

ПРИНЦИП МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЭДС ОТКЛЮЧЕННОЙ ОБМОТКИ СТАТОРА ДВУХСКОРОСТНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Дубинка Е.С., студент; Маренич К.Н., проф., д.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Двухскоростной асинхронный двигатель (АД) относится к базовым машинам электропривода скребковых конвейеров. Его применение позволяет осуществлять пуск конвейера с кратковременной ступенью пониженной скорости, а также реализовать доставочные операции на пониженной скорости.

Специфика эксплуатации этого двигателя в качестве базового элемента электропривода шахтных скребковых конвейеров дает основание считать его функциональной составляющей шахтного участкового электротехнического комплекса. Поэтому на него распространяются все требования в отношении электробезопасности эксплуатации и, прежде всего, положение ГОСТ 22929-78 [1]. В то же время, опыт эксплуатации двухскоростного АД позволил выявить наличие ЭДС в отключенных обмотках статора, что при отсутствии контроля цепи утечки в его силовых присоединениях создает потенциальную опасность электропоражения и требует дополнительных специальных исследований.

Предварительный анализ осциллограмм ЭДС отключенной обмотки статора работающего АД позволяет сделать выводы о существенном отличии ее по форме и частоте от соответствующих параметров номинального напряжения сети, о наличии совокупности высокочастотных и низкочастотных составляющих, что вносит свою специфику в процесс формирования тока и количества электричества в цепи утечки на землю [2].

Логично предположить, что процесс формирования ЭДС отключенной обмотки статора в значительной степени определяется конструктивными особенностями и динамическими характеристиками электромагнитной системы «статор – ротор» асинхронного двигателя.

Для выяснения функциональных возможностей аппаратов защиты от утечек тока на землю, в отношении выявления электрических параметров в присоединениях отключенной обмотки статора, научную и практическую актуальность представляет задача моделирования ЭДС указанной обмотки с учетом реальных параметров двигателя и питающей электрической сети (одна из статорных обмоток в этом случае включена в сеть).

В связи с этим, в качестве исходных данных модели следует учесть форму и геометрию пазов магнитопровода статора, особенности закладки и распределения в этих пазах статорных обмоток, величину воздушного зазора между магнитопроводом статора и ротора, форму и геометрию магнитопровода ротора и угловую скорость его вращения, как параметр, устанавливающий частоту перекрытия пазов статора магнитопроводящим материалом фрагментов магнитной системы ротора.

В обобщенной форме процессы, происходящие в двухскоростном двигателе, могут быть представлены моделью однофазного трансформатора при поочередном перекрытии его магнитной системы магнитопроводом, при этом частота перекрытий может меняться, что соответствует процессам при работе двигателя.

Рассмотрим простейший случай – процессы при поочередном перекрытии П-образного магнитопровода однофазного трансформатора магнитопроводящей средой. Схема замещения магнитной цепи трансформатора представлена на рисунке 1, где обозначено: F_1 , F_2 – магнитодвижущие силы первичной и вторичной обмоток соответственно; Φ_1 , Φ_2 – магнитные потоки; Φ_s – магнитный поток рассеяния; U_{M1} , U_{M2} – падение магнитного напряжения на первичном и вторичном стержнях магнитопровода; U_{zaz1} – магнитное напряжение воздушного зазора между первичным стержнем и ярмом, U_{zaz2} – магнитное

напряжение на воздушном зазоре между вторичным стержнем и ярмом; U_{z1} , U_{z2} - магнитное напряжение на левой и правой половинах ярма.

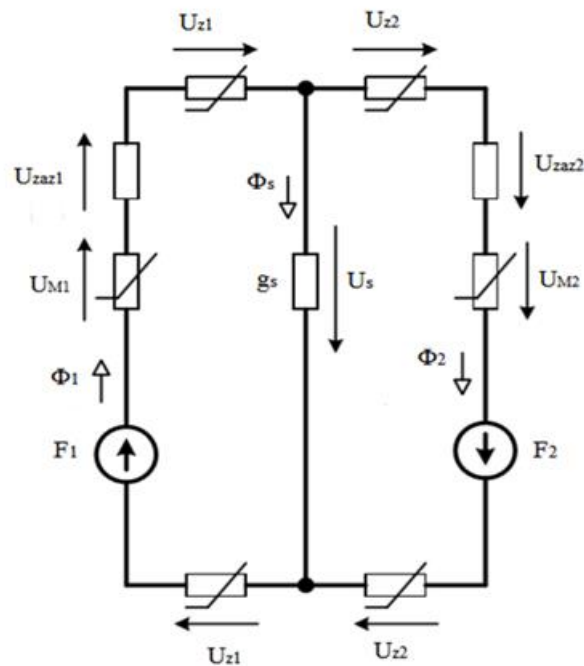


Рисунок 1 - Схема замещения магнитной цепи трансформатора

Составим математическое описание электромагнитной системы трансформатора [3]:
Магнитодвижущая сила первичной обмотки:

$$F_1 = U_{zaz1} + 2 \cdot U_{z1} + U_{M1} + U_s$$

Магнитодвижущая сила вторичной обмотки:

$$F_2 = U_{zaz2} + 2 \cdot U_{z2} + U_{M2} - U_s$$

Магнитный поток в цепи:

$$\Phi_s = \Phi_1 - \Phi_2$$

На всех участках магнитопровода напряженность магнитного поля H связана с магнитной индукцией B соотношением $H = f(B)$, составляемым по таблице или графику намагничивания. В данной модели она задана таблично.

Структура компьютерной модели электромагнитной системы трансформатора представлена на рисунке 2. Работа схемы представленной на рисунке 2 заключается в следующем: на вход моделируемого трансформатора с блока e1 подается синусоидальная ЭДС с заданной амплитудой и частотой. Блок Sub1 по второму закону Кирхгофа вычисляет индуктивную составляющую напряжения на зажимах первичной обмотки. Интегратор Integ вычисляет магнитное потокосцепление первичной обмотки согласно [4]:

$$\psi = \oint E dl$$

Магнитное потокосцепление поступает на пропорциональное звено с коэффициентом передачи $1/w_1$, вычисляющее магнитный поток в стержне с первичной обмоткой:

$$\Phi_1 = \frac{\psi}{w_1},$$

где w_1 – количество витков первичной обмотки.

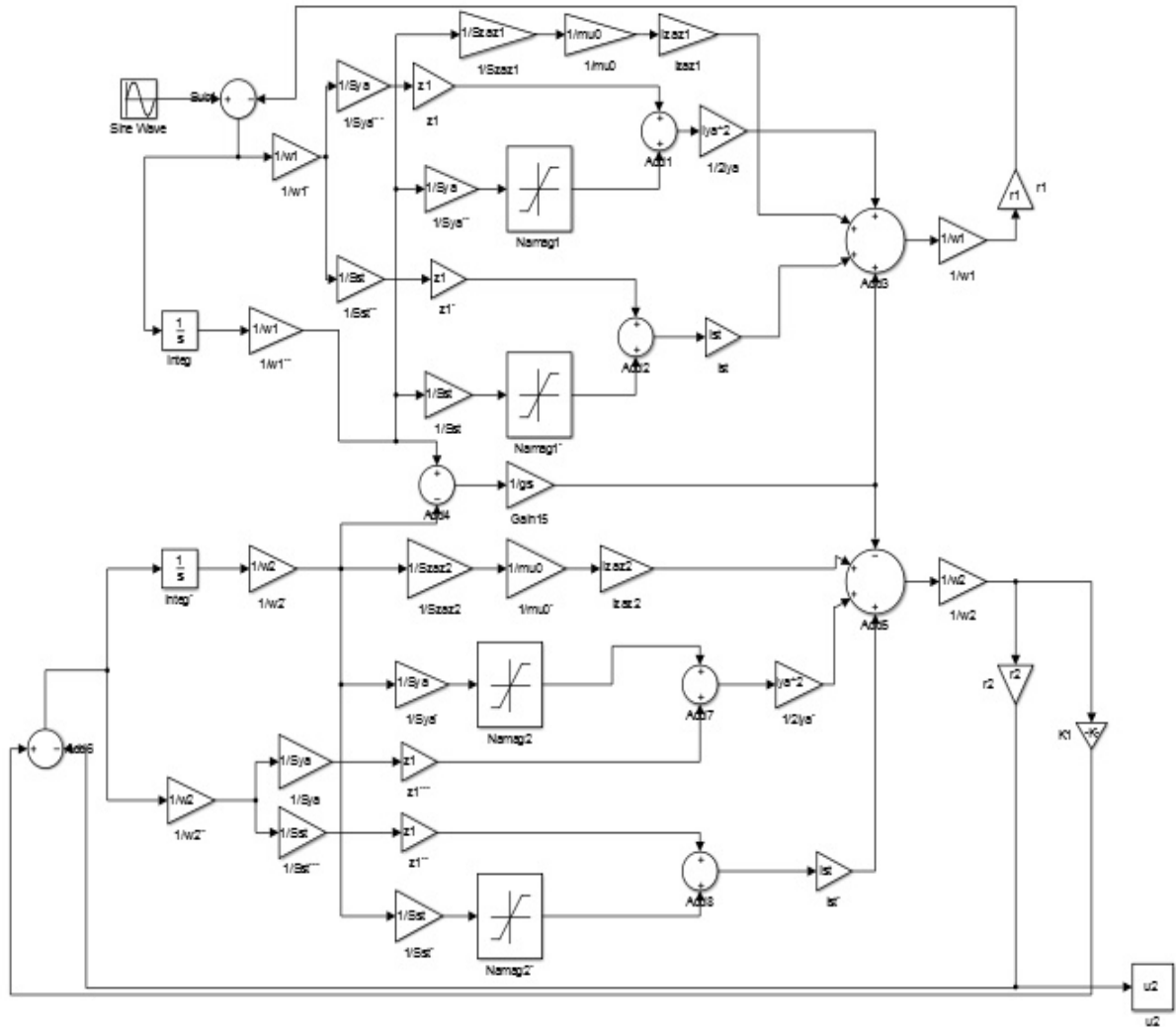


Рисунок 2 - Структура компьютерной модели электромагнитной системы трансформатора

Величина магнитного потока поступает на три пропорциональных звена: блок 1/Sst - вычисляет магнитную индукцию в первичном стержне; блок 1/Sya - вычисляет магнитную индукцию в левой половине яра магнитопровода; блок 1/Ssz1 - вычисляет магнитную индукцию в зазоре между первичным стержнем и яром:

$$B_1 = \frac{\Phi}{\Delta S}$$

Напряжённость магнитного поля вычисляется исходя из:

$$H = \frac{B}{\mu_0},$$

где $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – абсолютная магнитная проницаемость вакуума.

Сигнал индуктивной составляющей напряжения с сумматора Sub1 подаётся на пропорциональное звено с коэффициентом передачи 1/w1. Откуда через два пропорциональных звена 1/Sst и 1/Sya формирует скорость изменения магнитной индукции в первичном стержне и в левой половине яра. Оба эти сигнала подаются на пропорциональные звенья с коэффициентом передачи z1, на их выходе формируются динамические составляющие напряжённости магнитного поля в первичном стержне и в левой половине яра [5].

Сигналы магнитной индукции в первичном стержне и магнитной индукции в левой половине ярма подаются на статические звенья N_{mag1} и $N_{mag1'}$. На их выходе формируется статическая составляющая напряжённости магнитного поля в первичном стержне и в левой половине ярма соответственно. Сумматоры $Add1$ и $Add2$ складывают статическую и динамическую составляющие, и на их выходе формируется «полная» напряжённость магнитного поля в первичном стержне и в левой половине ярма.

Пропорциональное звено $1st$ формирует падение магнитного напряжения на первичном стержне магнитопровода и через пропорциональное звено $1/2l_{ya}$ – суммарное магнитное напряжение на левой половине нижнего и верхнего ярма магнитопровода.

Сумматор $Add4$ вычисляет магнитный поток рассеяния трансформатора, который подаётся на пропорциональное звено с коэффициентом передачи $1/g_s$, на его выходе формируется магнитное напряжение между узлами магнитной цепи. Сигналы, подающиеся на сумматор Add_{u1} , на выходе формируют МДС первичной обмотки. Через пропорциональное звено $1/w_1$ формируется ток первичной обмотки согласно:

$$I_1 = \frac{F_1}{w_1}$$

Сигнал тока I_1 подаётся на пропорциональное звено r_1 , на выходе которого формируется напряжение на первичной обмотке:

$$U_1 = I_1 \cdot r_1$$

Величина напряжения на первичной обмотке вместе с ЭДС e_1 подаётся на сумматор $Sub1$.

Процессы во второй половине модели аналогичны.

На рисунках 3-4 показаны осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора.

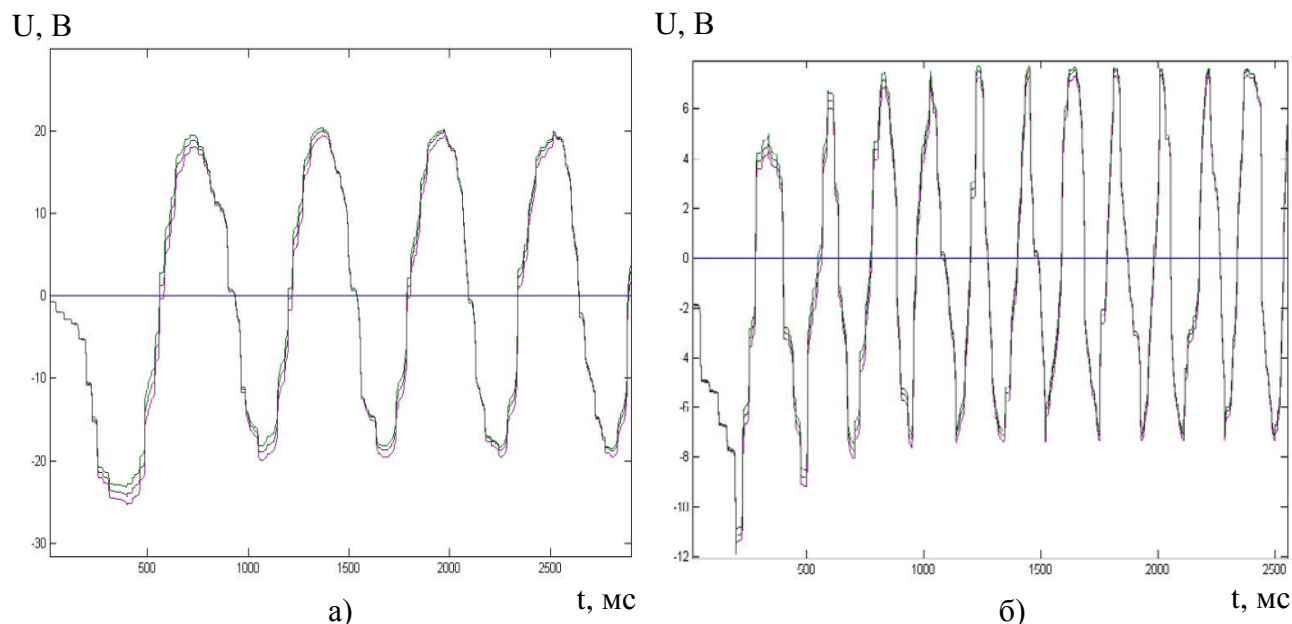


Рисунок 3 - Осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора при:

- а) амплитуде 100В, частоте 70π рад/с, $50 \times 25 \times 50$, $k=1$, $\Delta= 0.09$,
- б) амплитуде 100В, частоте 200π рад/с, $50 \times 25 \times 50$, $k=1$, $\Delta= 0.09$.

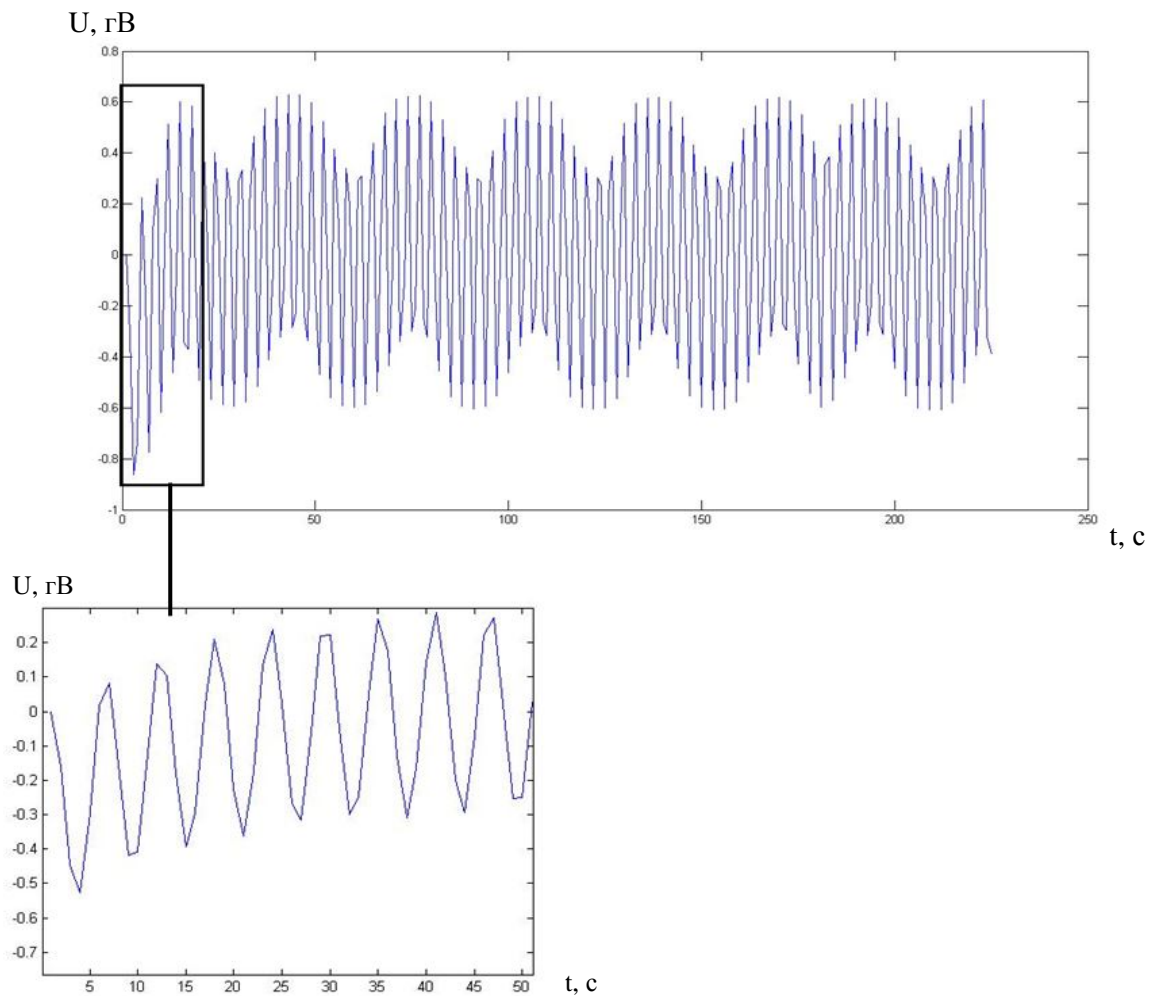


Рисунок 4 - Осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора при амплитуде 50В, частоте 100π рад/с, $25 \times 12 \times 25$, $k=1$, $\Delta= 0.1$

На основании исследования разработанной модели можно сделать вывод, что задание в частоте и очередности перекрытия воздушных зазоров магнитопроводящим материалом позволило получить формы ЭДС с искажениями близкими к реально существующим. Следовательно, данный подход может быть применен при исследовании уточненной модели двухскоростного асинхронного двигателя на основе представления его в виде совокупности трансформаторных компонентов.

Перечень ссылок

1. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затв. 25.07.2006 № 258/ Міністерство палива та енергетики України. Х. Індустрія. 2007. – 272 с.
2. Автоматичний захист електроустаткування шахт від аварійних станів і небезпек: навч. посіб. для вищ. навч. закл. / К.М. Маренич, І.В. Ковальова. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – 199 с.
3. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия»; 2001. – 463 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов вузов. Издание девятое, переработанное и дополненное. (Москва: Издательство «Высшая школа», 1996).
5. Шмелёв В.Е., Дьякова О.С. Учебно-исследовательское моделирование однофазного трансформатора с учётом насыщения магнитной цепи/ Материалы Всероссийской НК «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2009. – с. 688 – 691.