

УДК 62-83-52.003

**О.М. Закладний, к.т.н., О.О. Закладний, к.т.н., Т.Ю. Оборонов, аспірант**  
**ОЗНАКИ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ**

*У роботі розглянуто ознаки аварійних режимів, які впливають на енергоефективність синхронних двигунів. Вибрані ознаки призначені для використання в системах функціонального діагностування енергоефективності синхронних двигунів*

*Ключові слова: синхронний двигун, асинхронний режим, коротке замикання, обрив фази*

**А.Н. Закладной, к.т.н., О.А. Закладной, к.т.н., Т.Ю. Оборонов, аспирант**  
**ПРИЗНАКИ АВАРІЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*В работе рассмотрены признаки аварийных режимов, влияющих на энергоэффективность работы синхронных двигателей. Выбранные признаки предназначены для использования в системах функционального диагностирования энергоэффективности синхронных двигателей*

*Ключевые слова: синхронный двигатель, асинхронный режим, короткое замыкание, обрыв фазы*

**A. Zakladnyi, O. Zakladnyi, T. Oboronov**

**SYMPTOMS EMERGENCY MODES OF OF SYNCHRONOUS MOTORS**

*In this work the symptoms of emergency operation that affect the energy efficiency of a synchronous motor. Selected features are intended for use in diagnosing functional efficiency synchronous motors*

*Keywords: synchronous motor, asynchronous mode, short circuit, open circuit phase*

**Вступ.** На гірничовидобувних і металургійних підприємствах синхронні двигуни (СД) працюють у важких умовах: велика кількість пилу, підвищена вологість, висока температура навколишнього середовища і часто повторюване максимальне навантаження. Такі специфічні умови експлуатації призводять до того, що аварійний вихід з ладу електродвигунів складає близько 30%. Це свідчить про недосконалість систем захисту електродвигунів, що дозволяли б вивести машину в ремонт з мінімальним економічним збитком.

**Мета роботи.** Метою роботи є визначення ознак аварійних режимів роботи синхронних двигунів

**Викладення основного матеріалу.** Асинхронний режим у синхронному електродвигуні виникає внаслідок повної або часткової втрати збудження цього двигуна. Повна втрата збудження відбувається у випадках: помилкового відключення пускача, обриву або к.з. в силовому колі обмотки збудження двигуна, пошкодження збуджувача або елементів схеми кіл збудження тощо. В залежності від характеру несправності обмотка збудження двигуна, який перейшов у асинхронний режим, може виявитися розімкнутою, замкнутою накоротко або на резистор (гасильний, для самосинхронізації або обмотки збуджувача).

Часткова втрата збудження може статися в разі роботи двигуна без автоматичного регулятора збудження і неправильних дій персоналу при перерозподілі активних і реактивних навантажень між ним та іншими працюючими двигунами, при деяких ушкодженнях в колах збудження тощо.

Фізичний процес переходу в асинхронний режим відбувається в наступній послідовності: при зникненні або значному зменшенні струму в обмотці збудження двигуна зменшуються магнітний потік збудження і відповідний йому синхронний електромагнітний момент на валу двигуна. Для деякого значення струму збудження величина синхронного

електромагнітного моменту стає меншою обертаючого моменту турбіни і двигуна, який продовжуючи залишатися в мережі, випадає із синхронізму. Для підтримки магнітного поля двигун починає споживати струм з мережі. Внаслідок порушення рівноваги між моментом, що обертає турбіни і електромагнітним (гальмівним) моментом двигуна починає збільшуватися частота обертання агрегату вище синхронної. Регулятор турбіни при цьому зменшує впуск пари в турбіну і прагне зберегти нормальну частоту обертання, внаслідок чого активне навантаження агрегату дещо знижується.

Асинхронний режим роботи двигуна супроводжується наступними змінами показань приладів: струм статора збільшується і коливається з частотою ковзання біля деякого середнього значення; напруга статора знижується тим більше, чим більше навантаження машини; в обмотці ротора протікає змінний струм, ватметр реактивної потужності вказує напрямок потужності з мережі до двигуна.

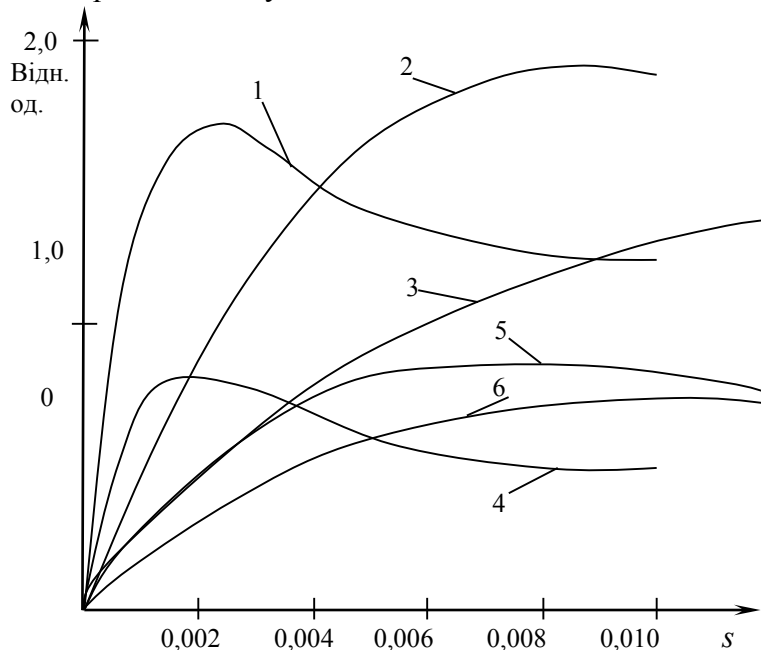


Рис.1. Розрахункові характеристики асинхронних моментів двигунів для різних станів обмотки збудження і схем підключення до мережі: 1 і 4 - ОЗД замкнута на джерело збудження, 2 і 5 - ОЗД замкнута на резистор (гасильний або самосинхронізації); 3 і 6 – для розімкнутої ОЗД

*Трифазні симетричні КЗ.* Струми фаз різко зростають (струм КЗ може перевищувати пусковий струм двигуна), фазні й лінійні напруги зменшуються. Між струмами й відповідними напругами встановлюється зсув відмінний від зсуву в нормальному режимі. Вектори струмів і напруг є симетричними й урівноваженими, у них відсутні складові зворотних і нульових послідовностей.

При зниженні напруги різко зменшується обертальний момент двигуна ( $M \equiv U^2$ ), фазні обмотки статора перегріваються й згорають. Ударні струми являють велику небезпеку – викликаючи значні зусилля між струмопровідними частинами устаткування та руйнуючи його й викликаючи нагрівання, що у багато разів перевищує термічну стійкість ізоляції

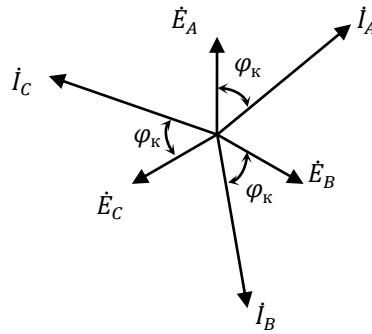


Рис. 2 Векторна діаграма ЕРС і струмів трифазного КЗ

*Двофазні (міжфазні) КЗ в одній точці.* Струми значно перевищують номінальний струм двигуна. Якщо КЗ відбувається при навантаженні, то в неушкодженій фазі протікає лише струм навантаження, а в uszkodжених фазах струм навантаження накладається на струми КЗ, збільшуючи повний струм у одній фазі та зменшуючи в іншій. Фазні напруги в місці КЗ вищі нуля, одна міжфазна напруга знижується до нуля, а значення двох інших в 1,5 рази перевищують фазну. Вектори струмів і напруг утворюють несиметричну врівноважену систему, мають складові прямої і зворотної послідовностей, але не містять складових нульової

Результуючий момент двигуна визначається різницею моментів, обумовлених полями прямої і зворотної послідовностей. При ковзанні  $s=1$  результуючий момент дорівнює нулю. У міру росту швидкості момент двигуна залишається незначним, двигун може зупинитися і перегрітися. Найбільш важкий режим роботи двигуна настає при металічному КЗ, коли напруги прямої й зворотної послідовностей однакові й дорівнюють  $0,5U_H$ . Для мереж без компенсації різниця фазових кутів опорів навантаження й мережі не перевищує  $55 - 60^\circ$ .

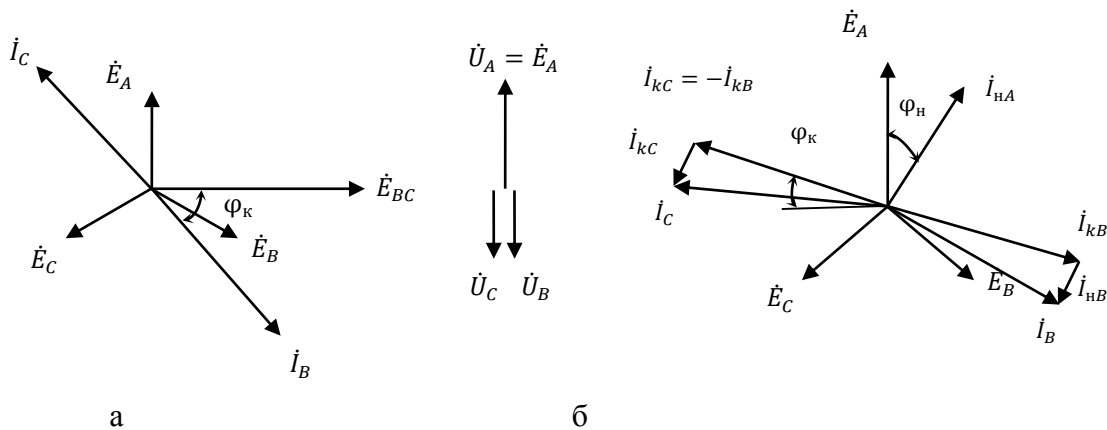


Рис. 3. Векторна діаграма ЕРС і струмів та діаграма напруг при двофазному КЗ без урахування навантаження (а), векторна діаграма ЕРС і струмів із урахуванням навантаження (б)

*Двофазні КЗ на землю.* Значення струмів uszkodжених фаз, міжфазних напруг залишаються такими само, як і при звичайному двофазному замиканні. Струм нульової послідовності відсутній. Ушкоджені фази в місці металічного КЗ вимушено набувають потенціалу землі. З'являється напруга нульової послідовності. Нейтраль системи (трансформатора) одержує відносно землі зсув  $0,5$  ЕРС, а напруга неушкодженої фази зростає до  $1,5$  ЕРС. Сильне зниження міжфазних і фазних напруг uszkodжених фаз (у місці КЗ до нуля) і поява складових нульової послідовності не лише у фазних напругах, але й струмах. Напруга між uszkodженими фазами дорівнює нулю. Напруга неушкодженої фази залишається

нормальною. Міжфазні напруги між uszkodженими фазами й неушкодженою знижуються до фазної напруги. Вектори струмів і напруг несиметричні й неврівноважені, з'являються складові прямої послідовності, зворотної і нульової

Через різке зниження напруги в місці КЗ (режим має найменше значення напруги прямої послідовності) цей вид uszkodжень після трифазного КЗ є найважчим з точки зору збереження стійкості енергосистеми й споживачів.

Обрив фази живильної мережі

*Однофазні КЗ на землю.* Характеризуються протіканням великих струмів сумірних зі струмами міжфазних КЗ. Ушкоджена фаза в місці КЗ вимушено набуває потенціалу землі. Струми й напруги несиметричні і неврівноважені, внаслідок чого з'являються складові прямих, зворотних і нульових послідовностей.

Однофазні КЗ є найчастішим видом uszkodжень у мережах із глухо заземленими нейтральми, що характерно для мереж напругою до 1кВ. Замикання фази на землю в мережі 380 В становить небезпеку для двигуна й характеризуються протіканням значних струмів сумірних зі струмами міжфазних КЗ.

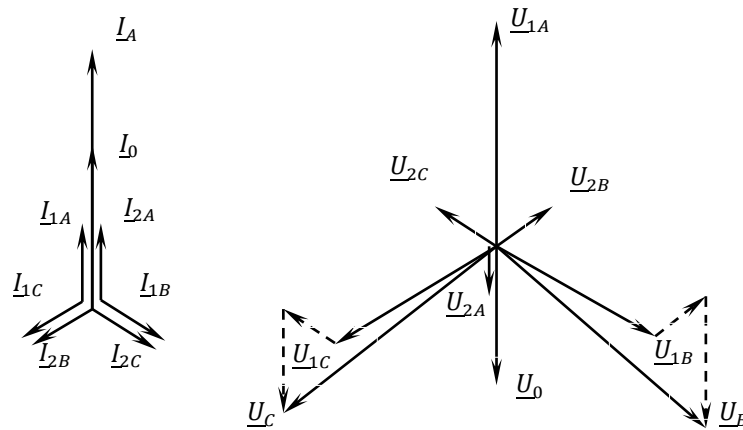


Рис. 4. Векторні діаграми струмів і напруг при однофазному КЗ трансформатора

*Однофазні виткові замикання.* Такі замикання є несиметричними uszkodженнями, що призводять до спотворення діаграми струмів і напруг. Різко зростає струм прямої послідовності, струм зворотної послідовності лишається практично без зміни. Коротке замикання всього 3-5% витків однієї фази обмотки статора СД призводить до неприпустимого перегрівання, що викликає руйнування ізоляції.

Знижується момент обертання двигуна, і він перегрівається. Ступінь зниження моменту залежить від співвідношення потужностей uszkodженого двигуна й живильної мережі, відносного числа витків, що замкнулися і т. ін. При виткових замиканнях двигун слід негайно вимкнути.

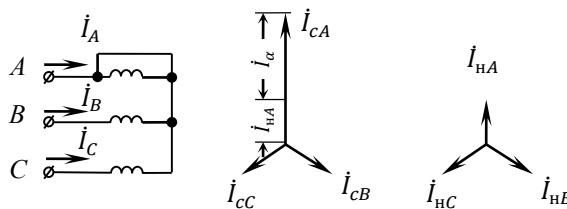


Рис. 5. Схема й векторні діаграми струмів при замиканні всіх витків фази А

*Обрив фази живильної мережі.* Дві сполучені послідовно обмотки двигуна виявляються

включеними на лінійну напругу. При загальмованому роторі напруга на неушкоджених фазах дорівнює половині лінійної, а напруга на ушкодженій фазі – нулю. Якщо втрата фази відбулася до вмикання двигуна, то пусковий струм становить 86% від пускового при трифазному живленні, тобто понад 5 раз перевищує номінальний. За короткий час такий струм перегріє обмотки. У випадку втрати фази після вмикання двигуна в роботу величина струму збільшується на 75%.

В однофазному режимі в обмотці статора протікає однофазний струм, що створює пульсуюче магнітне поле. Воно змінюється в часі, але не переміщується по колу статора. Якщо втрата фази відбулася до включення двигуна в мережу, то він не може запуститися навіть за відсутності навантаження на валу. При переході двигуна із трифазного режиму роботи в однофазний на ходу утвориться обертальний момент. Якщо швидкість двигуна близька до номінальної, обертальний момент достатній для продовження роботи з невеликим зниженням швидкості.

### **Висновок**

В роботі розглянуті ознаки аварійних режимів, які впливають на енергоефективність роботи синхронних двигунів. Вибрані ознаки призначені для використання в системах функціонального діагностування енергоефективності синхронних двигунів. На основі розглянутого матеріалу можна зробити висновок, що існує сім аварійних режимів синхронних двигунів які суттєво впливають на їх роботу. Найбільш небезпечним є асинхронний режим, оскільки тривала робота двигуна в цьому режимі може призвести до виходу з ладу робочого механізму, що потребує значних витрат на відновлення та ремонт і може створити небезпеку для обслуговуючого персоналу. Також значну небезпеку являє собою режим трифазного короткого замикання, який призводить до перегрівання та згоряння обмоток статора.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей // Под ред. Л. Г. Мамиконянца. 4-е изд., Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984
2. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГрАТ-4000 // Наука в центральной России: Научно-производственный периодический журнал. 2012. – №2. – С. 23-27.
3. Гимоян Г.Г. Релейная защита горных электроустановок / Г.Г. Гимоян. – [2-е изд.]. - М.: Недра, 1978. - 349 с.