 курс,
БелГАУ имени В.Я. Горина, Россия, г. Белгород

Kozhevin Sergey Alekseevich

Engineering student, 4 year,
BelGAU names V.Ya. Gorina, Russia, Belgorod

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**
**COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC MEASURING
INSTRUMENTS**

Аннотация: в данной статье проводится сравнительная характеристика преобразователей с плоской и круглой катушкой. Проведя анализ, были сделаны выводы о свойствах, достоинствах и недостатках электромагнитных преобразователей.

Abstract: This article provides a comparative description of flat and round coil transducers. Having conducted the analysis, conclusions were drawn about the properties, advantages and disadvantages of electromagnetic transducers.

Ключевые слова: преобразователь, плоская катушка, круглая катушка.

Keywords: transducer, flat coil, round coil.

Отличительной особенностью электромагнитных приборов, обуславливающей их широкое применение для измерений в цепях переменного и постоянного токов в качестве щитовых амперметров и вольтметров, являются их высокие эксплуатационные качества: простота

конструкции, низкая стоимость, высокая надежность, устойчивость к электрическим перегрузкам, широкий диапазон измеряемых величин. Основным недостатком этих приборов является невысокая точность.

Все электромагнитные приборы в зависимости от конструктивного исполнения и характера движения их подвижной части могут быть разделены на резонансные и нерезонансные. Каждая из этих групп приборов в свою очередь делится на две подгруппы: поляризованные и неполяризованные (в поляризованных приборах кроме намагничивающей катушки используются постоянные магниты). Основу данных приборов составляют электромагнитные измерительные механизмы, отличающиеся как по конструктивному исполнению, так и по своим свойствам и параметрам. Принцип действия всех электромагнитных преобразователей основан на взаимодействии магнитного поля тока, протекающего в катушке, с ферромагнитным сердечником.

Все конструктивные разновидности электромагнитных ИП можно свести к двум основным типам (рисунок 1-2).

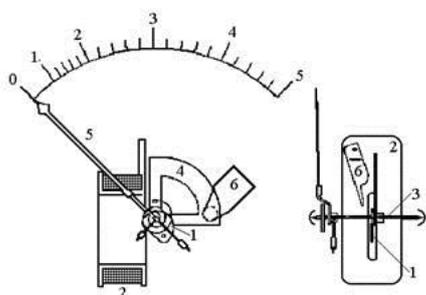


Рисунок 1 - Преобразователь
с плоской катушкой

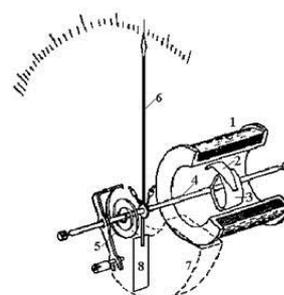


Рисунок 2 - Преобразователи
с круглой катушкой

Преобразователи с плоской катушкой состоят из катушки 2, в магнитном поле которой находится ферромагнитный сердечник 1 в форме усеченного диска или язычка, эксцентрически закрепленный на оси подвижной части. При протекании по катушке тока ферромагнитный сердечник втягивается в магнитный зазор катушки, поворачивая при этом ось 3 с закрепленным на ней успокоителем 4 и стрелку 5 в сторону увеличения показаний. Регулировка угла отклонения подвижной части осуществляется с

помощью магнитного шунта 6. Преобразователи с плоской катушкой менее технологичны в изготовлении, чем механизмы с круглой катушкой, однако они обладают повышенной чувствительностью, меньшими габаритами и массой.

Преобразователи с круглой катушкой (рисунок 5,б) состоят из катушки 1, подвижного 2 и неподвижного 3 ферромагнитных сердечников, форма которых определяется необходимостью получения требуемого характера шкалы преобразователя. При протекании по катушке тока подвижный и неподвижный сердечники намагничиваются одноименно. Подвижный сердечник отталкивается от неподвижного, поворачиваясь вместе с осью 4 и закрепленной на ней стрелкой 6. Причем сила отталкивания оказывается прямо пропорциональной значению тока, протекающего по катушке. Противодействующий момент создается с помощью спиральной пружины 5. Успокоение подвижной части осуществляется воздушным (крыльчатым) успокоителем, состоящим из закрытой камеры 7 и легкого алюминиевого крыла 8, жестко связанного с осью 4 подвижной части. Достоинством таких преобразователей является их простота, высокая технологичность изготовления и возможность получения требуемого характера шкалы (за счет выбора формы сердечников. Конструктивно сердечники могут быть цилиндрическими, призматическими или иметь другую форму). Чувствительность таких преобразователей оказывается ниже, чем у преобразователей с плоской катушкой.

Исходные данные для выполнения расчетной части курсовой работы:

1. Однофазный мостовой выпрямитель (схема).
2. Номинальное напряжение сети $U_1 = 220\text{В}$.
3. Максимальное напряжение сети $U_{1\text{max}} = 230\text{В}$.
4. Минимальное напряжение сети $U_{1\text{min}} = 210\text{В}$.
5. Частота тока сети $f_c = 50\text{Гц}$.
6. Коэффициент пульсации $K_{п1} = U_{0m1}/U_0 = 0,1$

Номинальные выпрямленное напряжение U_0 и ток нагрузки I_0 выпрямителя выбираются из исходных данных, определённых преподавателем.

В нашем случае $U_0 = 15\text{В}$, $I_0 = 1\text{А}$.

Данному заданию соответствует схема выпрямителя (схема 1). Тогда по подразделу 2.1 найдем следующие параметры:

$$a_{\max} = (U_{1\max} - U_1) / U_1 = (230 - 220) / 220 = 0,045$$

$$a_{\min} = (U_1 - U_{1\min}) / U_1 = (220 - 210) / 220 = 0,045$$

$$R_H = U_0 / I_0 = 15 / 1 = 15\text{Ом}$$

$$P_0 = U_0 I_0 = 15 * 1 = 15\text{Вт}$$

Определяем сопротивление трансформатора $r_{\text{тр}}$, прямое сопротивление вентилей $r_{\text{пр}}$ и по их значениям находим сопротивление фазы выпрямителя $r_{\text{ф}}$ (табл. 1). Принимаем: $B = 1,1\text{Т}$, $j = 2\text{А/мм}^2$. Тогда в соответствии с таблицей 1 для схемы получим:

$$r_{\text{тр}} = (2 \div 2,35) (U_0 j / I_0 f_c B) (f_c B j / 1,6 U_0 I_0)^{1/4}$$

$$r_{\text{тр}} = (2 \div 2,35) (15 * 2 / 1 * 50 * 1,1) (50 * 1,1 * 2 / 1,6 * 15 * 1)^{1/4} = 1,26\text{Ом}$$

Для определения сопротивления вентилей в прямом направлении $r_{\text{пр}}$ необходимо ориентировочно выбрать тип вентиля определить прямое падение напряжения $U_{\text{пр}}$.

Вентиль выбирается по расчетному среднему выпрямленному току $I_{\text{в.п.ср}}$ и амплитуде обратного напряжения $U_{\text{обр.мах}}$. Он должен быть выбран так, чтобы его максимально допустимое обратное напряжение было больше, чем имеющее место в выпрямителе. Ток $I_{\text{в.п.ср}}$ должен быть меньше максимально допустимого среднего тока вентиля, указанного в справочнике.

В соответствии с таблицей:

$$I_{\text{в.п.ср}} = I_0 / 2 = 1 / 2 = 0,5\text{А}$$

$$U_{\text{обр.мах}} = 1,5 U_0 (1 + a_{\max}) = 1,5 * 15 (1 + 0,045) = 23,5\text{В}$$

Из приложения таблица П2 (с запасом) выбираем диод КД208А ($U_{\text{обр.мах}} = 100\text{В}$, $I_{\text{в.п.срмах}} = 1,5\text{А}$, $f_{\text{мах}} = 1\text{кГц}$, $U_{\text{пр.ср}} = 1\text{В}$)

Выбрав тип вентиля, находим значение $U_{пр}$ определяем сопротивление вентиля $r_{пр} = U_{пр ср} / I_{в.п.ср.} = 1/0,5 = 2 \text{ Ом}$

Выпрямитель работает на Г-образный фильтр, тогда в сопротивление фазы $r_{ф}$ необходимо включить сопротивление фильтра $R_{ф}$, принимаемое равным $(0,1—0,25) R_{Н}$.

$$R_{ф} = 0,2 R_{Н} = 0,2 * 15 = 3 \text{ Ом.}$$

Тогда получим:

$$r_{ф} = r_{тр} + 2r_{пр} = 1,26 + 2 * 2 = 5,26 \text{ Ом.}$$

Определяем основной расчетный параметр A : для схемы:

$$A = I_0 \pi r_{ф} / 2U_0 = 1 * 3,14 * 5,26 / 2 * 15 = 0,55$$

Определив A , из графиков на рис. 13 определяем параметры B , D , F .

$$B = 1,3; D = 1,9; F = 4,8.$$

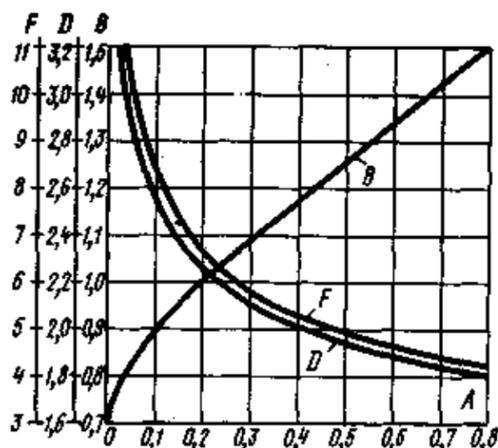


Рисунок 1 - График для определения параметров B , D , F .

В соответствии с формулами определяем U_2 , I_2 , I_1 , $P_{тр}$, $U_{обр}$, $I_{в.п.ср.}$, $I_{в}$, $I_{в.мах}$:

$$U_2 = BU_0 = 1,3 * 15 = 19,5 \text{ В}$$

$$I_2 = 0,7DI_0 = 0,7 * 1,9 * 1 = 1,33 \text{ А}$$

$$I_1 = 0,7DI_0 w_2 / w_1 = 0,7 * 1,9 * 1 * 0,088 = 0,12 \text{ А}$$

$$w_2 / w_1 = U_2 / U_1 = 19,5 / 220 = 0,088$$

$$P_{тр} = 0,7BDP_0 = 0,7 * 1,3 * 1,9 * 15 = 25,93 \text{ Вт}$$

$$U_{обр.мах} = 1,41BU_0 (1 + a_{мах}) = 1,41 * 1,3 * 15 (1 + 0,045) = 28,7 \leq 100 \text{ В}$$

$$I_{в.п.ср.} = 0,5I_0 = 0,5 * 1 = 0,5 \text{ А}$$

$$I_B = 0,5DI_0 = 0,5 \cdot 1,9 \cdot 1 = 0,95 \text{ A}$$

$$I_{B.\max} = 0,5FI_0 = 0,5 \cdot 4,8 \cdot 1 = 0,24 \text{ A} \leq 1,5 \text{ A}$$

$$f_{01} = 2 f_c = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Гц} \leq 1 \text{ кГц.}$$

Расчеты показали, что параметры выбранного диода (вентилля) подходят для расчетных значений выпрямителя.

Из графиков определяем параметр Н. Для схемы Н определяем по кривой.

Поскольку $A = 0,55$ принимаем граничное значение $H = 750$, $K_{п1}$ принимаем $0,13$.

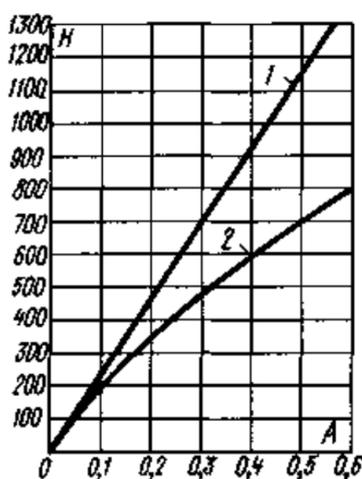


Рисунок 2 - График для определения параметра Н

По заданным коэффициенту пульсации $K_{п1}$ и Н определяем емкость конденсатора C_0 (в мкФ) для схемы:

$$C_0 = H / (r_{ф} K_{п1}) = 750 / (5,26 \cdot 0,13) = 1096 \text{ мкФ}$$

Расчетные параметры трансформатора:

$$U_1 = 220 \text{ В}$$

$$U_2 = 19,5 \text{ В}$$

$$I_1 = 0,12 \text{ А}$$

$$I_2 = 1,33 \text{ А}$$

$$P_{тр} = 25,93 \text{ Вт}$$

Расчет фильтра проведем для схемы Г-образной схемы. В соответствии с методикой Г-образного фильтра RC для $f_c = 50$ Гц можно сделать на основании формулы:

$$R_{\phi} R_H C_1 / (R_{\phi} + R_H) = 3200 \text{ q/m},$$

где R_{ϕ} и R_H , Ом; C_1 , мкФ. Сопротивление резистора R_{ϕ} определяется с учетом КПД. Обычно КПД = 0,6 - 0,8.

$$\text{При КПД} = 0,8 \quad R_{\phi} = 0,25 R_H. \rightarrow R_{\phi} = 0,25 \cdot 15 = 3,75 \text{ Ом}$$

$$R_{\phi} R_H C_1 / (R_{\phi} + R_H) = 3 \cdot 15 \cdot 3,46 / (3 + 15) = 8,65$$

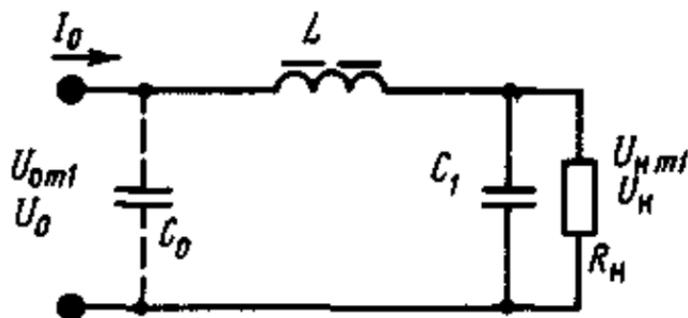


Рисунок 3 - схема Г-образного фильтра

Емкость конденсатора $C_1 = 16 I_0 q / (U_0 m)$, где I_0 — ток нагрузки, мА.

Для расчета емкости конденсатора необходимо определить основной параметр сглаживающих фильтров — коэффициент сглаживания q , определяемый как отношение коэффициента пульсации на входе фильтра к коэффициенту пульсации на его выходе, т. е. на нагрузке $q = K_{п.вх.} / K_{п.вых.}$

В нашем случае $K_{п.вх.} = K_{п1} = 0,13$. Для уменьшения переменной составляющей выпрямленного напряжения, т. е. для ослабления пульсации полагаем $K_{п.вых.} = 0,02$. Значение коэффициента m для мостовой схемы

$$m = 2.$$

Тогда:

$$q = K_{п.вх.} / K_{п.вых.} = 0,13 / 0,02 = 6,5$$

$$C_1 = 16 I_0 q / (U_0 m) = 16 \cdot 1 \cdot 6,5 / (15 \cdot 2) = 3,46 \text{ мкФ}$$

Из проведенного анализа можно сделать некоторые выводы о свойствах, достоинствах и недостатках электромагнитных преобразователей:

- электромагнитные преобразователи могут применяться для измерений в цепях как постоянного, так и переменного токов, так как направление отклонения подвижной части не зависит от направления тока в обмотке;

- точность электромагнитных преобразователей сравнительно невысокая вследствие влияния потерь в температуре окружающей среды и частоты измеряемых электрических величин;

- чувствительность электромагнитных преобразователей за исключением преобразователей с замкнутым магнитопроводом невысока, следовательно, собственное потребление мощности от источников преобразуемых сигналов у них довольно значительное;

- функция преобразования электромагнитных преобразователей по своему характеру является квадратичной, однако соответствующим выбором формы и местом расположения сердечника;

- электромагнитные преобразователи наиболее просты по своей конструкции, имеют низкую стоимость и надежны в работе;

- электромагнитные преобразователи способны выдерживать длительные электрические перегрузки, так как токоподводящими элементами у них являются медные проводники соответствующего сечения, а не упругие элементы;

- диапазон рабочих частот для электромагнитных преобразователей ограничен сверху частотами порядка нескольких десятков килогерц из-за возникновения большой частотной погрешности на высоких частотах вследствие влияния вихревых токов в сердечнике и других металлических деталей преобразователя.

Электромагнитные приборы находят широкое применение в практике электрических измерений главным образом в виде различных щитовых и лабораторных амперметров и вольтметров переменного тока. Кроме того, на базе логометрических преобразователей создаются фазометры, частотомеры и фарадометры.

Список литературы:

1. Ерохин, М.Н. Детали машин и основы конструирования: учебное пособие для вузов / М.Н. Ерохин, и др. - М: КолосС, 2008. - 462 с.

2. Любин, В.Н. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование: учебное пособие для вузов / В.Н. Любин. - Белгород: Изд-во БелГСХА, 2010. - 236 с.