

конструкции, которые выбираются для управления переменным током в адаптивных системах управления энергоснабжением.

Список литературы

1. Таев И. С. Электрические аппараты управления. М. : Высшая школа, 1984. 446 с.

УДК 629.78.05

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

*И. Х. Сиддиков, Х. А. Саттаров, М. М. Максудов, И. М. Хонтураев,
Г. С. Рахмонова, М. М. Хайдарбекова, Н. Ю. Амурова, Г. Э. Саидова*

Ташкентский университет информационных технологий

им. Мухаммада ал-Хоразми

(Республика Узбекистан)

Динамическая характеристика преобразователей сигнала для контроля и управления представляет определенный теоретический и практический интерес как с точки зрения использования преобразователей в системе контроля электрических параметров и величин, так и для оценки метрологических характеристик, а преобразование несимметрии первичного трехфазного тока в электрический сигнал (выходное напряжение).

При исследовании динамических характеристик, первичный ток протекая по первичной обмотке первичного измерительного преобразователя, изменяются во времени. Так как их взаимосвязь во многом определяется кривой намагничивания материала магнитопровода, имеющей при насыщении выраженный нелинейный характер, то при синусоидальном изменении напряжения на первичной обмотке характерные для электромагнитной цепи преобразования другие величины оказываются несинусоидальными, содержащими высшие гармонические составляющие. Однако если режим работы магнитной цепи преобразования не достигает насыщенного состояния, что в ряде случаев целесообразно осуществлять для уменьшения потерь на вихревые токи и перемагничивание (они пропорциональны квадрату индукции), то зависимость между индукцией B и напряженностью H можно приближенно считать линейной. Тогда допустимо оперировать с основными величинами, определяющими процессы и характеристики электромагнитной цепи преобразования, как с синусоидальными.

В отличие от электромагнитной цепи преобразования постоянного тока первичная обмотка электромагнитной цепи преобразования переменного тока обладает как активным, так и индуктивным электрическими сопротивлениями.

Последнее в простейшем случае равно:

$$x = \omega L = 2\pi f \omega^2 G_M, \quad (1)$$

где: f – частота тока; ω – число витков; G_M – магнитная проводимость электромагнита.

Если магнитное сопротивление стали магнитопровода R_{CT} значительно меньше сопротивления воздушный зазоров R_δ , то без учета проводимости рассеяния результирующая проводимость электромагнитной цепи преобразования определяется воздушным зазором и равна:

$$G_M = \frac{1}{(R_{CT} + R_\delta)} \approx \frac{1}{R_\delta} = G_\delta \quad (2)$$

Для G_δ , зазора δ_Σ электромагнитной цепи преобразования получим:

$$x = 2\pi f \omega^2 \mu_0 \frac{S}{\delta_\Sigma}, \quad (3)$$

где S – площадь полюса.

Ток во вторичной обмотке равен:

$$I_\sim = \frac{U_\sim}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \frac{U_\sim}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi f \mu_0 \omega^2 S}{\delta_\Sigma}\right)^2}}, \quad (4)$$

где: $U_\sim$ – напряжение на вторичной обмотке; R – активное электрического сопротивление вторичной обмотки.

Если $R = 0$, то ток равен:

$$I_\sim = \frac{U_\sim \delta_\Sigma}{2\pi f \mu_0 \omega^2 S}, \quad (5)$$

Из следует, что при неизменном действующем значении напряжения на вторичной обмотке ток в ней зависит от воздушного зазора электромагнитной цепи преобразования (в отличие от электромагнитной цепи постоянного тока). Это вызвано влиянием зазора на индуктивно электрическое сопротивление электромагнитной цепи преобразования.

При подаче напряжение на первичную обмотку электромагнитной цепи преобразования через нее протекает значительный пусковой ток I_n из-за большого начального воздушного зазора δ_0 . Рост тока при увеличении воздушного зазора δ не может не отразиться на характеристике электромагнитной цепи преобразования переменного тока. Если пренебречь активным электрическим сопротивлением первичной обмотки и падением напряжения на нем, то можно считать, что приложенное к первичной обмотке напряжение полностью уравнивается противо э.д.с. Если известен поток Φ_m который может быть определен, например, по заданной характеристикой распределения, то необходимое число витков вторичной обмотки электромагнитной цепи преобразования равно:

$$\omega = \frac{U_\sim}{4.44 f \Phi_m}. \quad (6)$$

На рассматриваемых условиях магнитный поток Φ_m зависит от воздушного зазора электромагнитной цепи распределения. Если бы весь этот поток замыкался через рабочий воздушный зазор, то создаваемая им электромагнитной поток тоже зависела бы от величины воздушного зазора. В

действительности этого нет. Изменение воздушного зазора δ и его магнитного сопротивления приводит к перераспределению суммарного потока на рассеяние Φ_σ и рабочий зазор Φ_δ , так как магнитное сопротивление для потоков рассеяния остается неизменным. Чем больше рабочий зазор δ и его магнитное сопротивление, тем большая часть магнитного потока ответвляется в рассеяние, а рабочий поток Φ_δ и выходной сигнал уменьшается.

Кроме того, активное сопротивление первичной и вторичной обмоток реальной электромагнитной цепи преобразования не равно нулю. При значительном увеличении зазора δ индуктивная слагающая сопротивления катушки может оказаться малой в сравнении с R . Тогда ток и м.д.с. катушки не будет зависеть от зазора, где устанавливается чувствительный элемент (вторичная обмотка). В соответствии с законом Ома для магнитной цепи увеличение зазора и его магнитного сопротивления вызовет снижение потока и создаваемой им электромагнитного потока.

Вследствие указанных факторов электромагнитный поток в электромагнитах переменного тока (например, среднее ее значение за полупериод) при постоянном действующем значении напряжения на катушке снижается с увеличением рабочего зазора δ и характеристика $F_{эм}(\delta)$ имеет подающий вид. Однако в сопоставляемых условиях степень этого снижения меньше, чем для электромагнитов постоянного тока.

Чтобы уменьшить потери на вихревые токи и гистерезис, магнитопроводы электромагнитов переменного тока делают шихтованными. Вихревые токи, наводимые в стальном магнитопроводе, сравнимы с токами, наведенными магнитным потоком в короткозамкнутом витке, охватывающем магнитопровод.

Для реактивного магнитного сопротивления согласно цепи преобразования сигнала имеем:

$$X'_M = \frac{\omega \omega_{к.з}^2}{R_{к.з}}; \quad (7)$$

$$X''_M = \frac{2P_{cm}}{\omega B_m^2 S}, \quad (8)$$

где: S – сечение магнитопровода; P_{cm} – мощность потерь в стали; B_m – амплитудное значение индукции; ω – угловая частота тока.

Потери в стали на вихревые токи и перемагничивание P_{cm} определяются как произведение объема стали на удельные потери P_0 , которые равны:

$$P_0 = K \left[K_B \left(\frac{f}{100} \right)^2 + K_F \frac{f}{100} \right] B_m^2 \gamma_c, \quad (9)$$

где: γ_c – плотность стали; K – постоянный коэффициент; K_B и K_F – коэффициенты потерь на вихревые токи и гистерезис.

Для построения векторной диаграммы электромагнитной цепи преобразования переменного тока отложим по горизонтали вектор магнитного потока Φ . вектор э.д.с. E , наводимой им в обмотке, отстает по фазе на угол 90° . Вектор падения магнитного потенциала на активном магнитном со-

противлении (Φ_{RM}) совпадает по направлению с вектором потока Φ , а вектор падения магнитного потенциал на реактивном магнитном сопротивлении (Φ_{XM}) перпендикулярен ему. В совокупности они определяют направление вектора м.д.с. обмотки $I\omega$ и вектора тока I в обмотке. Магнитный поток Φ отстает по фазе от м.д.с. обмотки на угол φ_m благодаря наличию реактивного магнитного сопротивления X_M .

Изменяющийся магнитный поток Φ наводит в обмотке э.д.с. E . Противо-э.д.с. ($-E$), взаимосвязанная с индуктивным электрическим сопротивлением обмотки электромагнитной цепи преобразования, совместно с падением напряжения на активном R_Σ электрическом сопротивлении обмотки IR_Σ определяет положение на диаграмме вектора напряжения U обмотки. Векторы IR_Σ и совпадают I по направлению. Ток I в обмотке отстает по фазе на угол φ_Σ от напряжения U .

При синусоидальном потоке в воздушном зазоре $\Phi_\delta = \Phi_m \sin \omega t$ магнитодвижущая сила равна:

$$F_M = \frac{\Phi_m}{\mu_0 S} \sin \omega t, \quad (10)$$

где: Φ_m – поток, Вб; S – площадь, м²; $\mu_0 = 1,25 \cdot 10^{-6}$ Г/м.

Проведенной рассмотрение показывает, что в электромагнитах переменного тока в отличие от обычных электромагнитов постоянного тока надо применять меры для устранения вибрации якоря. Для уменьшения потерь на вихревые токи в них обычно используются шихтованные магнитопроводы. При включении через катушку электромагнита переменного тока протекают повышенные пусковые токи, это увеличивает потребляемую реактивную мощность и приводит к увеличению расхода меди на обмотку электромагнита. Из (11) следует, что средняя электромагнитная сила при переменном токе равна:

$$F_{\Sigma, cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Phi_M^2}{2\mu_0 S} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{B_M^2 S}{2\mu_0} \right), \quad (11)$$

где: B_M – амплитудное значение индукции.

Таким образом, при заданной индукции B_M , которая обычно не должна превышать индукцию насыщения B_s , и заданной площади сечения полюсов S значение $F_{\Sigma, cp}$ при переменном токе оказывается вдвое меньше магнитного потока, развиваемой электромагнитом постоянного тока. Поэтому для получения одой и той же средней силы сечение и масса стали в электромагните переменного тока должны быть по крайней мере вдвое больше, чем в электромагнитах постоянного тока. Эти особенности не являются определяющим, однако, препятствием для широкого применения электромагнитов переменного тока. Во многим это объясняется тем, что источники питания и распределительные сети переменного тока широкого распространены, в то время как источники и сети постоянного тока встречаются гораздо реже.

Для подробного проведения исследования, рассмотрим процесс включения первичной обмотки – токопровода с током $i_{\Sigma \text{ вх } A}$ на источник

электроэнергии. На основе конструкции преобразователей управления гибридными источниками, расположения первичных обмоток, формы магнитопровода и числа витков и параметров чувствительного элемента – вторичной обмотки составляем уравнения выходных напряжений контуров:

$$u_{\text{эвых}}(t) = -R_{\text{э пно}} i_{\text{эвыха}}(t) - L_{\text{э пно}} di_{\text{эвыха}}(t)/dt \quad (12)$$

где: $R_{\text{э пно}}$, $L_{\text{э пно}}$ – активные сопротивления и индуктивность измерительной обмотки преобразователей, $W_{\text{пно}}$ – числа витков, $i_{\text{эвых}}(t)$ – ток во вторичной измерительной обмотке.

Для исследования динамической характеристики преобразователей, представляем на основе соответствующих магнитного потока Φ :

$$d\Phi / dt + R_{\text{э I}} \Phi / L_{\text{э I}} = (U_{\text{мА}} / W_{\text{I}}) \sin(\omega t + \psi_{\text{I}}), \quad (13)$$

где: W_{I} – числа витков вторичной – измерительной обмотки.

Эти уравнения решаются при условии постоянства параметров: электрического сопротивления $R_{\text{э II}}$ и индуктивности $L_{\text{э II}}$ при $t = 0$, где $\Phi_{\text{ост}}$ – остаточный магнитный поток и $\omega = 2\pi f$ – угловая частота.

Относительно магнитного потока цепи преобразования имеем уравнение:

$$\Phi = \Phi_{\text{пр}} + \Phi_{\text{св}} = -\Phi \cos(\omega t + \psi_{\text{I}}) + (\Phi_{\text{м}} \cos(\psi_{\text{I}}) \pm \Phi_{\text{ост}}) e^{-(R_{\text{I}} t / L_{\text{I}})} \quad (14)$$

При $R_{\text{I}} = 0$ максимальные значения магнитных потоков равны:

$$\Phi_{\text{макс}} = U_{\text{м}} / (W_{\text{I}} \omega), \quad (15)$$

Выражения для определения магнитных потоков можно записать:

$$\Phi = \Phi_{\text{макс}} [\cos \psi_{\text{I}} e^{-(R_{\text{I}} t / L_{\text{I}})} - \cos(\omega t + \psi_{\text{I}})] \pm \Phi_{\text{ост}} e^{-(R_{\text{I}} t / L_{\text{I}})} \quad (16)$$

При условиях: $\psi_{\text{I}} = \pi / 2$ и $\Phi_{\text{ост}} = \Phi_{\text{макс}} = 0$ согласно выведенной системы уравнений магнитный поток при включении преобразуемых токов не будут отличаться от установившегося:

$$\Phi = \Phi_{\text{макс}} \sin(\omega t), \quad (17)$$

Наибольшие броски магнитных потоков, значительно превышающие амплитудные значения установившихся потоков, наблюдаются при условиях включения преобразователя, когда $\psi = 0$ и $\Phi_{\text{ост}}$ противоположно по знаку мгновенным значениям потоков установившихся состоянии $\Phi_{\text{пр}}$.

Тогда:

$$\Phi = \Phi_{\text{макс}} [e^{-(R_{\text{I}} t / L_{\text{I}})} - \cos(\omega t)] \pm \Phi_{\text{ост}} e^{-(R_{\text{I}} t / L_{\text{I}})}, \quad (18)$$

Эти превышения мгновенных значений магнитного потока в переходном режиме при включении электрических нагрузок, токи которых протекают через первичные обмотки преобразователей приводят к появлению бросков намагничивающего тока, который могут во много раз превысить нормальные токи протекающие через токопроводы – первичные обмотки преобразователей. Наличие активного сопротивления приводит к затуханию высокочастотных колебаний и кривая тока принимает установившийся синусоидальный характер с опережающим сдвигом ϕ по фазам по отношению к напряжению $u(t)$. Если бы электрическая сеть была без индуктивности ($L_{\text{э I}} = 0$), то наблюдалась бы большой начальный бросок тока, начиная с которого ток постепенно приближался бы к установившемуся синусоидальному значению.

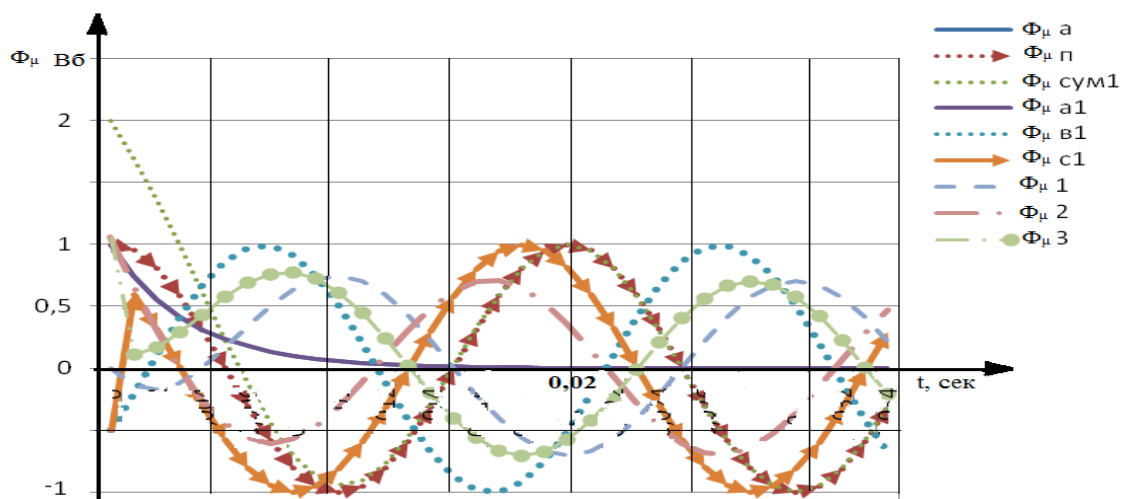


Рис. 1. Изменение магнитных потоков в магнитной системе преобразования преобразователей при протекании токов по токопроводам систем электроснабжения объекта телекоммуникации

На основе вышеприведенной формулы, описывающий динамический режим электрической сети и преобразователя сигнала о первичном токе объекта телекоммуникации, определяем зависимость – график изменения магнитного потока во времени в магнитной цепи преобразования преобразователя. На основе графика изменения магнитного потока (рис. 1) можно установить, что установившийся режим в магнитной системе преобразования преобразователей достигается через 0,03–0,04 с. после включения электрической нагрузки к токопроводу, где первичные обмотки проходят между стержнями магнитпровода.

Список литературы

1. Справочник по электрическим машинам / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Клокова. М. : Энергоатомиздат, 1988. Т. 1. 456 с.

УДК 629.78.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ВЕЛИЧИНАМИ

*И. Х. Сиддиков, Х. Э. Хужаматов, К. М. Назматдинов, Ф. И. Ахунوف,
М. А. Анарбаев, Г. А. Саидова, Н. Н. Мирзоев, М. Р. Агзамова
Ташкентский университет информационных технологий
им. Мухаммада ал-Хоразми
(Республика Узбекистан)*

Известные методы моделирования и расчета цепей преобразования электромагнитных преобразователей тока и напряжения, такие как, при-