

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ОТ РЕЖИМА РАБОТЫ

**С.А. Хороших, магистрант; Г.С. Чекавский, к.т.н., доц.**

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

В настоящее время проблема энергосбережения имеет особую актуальность. Это связано с повышением цен на энергоносители и на электроэнергию вообще, а также с ограниченными возможностями повышения мощности энергогенерирующих установок.

В качестве объекта исследования рассматривается асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АД), который в настоящее время имеет широкое распространение в нерегулируемом и регулируемом электроприводе. Актуальной является задача учета потерь в АД для последующей разработки энергоэффективного алгоритма управления.

В общем случае суммарная мощность потерь в двигателе определяется [1]:

$$\Delta P_{\text{ДВ}} = \Delta P_{1\text{М}} + \Delta P_{2\text{М}} + \Delta P_{1\text{С}} + \Delta P_{2\text{С}} + \Delta P_{\text{ДОП}} + \Delta P_{\text{МЕХ}}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_{1\text{М}}$ ,  $\Delta P_{2\text{М}}$  - потери в меди соответственно статора, ротора АД (греющие потери);  $\Delta P_{1\text{С}}$ ,  $\Delta P_{2\text{С}}$  - потери в стали соответственно статора, ротора;  $\Delta P_{\text{ДОП}}$  - дополнительные потери;  $\Delta P_{\text{МЕХ}}$  - механические потери.

В ряде случаев потери в полупроводниковом преобразователе  $\Delta P_{\text{ПР}}$ , от которого питается асинхронный двигатель, могут оказаться существенными и требуется их учет. Тогда суммарные потери в электроприводе (ЭП) составляют:

$$\Delta P_{\text{ЭП}} = \Delta P_{\text{ПР}} + \Delta P_{\text{ДВ}}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_{\text{ПР}}$  - потери мощности в силовом преобразователе энергии;  $\Delta P_{\text{ЭП}}$  - суммарные потери мощности в ЭП.

Целью настоящей работы является разработка структурной схемы, учитывающей переменный характер параметров АД, вычисление с помощью модели основных видов электромагнитных потерь и анализ величины потерь в зависимости от режима работы АД. Традиционные математические модели АД, основанные на уравнениях Парка – Горева, являются непригодными для оценки с их помощью большинства видов электромагнитных потерь, так как не учитывают потери в стали, эффекты насыщения магнитной системы и вытеснения тока в стержнях ротора, что в общем случае (особенно при большой мощности ЭП) может приводить к существенным погрешностям при расчете характеристик.

Известные математические модели либо учитывают только часть этих эффектов, например насыщение цепи намагничивания, либо настолько сложны, что плохо подходят для применения в задачах анализа и синтеза динамических процессов в асинхронном ЭП, в частности, при частотном регулировании.

В работе в качестве базовой принята математическое описание, приведенное в [2], которое, отличаясь относительной простотой, позволяет достаточно полно учитывать все основные виды электромагнитных потерь в АД как в установившихся, так и в переходных режимах работы ЭП. При этом схема замещения

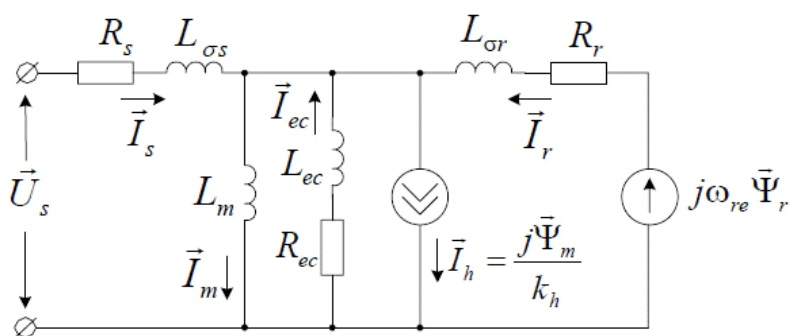


Рисунок 1 - Эквивалентная схема замещения АД.

АД представляется в виде, показанном на рис.1, где обозначено:  $R_s$ ,  $R_r = f(f_r)$  – активные сопротивления фаз статора и ротора;  $L_{s\sigma} = f(I_s)$ ,  $L_{r\sigma} = f(I_s, f_r)$  – индуктивности рассеяния статора и ротора;  $L_m = f(\psi_m)$  индук-

тивность взаимоиндукции;  $R_{ec}$ ,  $L_{ec}$  – эквивалентные активное сопротивление и индуктивность контура потерь в стали от вихревых токов; потери в стали от гистерезиса учитываются дополнительной составляющей  $\vec{I}_h = j\vec{\Psi}_m/k_h$ .

Разработка модели и исследование отдельных видов потерь в АД выполнены в среде программного пакета Matlab/Simulink на примере АД типа 4A250S4Y3 (75 кВт, 380 В, 135,8 А, 1500 об/мин.).

На рис.2 приведена схема модельного эксперимента для расчета основных видов электромагнитных потерь в АД на основе его описания в синхронной системе координат статора  $x, y$  при прямом пуске АД и при скалярном частотном регулировании по некоторому закону.

В качестве примера на рис.3 (все величины указаны в физических единицах) представлены графики зависимостей основных видов электромагнитных потерь в АД, полученные в результате исследования снижения энергопотребления при частотном пуске по закону  $U/f = \text{const}$ .

Значения энергии потерь, выделившейся за время пуска (за время достижения скоростью 5%-го отклонения от заданного номинального значения) указаны в функции заданной продолжительности разгона ( $t_p = 0 \dots 1$  с) и значения момента статического сопротивления на валу АД ( $M_c = 0 \dots M_n$ ), где  $M_n$  – номинальный момент двигателя. Вычисление значений суммарных потерь за время разгона выполнялось путем интегрирования соответствующей кривой потерь:

$$\Delta W = \int P(t) dt. \quad (3)$$

Графики позволяют оценить снижение величины потерь при переходе от прямого пуска ( $t_p=0$ ) к частотному при разной нагрузке двигателя. Также можно сделать вывод о том, что основную часть составляют электрические потери в обмотках статора и ротора (энергии  $\Delta W_s$ ,  $\Delta W_r$ ), а потери в стали (энергии потерь от вихревых токов и от гистерезиса –  $\Delta W_{ec}$ ,  $\Delta W_h$ ) относительно невелики.

Представленная модель и результаты исследований, выполненные на ее основе, могут быть использованы при разработке энергоэффективного алгоритма частотного управления АД.

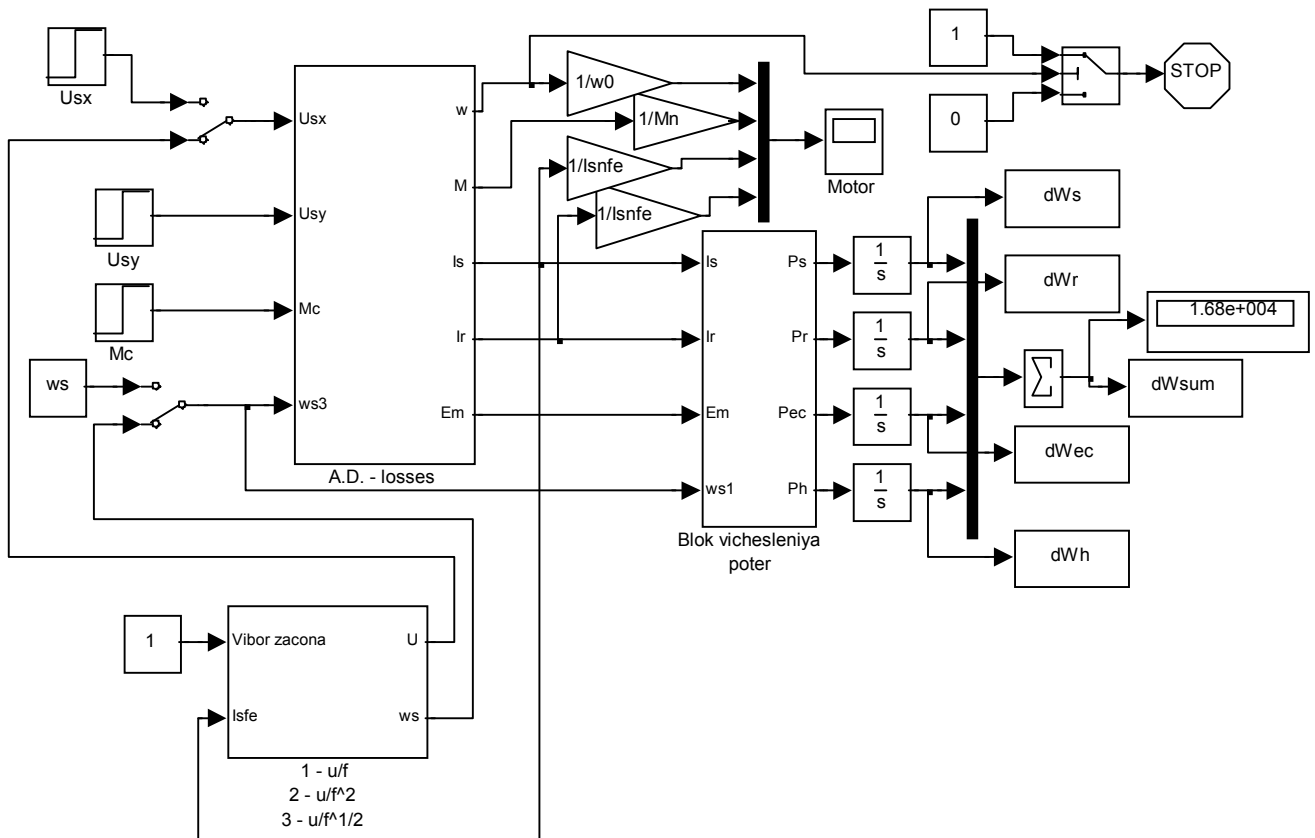


Рисунок 2 – Модель для расчета потерь в АД в разных режимах работы.

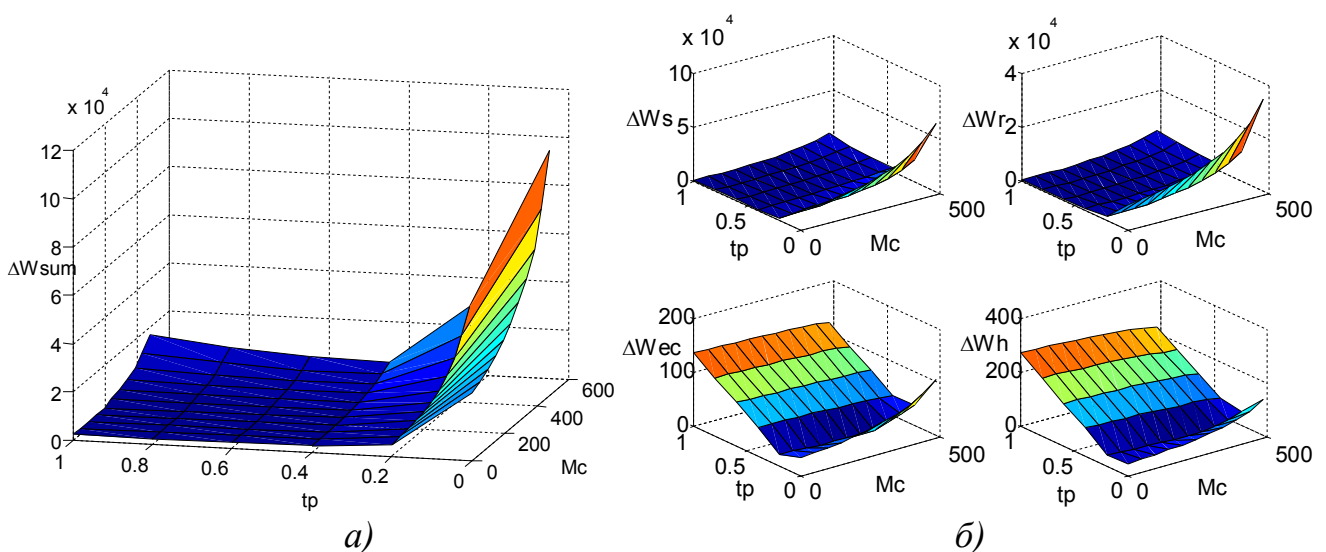


Рисунок 3 – Диаграммы суммарной энергии электромагнитных потерь в АД (а) и ее составляющих (б) при частотном пуске АД по закону  $U/f = \text{const}$ .

### Перечень ссылок

1. Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков ; под ред. И. Я. Браславского. - М. : ИЦ «Академия», 2004. - 256 с.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.