

- плопостачання [Текст] / Е. І. Дмитроченкова, С. І. Монах, С. М. Орлов // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2009. – Т. 5, № 3. – С. 107–112.
9. Герушин, А. Н. Энергоэкономическая эффективность утилизации теплоты [Текст] / А. Н. Герушин, А. П. Нищик // Пром. теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 2. – С. 82–86.
10. Kotler, V. R. Mini cogeneration stations: Foreign experience [Text] / V. R. Kotler // Thermal Engineering. – 2006. – Vol. 53, Issue 8. – P. 659–662. doi: 10.1134/s0040601506080143
11. Клименко, В. Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Ч. 1-3 [Текст]: справ. пос. / В. Н. Клименко, А. И. Мазур, П. П. Сабашук. – Киев, 2008. – 560 с.
12. Костюк, А. Г. Паровые и газовые турбины для электростанций [Текст] / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 556 с.
13. Баласаян, Г. А. Анализ эффективности интегрированных систем энергосбережения на базе установок когенерации малой мощности и возобновляемых источников энергии [Текст] / Г. А. Баласаян, А. С. Мазуренко // Теплова енергетика. – 2008. – № 1. – С. 7–10.
14. Басок, Б. И. Анализ когенерационных установок. Часть 2. Анализ энергетической эффективности [Текст] / Б. И. Басок, Д. А. Коломейко // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 4. – С. 79–83.
15. Герушин, А. Н. Разработка и внедрение эффективных теплоутилизаторов на основе теплопередающих элементов испарительно-конденсационного типа [Текст] / А. Н. Герушин, А. П. Нищик // Пром. теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 69–73.
16. Бундук, А. Н. Разработка алгоритма для расчета статика когенерационной энергетической установки [Текст] / А. Н. Бундук, Е. О. Улицкая // Одеса, Холодильна техніка і технологія. – 2013. – № 3 (143). – С. 34–40.

В даній статті наведені результати аналітичного дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором в залежності від завантаження на валу і температури навколишнього середовища. Було введено коефіцієнт втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні, який представляє собою відношення втрат активної потужності до активної потужності на валу електродвигуна

Ключові слова: електродвигун, втрати, питомі, завантаження, температура, оптимум, енергозбереження, ковзання, діаграма, ресурс

В данной статье представлены результаты аналитического исследования потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором в функции загрузки на валу и температуры окружающей среды. Был введен коэффициент потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе, представляющий собой отношение потерь активной мощности к активной мощности на валу электродвигателя

Ключевые слова: электродвигатель, потери, удельные, загрузка, температура, оптимум, энергосбережение, скольжение, диаграмма, ресурс

УДК: 621.313.37.004.17

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.39026

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

С. В. Овчаров

Кандидат технических наук, доцент*

А. А. Стребков

Аспирант*

E-mail: sashko@yandex.ru

*Кафедра теоретической и общей электротехники
Таврический государственный
агротехнологический университет
пр. Богдана Хмельницкого, 18,
г. Мелитополь, Украина, 72312

1. Введение

В Украине существует народно-хозяйственная проблема ресурсоэнергосбережения в силовом электрооборудовании (силовых трансформаторах, электродвигателях, силовых кабелях), используемом в агропромышленном комплексе.

Суть проблемы состоит в том, что Украина только до 40 % обеспечена собственными энергетическими

ресурсами, а эксплуатационная надежность силового электрооборудования, работающего в агропромышленном комплексе, остается низкой.

Поэтому необходимы научно-технические решения, как в сфере энергосбережения, так и повышения эксплуатационной надежности силового электрооборудования.

Потери электрической энергии в силовом электрооборудовании и расход его ресурса тесно связаны. Самым слабым элементом силового электрооборудования

является его изоляционная конструкция. Основным, негативно воздействующим на нее эксплуатационным, параметром является ее температура нагрева, которая в свою очередь является функцией потерь электрической энергии в нем.

Поэтому исследование потерь электрической энергии в силовом электрооборудовании является актуальным.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В данной работе поставлена научно-техническая задача оценки энергосбережения в силовом электрооборудовании на примере асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором как самым широко распространенным представителем силового оборудования.

Анализ работ в этом направлении показывает, что этот вопрос частично решен, например, для электродвигателя, работающего с перегрузкой взяв за основу показатели номинального режима его работы [1].

Проведено исследование энергосбережения в асинхронных электродвигателях с позиции конструктивного исполнения активных частей последнего [2], методов оптимизации потерь электрической энергии в асинхронном электродвигателе [3, 4], предложен новый метод минимизации потерь в асинхронном электродвигателе [5].

Однако остаются неисследованными до конца эксплуатационные режимы электродвигателя при других отклонениях от номинального режима работы: повышения напряжения, понижения напряжения, неполнофазного режима, ухудшения условий охлаждения, повышения температуры окружающей среды.

Рассмотрен процесс потерь активной мощности в магнитопроводе [6], предложена конструкция асинхронного электродвигателя с минимальными потерями [7], найден способ контроля больших температур [8], с целью расчета потерь активной мощности в электродвигателе предложена безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя [9], предложен метод снижения энергозатрат в мобильных агрегатах [10].

Однако не исследованными остаются потери активной энергии в электродвигателе с учетом роста сопротивления его обмоток в функции их температуры при нагревании, зависимости потерь от нагрузки электродвигателя на валу, в схеме замещения электродвигателя не учитываются потери активной мощности в магнитопроводе.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является уточнение потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с учетом всех указанных отклонений эксплуатационного режима его работы от номинального.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Исследование схемы замещения асинхронного электродвигателя с учетом потерь активной мощности в его магнитопроводе.

2. Исследование потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с учетом роста активного сопротивления обмоток при нагревании.

3. Исследование потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции мощности на валу.

4. Построение круговой диаграммы потерь мощности в асинхронном электродвигателе.

5. Исследование скольжения асинхронного электродвигателя в функции эксплуатационных параметров.

4. Исследование схемы замещения асинхронного электродвигателя с учетом потерь активной мощности в его магнитопроводе

Эксплуатационные режимы работы асинхронных электродвигателей отличаются от проектных в силу того, что в условиях агропромышленного комплекса электродвигатели подвергаются целому ряду эксплуатационных воздействий режимного характера. Эти воздействия приводят к изменению величины потребляемого электрического тока и величины напряжения питания по сравнению с номинальными значениями и, как следствие, к изменению потерь активной энергии в электродвигателе.

К таким эксплуатационным воздействиям режимного характера относятся:

- перегрузки на валу со стороны рабочих машин;
- понижение напряжения;
- повышение напряжения;
- асимметрия напряжения;
- неполнофазный режим питания;
- повышение температуры окружающей среды;
- ухудшение условий охлаждения.

Как известно, в асинхронном электродвигателе с короткозамкнутым ротором, как преобразователе электрической энергии в механическую, наблюдаются следующие физические явления, которые приводят к потерям активной мощности в отдельных элементах его конструкции:

- явление теплового действия электрического тока, который протекает по обмоткам статора;
- явление теплового действия электрического тока, который протекает по короткозамкнутой обмотке ротора;
- явление теплового действия вихревых токов, которые протекают в магнитопроводе электродвигателя;
- явление перемагничивания (гистерезиса) магнитопровода электродвигателя;
- явление трения в механической системе электродвигателя (в подшипниках, воздуха об ротор);
- другие явления, которые приводят к дополнительным потерям активной мощности.

Все указанные физические явления, за исключением явлений вихревых токов и перемагничивания, которые приводят к потере активной мощности, учитываются Г-образной схемой замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором [1] (рис. 1).

Активная мощность, которую потребляет асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, превращается в механическую $P_{мх}$, которая состоит из механической мощности P_2 , которая передается через вал рабочей машине, механической мощности P_m , которая передается в механическую систему электродвигателя, и активной мощности P_d , отнесенной условно к механической, которая учитывает дополнительные потери в электродвигателе, то есть

$$P_{мх} = P_2 + P_m + P_d. \quad (1)$$

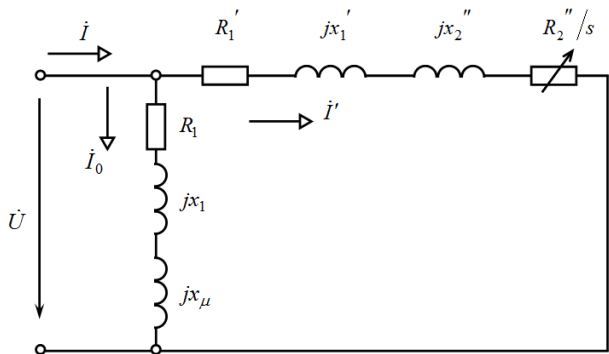


Рис. 1. Схема замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (для одной фазы)

Механическая мощность $P_{мх}$ может быть определена таким способом:

$$P_{мх} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2, \tag{2}$$

где R_2'' – приведенное активное сопротивление фазы ротора, Ом; I' – действующее значение силы электрического тока в цепи схемы замещения одной фазы электродвигателя, А; s – скольжение вращающегося магнитного поля электродвигателя.

Механическая мощность P_2 , которая передается рабочей машине, зависит от момента сопротивления рабочей машины M_c и угловой скорости вращения ее вала ω , то есть

$$P_2 = M_c \cdot \omega. \tag{3}$$

Механическая мощность P_T , которая передается в механическую систему электродвигателя, зависит от момента трения механической системы электродвигателя M_T и угловой скорости вращения ее вала ω , то есть

$$P_T = M_T \cdot \omega. \tag{4}$$

Дополнительные потери активной мощности в электродвигателе могут быть найдены таким способом:

$$P_d = P_{мх} - P_2 - P_T. \tag{5}$$

Другие суммарные потери активной мощности P_Σ могут быть найдены, используя схему замещения асинхронного электродвигателя:

$$P_\Sigma = 3(R_1' + R_2'') I'^2 + 3R_1 I_0^2, \tag{6}$$

где R_1', R_2'', R_1 – параметры схемы замещения одной фазы асинхронного электродвигателя, Ом; I', I_0 – действующие значения сил электрических токов в ветвях схемы замещения одной фазы электродвигателя, А.

Проверим справедливость изложенного выше на примере асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типоразмера 4A100S2Y3 со следующими каталожными данными:

$$P_{2H} = 4 \text{ кВт}; \eta_H = 0,865; \cos \phi_H = 0,89; R_1' = 1,509 \text{ Ом}; \\ x_1' = 1,537 \text{ Ом}; R_2'' = 1,006 \text{ Ом}; x_2'' = 2,767 \text{ Ом}; R_1 = 1,485 \text{ Ом};$$

$$x_1 = 1,513 \text{ Ом}; x_\mu = 95 \text{ Ом}; U_H = 220 \text{ В}; s_H = 0,033; \\ s_k = 0,28; s_m = 0,8; \mu_n = 2,0; \mu_k = 2,5; \mu_m = 1,6.$$

Анализ проведем для номинального режима.

Определяем механическую мощность электродвигателя в номинальном режиме $P_{мхн}$ таким способом [1]:

$$P_{мхн} = 3R_2'' \frac{1-s_H}{s_H} I_H'^2, \tag{7}$$

где s_H – номинальное скольжение магнитного поля электродвигателя относительно его ротора; I_H' – номинальная сила электрического тока в ветви схемы замещения асинхронного электродвигателя, А.

Силу электрического тока находим, пользуясь схемой замещения асинхронного электродвигателя:

$$I_H' = \frac{U_H}{\sqrt{(R_1' + R_2''/s_H)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}, \tag{8}$$

где U_H – номинальное фазное напряжение электродвигателя, В.

Подставив в (7) и (8) значение параметров и физических величин, находим:

$$P_{мхн} = 4112 \text{ Вт.}$$

Находим суммарные потери активной мощности в механической системе электродвигателя P_T и дополнительные P_d :

$$P_T + P_d = P_{мхн} - P_{2H}, \tag{9}$$

где P_{2H} – номинальная активная мощность, которая передается рабочей машине из вала электродвигателя, Вт.

Подставив значение мощностей, получим:

$$P_T + P_d = 4112 - 4000 = 112 \text{ Вт.}$$

Находим другие суммарные потери активной мощности:

$$P_{\Sigma H} = 3(R_1' + R_2'') I_H'^2 + 3R_1 I_0^2, \tag{10}$$

где

$$I_0 = \frac{U_H}{\sqrt{R_1^2 + (x_1' + x_\mu)^2}}. \tag{11}$$

Подставив значение параметров и физических величин в (10) и (11), получим:

$$P_{\Sigma H} = 3(1,529 + 1,006)6,815^2 + 3 \cdot 1,485 \cdot 2,28^2 = \\ = 350 + 23 = 373 \text{ Вт.}$$

Общие суммарные потери активной мощности в асинхронном электродвигателе при номинальном режиме работы

$$\Delta P_H' = P_{\Sigma H} + P_T + P_d. \tag{12}$$

Подставив значение мощностей, получим:

$$\Delta P'_H = 373 + 112 = 485 \text{ Вт.}$$

Определим эти потери по каталожным данным:

$$\Delta P_H = \frac{P_{2H}}{\eta_H} - P_{2H}. \quad (13)$$

Подставив значение мощности и к.п.д., получим:

$$\Delta P_H = \frac{4000}{0,865} - 4000 = 624 \text{ Вт.}$$

Как видим, используя каталожные данные, получаем потери активной мощности в электродвигателе, значение которых превышает полученные потери расчетным путем. Это связано с тем, что Г-образная схема замещения не учитывает потери в магнитопроводе. Поэтому находим потери в магнитопроводе на гистерезис и вихревые токи как разницу значений потерь активной мощности, полученных по каталожным данным, и рассчитанных по параметрам схемы замещения:

$$\Delta P_M = \Delta P_H - \Delta P'_H = 624 - 485 = 139 \text{ Вт.} \quad (14)$$

Определяем постоянные потери активной мощности в асинхронном электродвигателе при номинальном режиме работы:

$$\Delta P_{M.H} = \Delta P_M + P_T + P_d + 3R_1 I_0^2, \quad (15)$$

$$\Delta P_{M.H} = 139 + 112 + 23 = 274 \text{ Вт.}$$

Определяем переменные потери активной мощности в асинхронном электродвигателе при номинальном режиме работы:

$$\Delta P_{c.H} = P_{\Sigma H} - 3R_1 I_0^2, \quad (16)$$

$$\Delta P_{c.H} = 373 - 23 = 350 \text{ Вт.}$$

Определяем коэффициент потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе как отношение постоянных потерь к переменным потерям в номинальном режиме работы:

$$a = \frac{\Delta P_{c.H}}{\Delta P_{M.H}} = \frac{274}{350} = 0,78. \quad (17)$$

Представим Г-образную схему замещения асинхронного электродвигателя (для одной фазы) в уточненном виде (рис. 2).

На приведенной схеме:

R_M – активное сопротивление, эквивалентное потерям активной мощности в магнитопроводе (от вихревых токов и на перемагничивание), Ом;

$R_2 \frac{1-s}{s}$ – активное сопротивление, эквивалентное

активной мощности, которая передается на вал, Ом.

Для электродвигателя типоразмера 4A100S2У3 потери в магнитопроводе составляют 139 Вт, активное сопротивление, эквивалентное этим потерям, равняется 348,2 Ом.

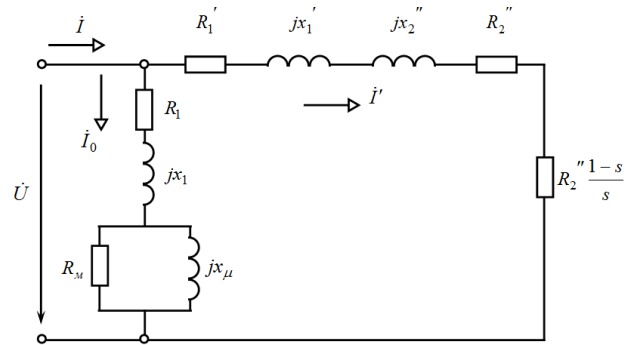


Рис. 2. Уточненная схема замещения асинхронного электродвигателя (для одной фазы)

5. Исследование потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе с учетом роста активного сопротивления обмоток при нагревании

Исследуем потери активной мощности в асинхронном электродвигателе с учетом роста активного сопротивления обмотки при нагревании.

Уравнение теплового баланса асинхронного электродвигателя, рассматривая последний как однородное тело, имеет такой вид:

$$C dt + L \tau dt, \quad (18)$$

где C – теплоемкость двигателя, $\frac{Дж}{^\circ C}$; τ – превышение

температуры обмотки над температурой окружающей среды, $^\circ C$; L – теплоотдача электродвигателя в окру-

жающую среду, $\frac{Дж}{c \cdot ^\circ C}$; ΔP – потери активной мощно-

сти в электродвигателе, Вт; t – текущее время, с.

Перепишем уравнение (18) в другом виде:

$$\frac{C}{L} \frac{d\tau}{dt} + \tau = \frac{\Delta P}{L}. \quad (19)$$

В установившемся режиме уравнение (19) принимает вид:

$$\tau_y = \frac{P_y}{L} \quad (20)$$

где τ_y – установившееся превышение температуры обмотки, $^\circ C$; ΔP_y – потери активной мощности в электродвигателе в установившемся режиме, Вт.

Потери активной мощности в электродвигателе в установившемся режиме запишутся таким способом:

$$\Delta P_y = \Delta P_{c.H} + k^2 \Delta P_{M.H} (1 + \alpha (\tau_y + \vartheta_{cp} - 75)). \quad (21)$$

Подставляем (21) в (20) и получаем:

$$\tau_y = \frac{\Delta P_{c.H} + k^2 \Delta P_{M.H} (1 + \alpha (\tau_y + \vartheta_{cp} - 75))}{L}. \quad (22)$$

Преобразуем (22) и получим:

$$\tau_y = \frac{\Delta P_{с.н} + \kappa^2 \Delta P_{м.н} (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75))}{L - \alpha \kappa^2 \Delta P_{м.н}} \quad (23)$$

Выражение (23) в номинальном режиме принимает вид:

$$\tau_n = \frac{\Delta P_{с.н} + \Delta P_{м.н} (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75))}{L - \alpha \Delta P_{м.н}} \quad (24)$$

откуда

$$L = \frac{\Delta P_{с.н} + \Delta P_{м.н} (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75)) + \alpha \tau_n \Delta P_{м.н}}{\tau_n} \quad (25)$$

Подставляем (25) в (24) и получаем

$$\tau_y = \tau_n \frac{\Delta P_{с.н} + \kappa^2 \Delta P_{м.н} (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75))}{\Delta P_{с.н} + \Delta P_{м.н} (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75)) - \alpha \tau_n \kappa^2 \Delta P_{м.н} (\kappa^2 - 1)} \quad (26)$$

Уравнение (26) в другом виде запишется таким способом:

$$\tau_y = \tau_n \frac{a + \kappa^2 (1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75))}{a + 1 + \alpha(\vartheta_{ср} - 75) - \alpha \tau_n (\kappa^2 - 1)} \quad (27)$$

Потери активной мощности в обмотках электродвигателя

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma н} (1 + \alpha(\tau_y + \vartheta_{ср} - 75)) \kappa^2 \quad (28)$$

Таким образом, используя изложенную методику, возможно определение потерь активной энергии в электродвигателе с учетом роста сопротивления его обмоток в функции их температуры при нагревании.

6. Исследование потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе в функции мощности на валу

Введем новое понятие – коэффициент потерь активной мощности в электродвигателе, под которым будем понимать отношение потерь активной мощности в электродвигателе к активной мощности на его валу:

$$\kappa_n = \frac{\Delta P}{P_2} \quad (29)$$

Проведем расчеты потерь активной мощности в электродвигателе типоразмера 4A100S2Y3, результаты расчета покажем графически (рис. 3).

Анализ полученной зависимости коэффициента потерь активной мощности от активной мощности на валу показывает, что она носит нелинейный экстре-

мальный характер и позволяет оптимизировать режим загрузки асинхронного электродвигателя в функции мощности на его валу.

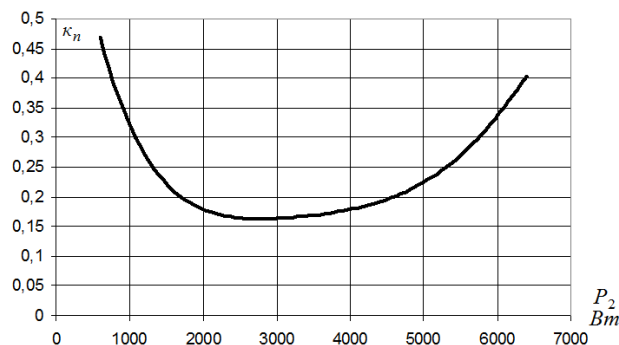


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь в асинхронном электродвигателе в функции мощности на валу

Исследуем коэффициент потерь указанного электродвигателя с учетом роста сопротивления обмоток статора при нагревании и с учетом температуры окружающей среды. Полученную зависимость коэффициента потерь от активной мощности на валу электродвигателя типоразмера 4A100S2Y3 представим на рис. 4.

Полученные результаты позволяют учитывать зависимости коэффициента потерь активной мощности в функции активной мощности на валу с учетом температуры окружающей среды.

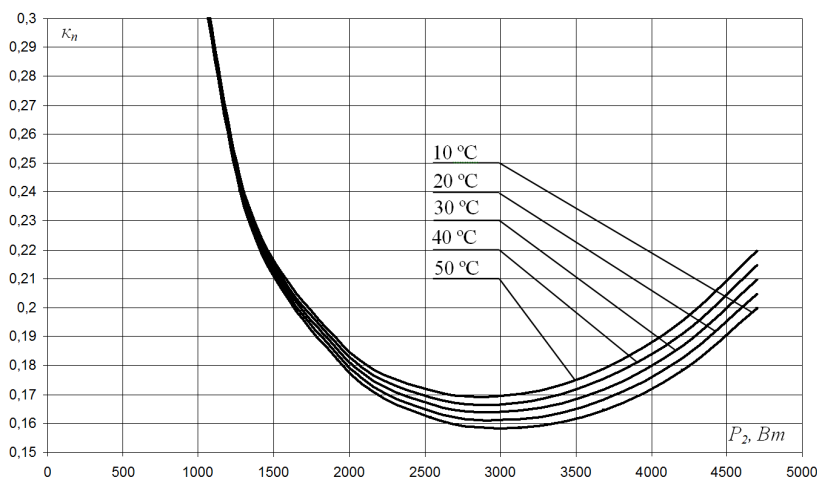


Рис. 4. Зависимости коэффициента потерь активной мощности κn в функции активной мощности на валу P2 при температурах окружающей среды: 10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C.

7. Построение круговой диаграммы потерь мощности в асинхронном электродвигателе

Запишем комплекс действующего значения силы тока I0 намагничивающего контура:

$$i_0 = \frac{\dot{U}}{R_1 + jx_1 + \frac{R_m \cdot jx_m}{R_m + jx_m}} = I_0 e^{-j\phi_0} \quad (30)$$

Комплекс полной мощности в намагничивающем контуре, приняв ψu=0:

$$\tilde{S}_0 = \dot{U} I_0^* = U I_0 e^{j\phi_0} = S_0 e^{j\phi_0}. \tag{31}$$

Получено уравнение круговой диаграммы комплекса полной мощности в основной ветви [1]:

$$\tilde{S}' = \frac{\tilde{S}'_k}{R_2'' \frac{1-s}{s} + \frac{z'}{1 + \frac{s}{s'} e^{j\psi}}} \tag{32}$$

где

$$\tilde{S}'_k = U I'_k e^{j\phi'_k}, \tag{33}$$

U – комплекс действующего значения напряжения, приняв $\psi_u = 0$,

$$I'_k = \frac{U}{Z'}, \tag{34}$$

$$z' = \sqrt{(R'_1 + R_2'')^2 + (X'_1 + X_2'')^2}, \tag{35}$$

$$\phi'_k = \arccos \frac{R'_1 + R_2''}{z'}, \tag{36}$$

$$\psi = \phi'_k, \tag{37}$$

s – скольжение электродвигателя.

Построим круговую диаграмму на комплексной плоскости (рис. 5).

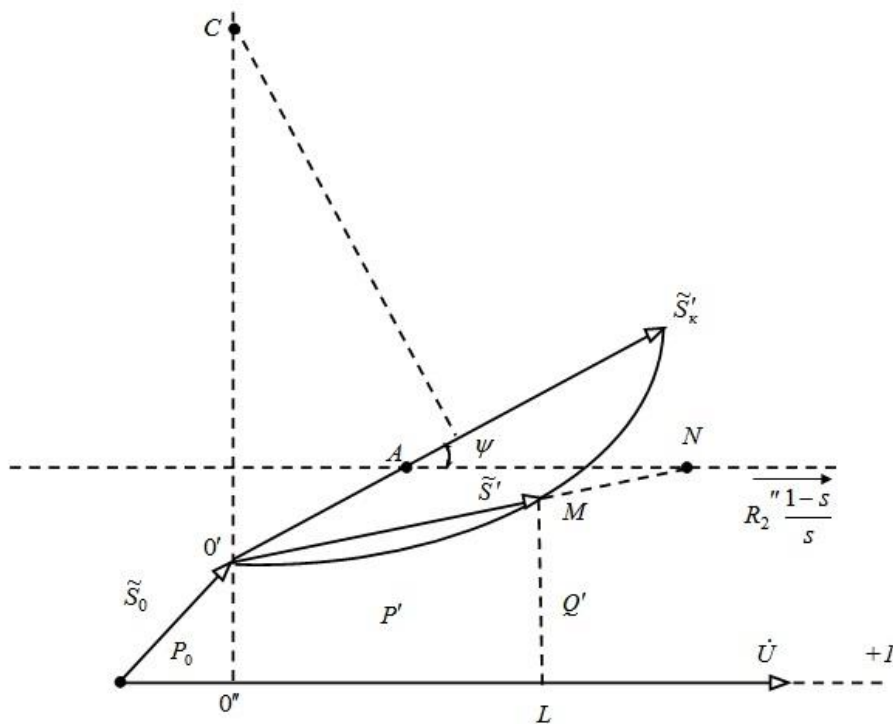


Рис. 5. Круговая диаграмма потерь мощности в асинхронном электродвигателе

Предложенная круговая диаграмма потерь мощности в асинхронном электродвигателе позволяет находить потери активной мощности в функции скольжения электродвигателя.

8. Скольжение асинхронного электродвигателя в функции эксплуатационных параметров

Таким образом, с помощью круговой диаграммы комплекса полной мощности \tilde{S}' можно найти переменные потери активной мощности в функции скольжения s.

В результате исследования [1] получены выражения скольжения асинхронного электродвигателя в функции коэффициента загрузки рабочей машины и кратностей прямой и обратной симметричных составляющих несимметричного напряжения.

Для привода рабочей машины с независимой механической характеристикой (x=0) найдено:

$$s = \frac{\kappa_3}{\kappa_{U_1}^2 - m_H \kappa_{U_2}^2} S_H. \tag{38}$$

Для привода рабочей машины с линейно-возрастающей механической характеристикой (x=1) найдено:

$$s = \frac{\kappa_3 - m_0 S_H}{(1 - s_H) \left(\frac{\kappa_{U_1}^2}{s_H} - m_H \kappa_{U_2}^2 \right) + \kappa_3 - m_0}. \tag{39}$$

Для привода рабочей машины с параболической механической характеристикой (x=2) найдено:

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \tag{40}$$

где

$$a = \kappa_3 - m_0, \tag{41}$$

$$b = -2(\kappa_3 - m_0) - (1 - s_H) \left(\frac{\kappa_{U_1}^2}{s_H} - m_H \kappa_{U_2}^2 \right), \tag{42}$$

$$c = m_0(1 - s_H)^2 + (\kappa_3 - m_0). \tag{43}$$

Предложенные зависимости скольжения электродвигателя учитывают ряд эксплуатационных параметров: коэффициента перегрузки, кратности напряжения симметричных составляющих прямой и обратной последовательности.

7. Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложена усовершенствованная схема замещения асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором с учетом потерь активной мощности в магнитопроводе на вихревые электрические токи и гистерезис;

2. Найдено выражение потерь активной мощности в обмотках электродвигателя с учетом нагревания обмоток и температуры окружающей среды;

3. Введено понятие коэффициента потерь активной мощности в электродвигателе как отношение потерь активной мощности в электродвигателе к активной мощности на его валу;

4. Исследована зависимость коэффициента потерь активной мощности (отношение потерь активной мощности в электродвигателе к активной мощности на валу) в функции развиваемой мощности на валу, позволяющая оптимизировать эксплуатационный режим работы электродвигателя;

5. Предложена круговая диаграмма потерь мощности в асинхронном электродвигателе в функции его скольжения.

Литература

1. Овчаров, В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве [Текст] / В. В. Овчаров. – Киев: УСХА, 1990. – 168 с.
2. Sun, D. S. Research on Voltage-Chopping and Energy-Saving Controlling Technology for Three-Phase AC Asynchronous Motor [Text] / D. S. Sun // *Advanced Materials Research*. – 2012. – Vol. 433-440. – P. 1033–1037. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.433-440.1033
3. Hung, N. T. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses [Text] / N. T. Hung, N. C. Thien, T. P. Nguyen, V. S. Le, D. A. Tuan. – *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2014. – P. 497–507. doi: 10.1007/978-3-642-41968-3_50
4. Grouni, S. Novel Loss Optimization in Induction Machines with Optimum Rotor Flux Control [Text] / S. Grouni, R. Ibtouen, M. Kidouche, O. Touhami // *International Journal of Systems Control*. – 2010. – Vol. 1, Issue 4. – P. 163–169.
5. Dhaoui, M. A New Method for Losses Minimization in IFOC Induction Motor Drives [Text] / M. Dhaoui, L. Sbita // *International Journal of Systems Control*. – 2010. – Vol. 1, Issue 2. – P. 93–99.
6. Alssa, K. Vector Control Using Series Iron Loss Model of Induction Motors and Power Loss Minimization [Text] / K. Alssa, K. D. Eddine // *World Acad. Sci., Eng., Technol.* – 2009. – Vol. 52. – P. 142–148.
7. Kosmodamianskii, A. S. Induction motor drives with minimal power losses [Text] / A. S. Kosmodamianskii, V. I. Vorob'ev, A. A. Pugachev // *Russian Electrical Engineering*. – 2012. – Vol. 83, Issue 12. – P. 667–671. doi: 10.3103/s1068371212120073
8. Yang, Y. Improvement of Electric Submersible Pump in High Temperature [Text] / Y. Yang // *China Science and Technology Fortune*. – 2010.
9. Островский, А. В. Безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя [Текст] / А. В. Островський // *Праці таврійського державного агротехнологічного університету*. – 2012. – Вип. 12. Т. 2. – С. 66–72.
10. Овчаров, С. В. Пути снижения энергозатрат в мобильных агрегатах [Текст] / С. В. Овчаров, А. Ю. Вовк // *Праці таврійського державного агротехнологічного університету*. – 2013. – Вип. 13. Т. 4. – С. 21–26.