

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПАСУ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Сотнік О. В., Величко І. А., Сотнік О. В.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Наведено аналітичні залежності оптимального завантаження асинхронного двигуна за критерієм мінімуму втрат енергії і критерієм максимуму надійності

Постановка проблеми. Тривалий період роботи над покращенням конструкції асинхронних двигунів (АД) дозволив помітно поліпшити масово-габаритні параметри та показники їх надійності. Але й по теперішній час ізоляція обмоток АД є їх слабким місцем у надійній роботі. Це враховується в теорії електропривода (ЕП) при виборі потужності двигуна шляхом дотримання енергетичного балансу двигуна та робочої машини та перевірки температури нагрівання ізоляції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для робочої машини з еквівалентною потужністю P_e вибирають номінальну потужність АД P_n за умови $P_n \geq P_e$. Через дискретність шкали потужностей двигунів найчастіше приходиться користуватися умовою $P_n \geq P_e$, яка доповнюється правилом - при відомій потужності робочої машини потрібно вибрати найближчий більший за потужністю двигун. Звідси виходить, що теорія ЕП передбачає запас потужності АД, але не вирішує задачу про величину цього запасу.

Мета статті. Знайти аналітичні вирази оптимального завантаження АД за критерієм мінімуму втрат енергії і критерієм максимуму надійності.

Основні матеріали досліджень. Задача запасу потужності традиційно вирішується як задача про оптимальне завантаження двигуна [1-3]. В цих же роботах визначаються інтервалами економічних навантажень за критерієм мінімуму питомих розрахункових витрат. Ці дані істотно підвищують ефективність вибору потужності двигуна. Але в цих інтервалах в явному вигляді не враховується одна з головних характеристик ЕП - відповідальність робочої машини за розміром технологічного збитку при відмові ЕП, а також інтенсивність аварійних ситуацій. Тому для врахування даних обставин зробимо перевірку запасу потужності двигуна, яка складається в наступному: в експлуатацію поступає деяка робоча машина укомплектована типовим ЕП, в конкретних умовах експлуатації двигун буде мати завантаження $\beta = \frac{P_e}{P_1}$ і запас

потужності $K_s = \frac{1}{\beta}$, де P_e - еквівалентна потужність робочої машини; P_1 - номінальна потужність першого (вихідного) варіанта.

Підвищений запас потужності підвищує надійність ЕП (позитивний ефект), але при цьому зростають капіталовкладення (негативний ефект) Отже, існує такий запас потужності, при якому досягне найвищого значення економічний ефект. Кількісне рішення складається в порівнянні кількох варіантів

комплектування електроприводів за певним критерієм та вибором найкращого варіанта. Такий вибір відноситься до задач дискретного синтезу систем. Критерій приведених річних експлуатаційних витрат на ЕП:

$$Z = EK + Z_e + Z_m + Z_p + Y \quad (1)$$

де $E = E_n + E_a$ - коефіцієнт приведення капіталовкладень; E_n - нормативний коефіцієнт; E_a - амортизаційні відрахування; K - балансова вартість АД; Z_e - вартість електроенергії; Z_m, Z_p - витрати на технічне обслуговування, а також ремонтне обслуговування; Y - технологічні втрати від простою ЕП.

Для типового (вихідного) варіанту ЕП:

$$Z_m = EK_m + Z_{em} + Z_{mm} + Z_{pm} + Y_m \quad (2)$$

Для варіанта порівняння з АД підвищеної потужності:

$$Z_n = EK_n + Z_{en} + Z_{nn} + Z_{pn} + Y_n \quad (3)$$

В останньому варіанті збільшиться EK_n , але зменшиться Z_{pn}, Y_n . Другий варіант буде виправдано за умови: $Z_n < Z_m$.

Для двигунів близьких за потужністю виправдані припущення:

$$Z_{mm} = Z_{nm}, Z_{em} = Z_{en}.$$

Тоді:

$$EK_n + Z_{pn} + Y_n < EK_m + Z_{pm} + Y_m \quad (4)$$

Відповідно до [4] введемо поняття робочої машини за технологічними втратами при відмові ЕП - $y = \frac{Y}{Z_p}$, що враховує розмір втрат у відносних одиницях від витрат на капітальний ремонт. Для порівнювальних варіантів можна прийняти $y_m = y_n = y$.

Тоді (4):

$$K_n - K_m < \frac{(Z_{pm} - Z_{pn})(1 + y)}{E} \quad (5)$$

Приведемо всі складові у відносних одиницях вартості вихідного варіанта $K_n^* = \frac{K_n}{K_m}$:

$$K_n^* - 1 < \frac{(3_{pm} - 3_{pn})(1+y)}{EK_m} \quad (6)$$

Ця умова дозволяє перевірити запас потужності двигуна в конкретному ЕП. Для отримання більше загальних закономірностей, виразимо витрати на ремонт через інтенсивність відмов ЕП: $3_{pm} = \lambda_m K_{pm}$, $3_{pn} = \lambda_n K_{pn}$, λ_m , λ_n - інтенсивності відмов АД у 1 і 2 варіантах (частка/рік), K_{pm} , K_{pn} - вартість ремонту для порівнювальних варіантів.

Припустимо $K_{pm} = K_{pn}$ вираз (6) стане:

$$K_n^* - 1 < \frac{\lambda_1 K_p (1+y) \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{EK_m} \quad (7)$$

Оскільки $\lambda_2 = \lambda_0 \beta_2^*$; $\lambda_1 = \lambda_0 \beta_1^*$, отримаємо

$$K_p^* - 1 < \frac{1}{E} \lambda_1 K_p^* (1+y) \left[1 - \left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right)^*\right], \quad (8)$$

де $K_p^* = \frac{K_p}{K_1}$; $y^* = \frac{1}{E} \lambda_1 K_p (1+y)$ - відносна при-

ведена втрата при типовому (вихідному) варіанті ЕП.

Для обліку запасу потужності необхідно прийняти до уваги дискретність шкали потужності АД з постійним кроком $h = \frac{P_{H(K+1)}}{P_{HK}}$, де P_{HK} , $P_{H(K+1)}$ - номінальні потужності АД, k - номер в шкалі потужностей. Для двигунів серії А2 - $h = 1,5$, серії 4А - $h = 1,4$. Порівнюються суміжні за потужністю двигуни, тому коефіцієнт завантаження легко виразити через постійну шкали потужностей:

$$\beta_H = \frac{P_e}{P_{n2}}, \beta_T = \frac{P_e}{P_{nT2}}, \frac{\beta_H}{\beta_T} = \frac{P_{HT}}{P_{HT}} = \frac{1}{h} \quad (9)$$

Крім того, для двигунів одного виконання і рівних частот обертання, підвищення вартості пропорційно постійній шкалі потужностей: $K_2^* = h$. Остаточний вигляд (9) дозволить знайти умову раціонального запасу потужності двигуна:

$$h^i - 1 < y^* \left[1 - \left(\frac{1}{h}\right)^*\right], \quad (10)$$

де $i = 0, 1, 2 \dots$ запас потужності в кроках за стандартною шкалою потужності двигунів. Якщо $i = 0$, то доречно обрати запас потужності, передбачений в типовому варіанті; якщо $i = 1$, то потрібно перейти до наступної шкали за потужністю двигуна; якщо $i = 2$, то треба перейти на 2 кроки тощо. У виразі (10) параметр, що знаходять i - дискретна ціла величина. В таких залежностях екстремум знаходять за знаком різностей відносного економічного ефекту наступного та попереднього кроків (запас потужності):

$$y^* \left[1 - \left(\frac{1}{h}\right)^*\right] - (h^i - 1) - y^* \left[1 - \left(\frac{1}{h}\right)^{*(i-1)} - (h^{i-1} - 1)\right] > 0, \quad (11)$$

Висновки. Можна зробити висновок: при $y^* < 2$ - достатньо мати типовий запас потужності; при $2 < y^* < 8$ - необхідний запас більший на 1 ступень потужності; при $y^* > 8$ - необхідний запас більший на 2 ступені потужності.

Формула (11) дозволяє визначити оптимальний запас потужності двигуна при будь-яких комбінаціях умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. Левин М. А. Особенности эксплуатации изношенного электрооборудования / М. А. Левин // Проблемы электроэнергетики: сб. тр. – Саратов, 2004. – 72 с.
2. Сотнік О. В. Дослідження методу підвищення надійності при експлуатації асинхронних двигунів у сільськогосподарському виробництві за інтегральним показником / О. В. Сотнік, І. А. Величко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". - Х.: ХНТУСГ. – Вип. 186. – 2017. – С.119-120.
3. Бобров В. В. Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных электродвигателей / В. В. Бобров // Ползуновский вестник. – 2012. - № 3/1. – С. 198-203.
4. Левин М. А. выбор запаса мощности асинхронного двигателя / М. А. Левин, Б.Р. Калмыков // Проблемы электроэнергетики: сб. тр. – Саратов, 2004. – 235 с.

Аннотация

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАПАСА МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Сотнік О. В, Величко І. А., Сотнік А. В.

Приведены аналитические зависимости оптимальной загрузки асинхронного двигателя по критерию минимума потерь энергии и критерию максимума надежности

Abstract

THEORETICAL SUBSTATION OF POWER SUPPLY OF ASYNCHRONAL MOTORS OF ELECTRIC DRIVE OF AGRICULTURAL MACHINES

O. Sotnik, I. Velichko, A. Sotnik

The analytical dependences of the optimal load of the asynchronous motor on the criterion of minimum energy losses and the criterion of maximum reliability are given.