

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ

В.А.Тулаганова, *кан.тех.наук. кафедры, Волоконно – оптические линии и системы измерения, Ташкентского университета информационных технологий;*

В.А.Газиева, *асс. кафедры, Волоконно – оптические линии и системы измерения, Ташкентского университета информационных технологий;*

А.А.Ашуров *асс. кафедры, Волоконно – оптические линии и системы измерения, Ташкентского университета информационных технологий;*

Электромагнитные вибровозбудители (ЭМВВ), резонансного действия как преобразователи электрической энергии в механическую вибрационного действия, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, в медицине и в быту. Простота в проектировании, производстве, надежность и долговечность в эксплуатации подняли их конкурентоспособность среди других типов вибровозбудителей.

Не смотря на эти преимущества, их энергические и весогабаритные показатели остаются низкими, которые непосредственно зависят от корректности расчета магнитной цепи и тяговых характеристик [1,2].

Целью настоящей работы является разработка математической модели ЭМВВ с учетом параметрических зависимостей магнитного потока в зазоре и индуктивности обмотки от периодически изменяющейся длины воздушного зазора.

В ЭМВВ мгновенное значение перемещения якоря, т.е. рабочего воздушного зазора определяется статическим зазором и вибрационным составляющим - периодической функцией движения якоря

$$\delta(t) = \delta_0 - x(t),$$

которая определяется из решения нелинейного дифференциального уравнения движения якоря [2].

Колебания якоря x ЭМВВ определяется из решения нелинейного дифференциального уравнения

$$d^2x/dt^2 + 2n(x) \cdot dx/dt + \omega_0^2(x) \cdot x = \frac{1}{m} F(t, x), \quad (1)$$

где $n(x)$ и $\omega_0(x)$ - коэффициент демпфирования и частота свободных колебаний якоря, пульсирующие с частотой функции движения якоря x ; m - масса якоря и рабочего органа (р.о.) вместе с массой технологической нагрузки; $F(t, x)$ - тяговое усилие, с которым якорь притягивается к сердечнику электромагнита и приводится в движение, определяется формулой Максвелла [3]

$$F(t, x) = \frac{\Phi_\delta^2(t, x)}{2\mu_0 S}; \quad (2)$$

где

$$\Phi_\delta(t, x) = W \cdot i \cdot \sum G(x), \quad (3)$$

- магнитный поток в воздушном зазоре; i - мгновенное значение тока в обмотке с числом витков W ; $G_\delta(x)$ - проводимость переменного воздушного зазора.

Решение уравнения (1) при нулевых начальных условиях с учетом нелинейностей и применением метода Рунге-Кутты (после завершения переходного режима ЭМВВ) будет в виде гармонического ряда, из которого принимаем первую гармоническую считая, что высшие гармонические вдали от своей резонансной частоты (кратной первой гармонике) ничтожно малы (с учетом фильтрующих свойств резонансных ЭМВВ) [4].

В исследовании [3] считают воздушный зазор значительно меньшим, чем стороны полюсов электромагнита ($a, b \geq 20 \cdot \delta$) и магнитная проводимость фиксированного (постоянного) рабочего воздушного зазора определяется упрощенным выражением

$$G = \mu_0 S_\delta / \delta, \quad (4)$$

где μ_0 - магнитная постоянная; $S_\delta = a \cdot b$ - площадь сечения полюсов магнитопровода; a и b - стороны полюсов; рабочий воздушный зазор δ принимается постоянной величиной.

Погрешности в определении магнитной проводимости рабочего воздушного зазора и тяговых характеристик ЭМВВ появились из-за того, что не учитываются силовые магнитные потоки выпучивания (рис.1), имеющие различные формы и размеры при различных мгновенных значениях δ , для которых не удаётся получить строгие математические выражения их магнитной проводимости.

Улучшение эксплуатационных показателей ЭМВВ и увеличение размаха колебаний рабочего органа привели к тому, что соотношения сторон полюсов электромагнита и воздушного зазора стали приниматься значительно меньшими, чем в выражении (4). Это, свою очередь, привело к еще большему увеличению магнитных потоков выпучивания, следовательно, определение магнитной проводимости только по выражению (4) приводит к еще более значительным погрешностям.

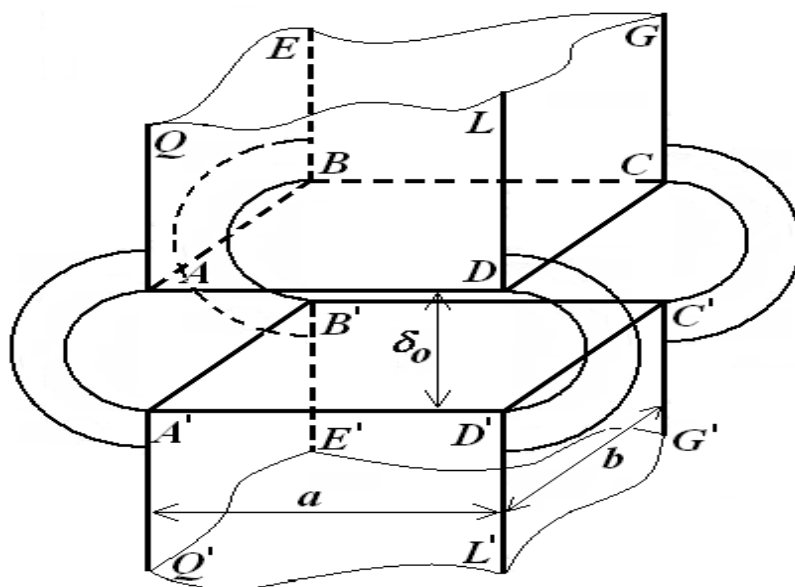


Рис.2.7 Картина магнитного потока выпучивания в рабочем воздушном зазоре

В предлагаемой математической модели ЭМВВ, мгновенное значение рассматриваемого пространства воздушного зазора разбивается на участки (рис.2.8), для которых с максимальным приближением удаётся определить их проводимости, т.е. сложная картинка выпучивания магнитных силовых линий воздушного зазора разбивается на элементы, по возможности, на наиболее простые геометрические тела. Для каждого из таких путей проводимость определяется как частное от деления средней величины поперечного сечения S_{cp} на пути потока по рассматриваемому элементу на длину средней линии индукции ℓ_{cp}

$$G_{эл}(t) = \mu_0 S_{эл} / \ell_{эл}. \quad (2.16)$$

Если из-за сложности полученной фигуры возникают трудности определения средних значений сечения, проводимость элементарного пути определим по формуле

$$G_{эл}(t) = \mu_0 V_{эл} / \ell_{эл}^2, \quad (2.17)$$

где $V_{эл}$ – объем фигуры, образованный элементарным путем.

Для большинства конструкций ЭМВВ в качестве элементарных вероятных путей потока предлагается несколько стандартных геометрических фигур, формулы для которых могут быть выведены на основании рассмотрения картины поля между двумя полюсами (рис.2.7 и рис.2.4). Для этого необходимо принять во внимание следующие участки магнитных силовых линий:

а) между гранями $ABCD$ и $A'B'C'D'$ (рис.2.7) представлены в виде прямой призмы. Тогда проводимость $G_1(t)$ такого участка будет определяться по (2.15), где $S_{\delta} = AB \cdot BC$;

б) между ребрами AB и $A'B'$; BC и $B'C'$; CD и $C'D'$; DA и $D'A'$ (рис.2.7) представлены в виде полуцилиндрических объёмов (рис.2.8,а). Магнитные линии входят в одно ребро и выходят из другого. Если крайними магнитными линиями являются диаметры цилиндров δ и полукруг $\pi \cdot \delta / 2$, то длина средних магнитных линий могут быть приняты равной $1,22 \cdot \delta$, тогда проводимости будут определены по (2.17)

$$G_2(t) = 2,57 \mu_0 \cdot \ell_{\delta} \quad (2.18)$$

где $\ell_{\delta} = a$ (рис.2.7), для ребер AB и $A'B'$; CD и $C'D'$, а также $\ell_{\delta} = b$ для ребер BC и $B'C'$; DA и $D'A'$;

в) между боковыми гранями, лежащими на одной плоскости $ABEQ$ и

$A'B'E'Q'$, $ADLQ$ и $A'D'L'Q'$; $DCFL$ и $D'C'F'L'$; $CFEB$ и $C'F'E'B'$ (рис.2.7) принимаются за полукольца (рис.2.8,б). Магнитные силовые линии в данном случае являются концентрическими окружностями, длину средней магнитной линии определим, исходя из того, что она является полуокружностью, радиус

которой равен $(\delta + k)/2$. Сечение одинаково по всему объему, тогда их проводимости будут определены по (рис.2.8)

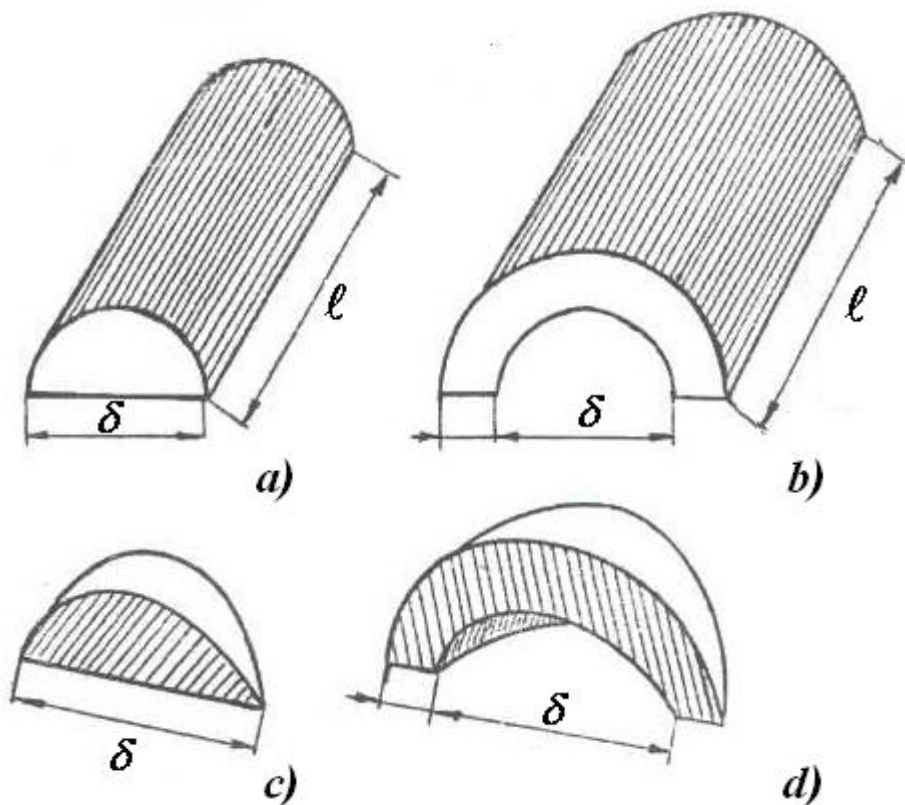


Рис.2.8 Наиболее простые геометрические тела магнитных силовых линий (потоков выпучивания) воздушного зазора

$$G_3(t) = 2\mu_0 \cdot \ell_\delta / [\delta / k + 1], \quad (2.19)$$

где $\ell_\delta = a$ (рис.2.7), для граней $ADLQ$ и $CFEB$, а также $\ell_\delta = b$ для граней $ABEQ$ и $DCFL$;

г) между углами A и A' ; B и B' ; C и C' ; D и D' (рис.2.7) будут представлены сферическим квадрантом (рис.2.8,с). Поток входит в один угол и

выходит из другого (показано стрелкой). Средняя магнитная линия, найденная измерениями, равна $1,3\delta$. Определив объем четверти шара находим проводимости по (2.18)

$$G_4(t) = 0,077 \mu_0 \cdot \delta \quad (2.19)$$

д) пути между рёбрами, находящимися между соседними боковыми гранями и лежащими на одной прямой AQ и $A'Q'$, DL и $D'L'$ и т.д. (рис.2.7), представляют собой квадранты сферической оболочки (рис.2.8,d). Поток входит в одно ребро и выходит из другого. Из-за того, что имеется четверть полого шара, длины всех магнитных линий равны и представляют собой полуокружности, радиусы которых равны $(\delta + k) / 2$. Среднюю площадь определяем как максимальную площадь пути потока, деленную пополам. Тогда проводимости будут по (2.18)

$$G_5(t) = 0,25 \mu_0 \cdot h \quad (2.20)$$

Полную проводимость воздушного зазора находим суммированием полученных элементарных проводимостей

$$G(t, x) = \sum G'_i \quad (2.21)$$

где G'_i - сумма проводимостей одноименных геометрических фигур ($i = 1, 2, 3, \dots$), с учётом их количества на одной паре полюсов и количества пар полюсов.

Таким образом, сущность предлагаемого метода заключается в том, что, для определения магнитной проводимости переменного во времени рабочего воздушного зазора данное пространство разбивается на ряд параллельных путей простой формы. В качестве таких вероятных путей потока принимаются пять элементарных объемов.

Данный метод прост, но в случае принятия допущения о постоянстве воздушного зазора δ он может привести к погрешности в десятки процентов [198]. Поэтому для периодически изменяющегося воздушного зазора, используя возможности современных вычислительных средств, принимаем для каждого мгновенного значения периодически изменяющегося воздушного зазора $\delta(t)$ новые значения геометрических размеров фигур и, следовательно, новые значения $G(x)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров Н.Х. Электропривод и автоматизация промышленных установок. Т.:Узбекистан,1984.-181 с.
2. Алимходжаев К.Т. Частотно-управляемые вибродвигатели переменного тока. Автореферат диссертации на соискание уч.степени д.т.н. Ташкент, 2004.
3. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. М.: Энергия. 1972.-242с.
4. Вибрации в технике. Справочник. В 6-ти томах. / Ред. совет: В.К.Чаломей (пред) М.: Машиностроение. 1981. т.5. Измерения и испытания. Под ред. М.Д. Генкина. 1981.-436с.
5. Кобус А., Тушинский Я. Датчики Холла и магниторезисторы/Перевод с польского В.И.Тихонова и К.Б. Македонской. Под ред. О.К. Хомерин. М.: Энергия. 1971.-352с.