

УДК 62-83-52.003(082)

ВИЗНАЧЕННЯ ОЗНАК АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ОБРИВІ ФАЗИ

Закладний О.М., к.т.н., доцент НТУУ «КПІ», Закладний О.О., к.т.н., асистент НТУУ «КПІ», Броницький В.О., студент

Розглянуто різновидності обриву фаз асинхронних двигунів. Визначено їх основні ознаки та вплив на електропривод і мережу.

Ключові слова: асинхронний двигун, обрив фази, аварійний режим.

Рассмотрены разновидности обрывов фаз асинхронных двигателей. Определены их основные признаки и влияние на электропривод и сеть.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, двухфазное короткое замыкание, аварийный режим.

The varieties of breakage phase asynchronous engines are considered. Defined their main features and impact on electric and network.

Keywords: asynchronous motor, break phase, the emergency mode.

Автоматизована система діагностування рівня енергоефективності електромеханічних систем має визначати ознаки аварійних режимів електропривода з асинхронними двигунами при обриві фази (табл. 1).

Таблиця 1

Види струмових аварій асинхронного двигуна при обриві фази

Пошкодження	Різновидності	Електродвигун
Обрив фази	Сполучення Y	
	Сполучення Δ	

Причинами виникнення такого режиму можуть бути перегорання одного із запобіжників, обрив фазного проводу в мережі, порушення контакту у фазі, обрив фази в обмотці статора, порушення контакту у вивідній коробці тощо. Відомо, що пуск асинхронного двигуна в такому режимі неможливий, і двигун відключається захистом від перевантаження.

Слід брати до уваги наступні фактори: схему сполучення обмоток двигуна; робочий стан двигуна в момент втрати фази (до або після ввімкнення двигуна, під час роботи під навантаженням, ступінь завантаження двигуна); число двигунів, які працюють зі втратою фази та їх взаємний вплив [7]. Якщо неповнофазний режим виник під час роботи асинхронного двигуна, то захист може виявитися неефективним, оскільки при малому завантаженні двигуна струми в обмотках статора можуть виявитися нижчими, ніж уставка

захисту від перевантаження.

У трифазному режимі кожна фаза обтікається струмом, зсунутим у часі на одну третину періоду. При однофазному режимі в обмотці статора проходить однофазний струм, що створює пульсуюче магнітне поле. Поле змінюється у часі, але не переміщується по колу статора. Його можна розкласти на два поля однакових за величиною й протилежних за напрямком обертання. Моменти M_1 і M_2 , обумовлені цими полями, при нерухомому роторі також дорівнюють один одному й протилежні, внаслідок чого результуючий пусковий момент двигуна буде дорівнювати нулю (рис. 1,а).

Якщо втрата фази відбулася до включення двигуна в мережу, то він не може запуститися навіть за відсутності навантаження на валу. Напрямок обертання однофазного двигуна визначається напрямком попереднього поштовху, й пуск його відбувається в тому випадку, якщо під дією цього поштовху двигун здобуває таку швидкість, при якій результуючий момент достатній для подолання статичного моменту [8].

При переході двигуна із трифазного режиму роботи в однофазний на ходу, утвориться обертаючий момент. Якщо швидкість двигуна близька до номінальної, обертальний момент достатній для продовження роботи з невеликим зниженням швидкості. На відміну від трифазного симетричного режиму з'являється характерне гудіння. В іншому зовнішні прояви аварійного режиму не спостерігаються [7].

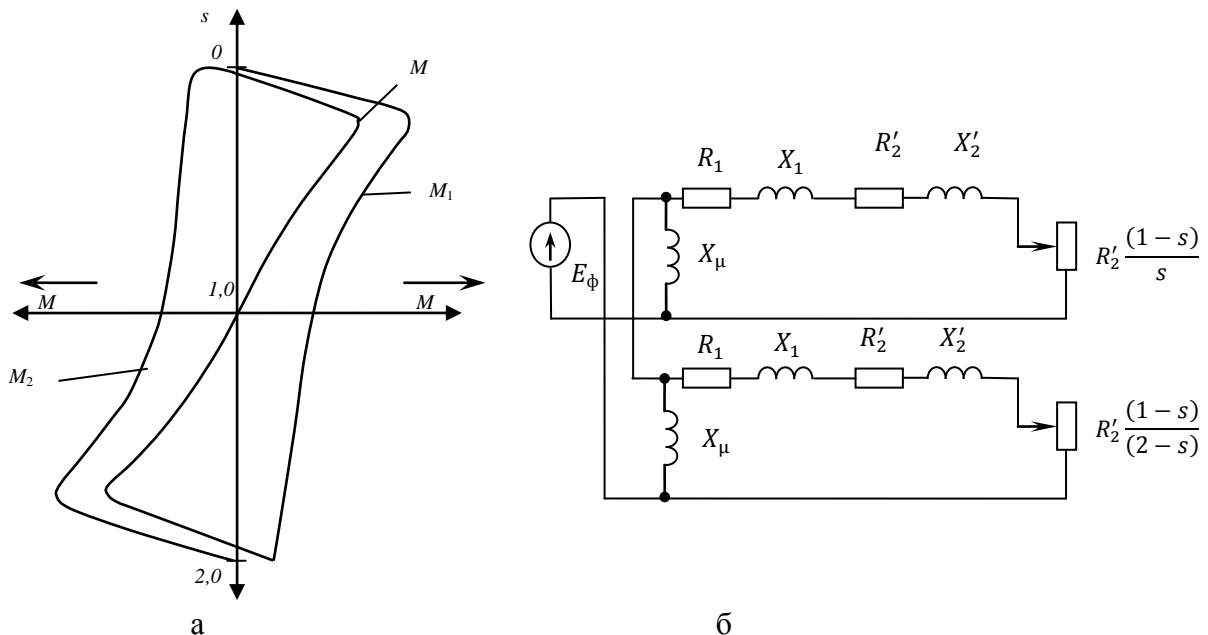


Рис. 1 Графіки моментів (а) і схема заміщення (б) трифазного АД в однофазному режимі

Схема заміщення трифазного асинхронного двигуна при обриві фази наведена на рис. 1,б. Верхня частина схеми відповідає прямій МРС (режиму трифазного двигуна), а нижня – зворотній (режиму електромагнітного гальма). У режимі спокою ($s=1$) напруга, підведена до двигуна, ділиться порівну між обома половинами схеми й дорівнює $E_{\phi}/2$. При зменшенні ковзання відбувається збільшення опору $R'_2(1-s)/s$ і зниження $R'_2(1-s)/(2-s)$ внаслідок чого відбувається перерозподілення напруг: збільшення його на затискачах кола, що відповідає прямій МРС, і зниження на затискачах кола, що відповідає зворотній МРС. Гранично перша з цих напруг прагне до повної напруги мережі, а друга – до нуля, аналогічно тому, що M_1 прагне до M_n , а M_2 – до нуля.

При сполученні обмоток статора в зірку й обриві лінійного проводу A дві послідовно з'єднані обмотки двигуна виявляються включеними на лінійну напругу (рис. 2, а). При загальмованому роторі напруга на фазах B й C дорівнює половині лінійної напруги U_{BC} , а напруга на фазі A , дорівнює нулю. При швидкості обертання близькій до синхронної на обмотках відновлюється симетрична система трифазної напруги, а напруга нейтралі зірки дорівнює нулю.

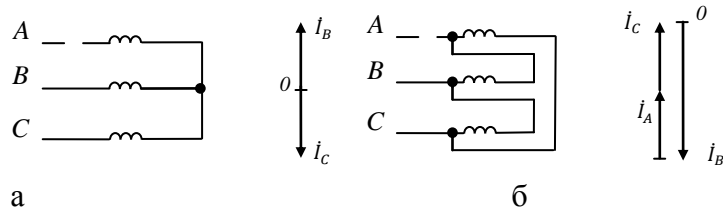


Рис. 2 Схеми й векторні діаграми струмів асинхронного двигуна, з'єданого відповідно в Y (а) і Δ (б) при обриві лінійного проводу

Для струмів I_A , I_B й I_C одержимо $I_A = 0$; $I_B = -I_C = I_{o6}$, де I_{o6} – струм статора двигуна в однофазному режимі.

Якщо втрата фази відбулася до вмикання двигуна, то пусковий струм становить 86% від пускового при трифазному живленні, тобто в понад 5 разів перевищує номінальний. За короткий час такий струм перегріє обмотки. У випадку втрати фази після включення двигуна в роботу величина струму збільшується на 75%, тобто майже у два рази [7].

При сполученні в трикутник й обриві лінійного проводу у фазі A , обмотка фази C виявляється ввімкненою на лінійну напругу U_{BC} , а обмотки фаз A і B увімкнені послідовно на ту само лінійну напругу (рис. 2, б). Напруги на виводах AB й CA будуть залежати від швидкості обертання ротора. При загальмованому роторі напруги на виводах AB й CA дорівнюють половині лінійної. При синхронній швидкості відновлюється симетрична система напруг, і напруги на виводах AB й CA дорівнюють лінійній напрузі [7].

Для лінійних струмів справедливі співвідношення $I_{\Delta A} = 0$; $I_{\Delta B} = -I_{\Delta C} = I_{o6}$, а для фазних струмів $I_A = -\frac{1}{3}I_{o6}$; $I_B = -\frac{1}{3}I_{o6}$; $I_C = \frac{2}{3}I_{o6}$; $I_A = I_B = -0,5I_C$.

У пусковому режимі при втраті фази пусковий струм в одній з фаз дорівнює пусковому струму при трифазному живленні, а лінійний струм зростає менш інтенсивно. У випадку втрати фази при роботі двигуна струм у найбільш навантаженої фазі зростає вдвічі, а лінійний - в 1,73 раза.

На рис. 3 наведена графіки залежності струмів статора й ротора АД в нормальному режимі ($I_{1н}$, $I'_{2н}$) і при обриві лінійного проводу (I_{1o6} , I'_{2o6}) від навантаження при кратності максимального моменту $\lambda = 2,5$. Значення струмів і потужності дані в частках від своїх номінальних величин. Відповідно до графіка струми статора й ротора при номінальному навантаженні двигуна й обриві лінійного проводу збільшуються до 200% від їх первинних значень. При менших кратностях максимального моменту струми зростають ще більше. Як видно з рис. 3, перевантаження по струму при обриві лінійного проводу настає вже при $P \geq 0,5P_n$, тому двигун у цьому режимі може працювати, не виходячи за межі припустимого нагрівання, лише при зниженні потужності на валу до 50-60% номінальної [9].

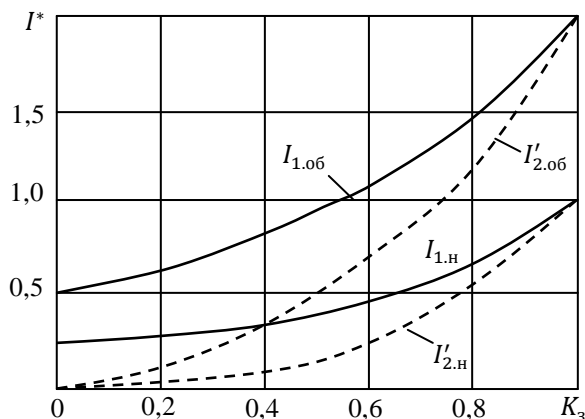


Рис. 4 Графіки залежності струмів статора й ротора АД від навантаження в нормальному режимі й при обриві лінійного проводу

Наслідки однофазного режиму залежно від графіку електричних навантажень різні. Так, у двигунів установок з циклічним режимом роботи наслідки однофазного режиму менш небезпечні, ніж у двигунів установок із тривалим режимом роботи. При обриві лінійного проводу двигуни з циклічним режимом роботи можуть якийсь час працювати, не виходячи за межі допустимого нагрівання, після чого через характер навантаження вони будуть відімкнені. При повторному ввімкненні пуску не відбудеться. При тривалому режимі роботи двигунів ймовірність їх ушкодження через тривалу роботу під навантаженням значно більша. Отже, визначення даного аварійного режиму можливе за контролем струму.

За приведеними вище ознаками можливо визначити пошкодження та вплив на електропривод і мережу (табл. 2).

Таблиця 2

Ознаки аварійних режимів асинхронних двигунів при обриві фази

Аварійний режим (пошкодження)	Ознаки аварійних режимів (зміна струмів і напруг)	Вплив на електропривод і мережу (характер змін у роботі двигуна й мережі)	Аварійний режим (пошкодження)
Обрив фази живильної мережі	Сполучення обмоток статора в зірку	Дві сполучені послідовно обмотки двигуна виявляються включеними на лінійну напругу. При загальмованому роторі напруга на неушкоджених фазах дорівнює половині лінійної напруги, а напруга на ушкодженій фазі – нулю. Якщо втрата фази відбулася до вмикання двигуна, то пусковий струм становить 86% від пускового при трифазному живленні, тобто в понад 5 раз перевищує номінальний.	В однофазному режимі в обмотці статора проходить однофазний струм, що створює пульсуюче магнітне поле. Поле 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.

Продовження таблиці 2

		За короткий час такий струм перегріє обмотки. У випадку втрати фази після вмикання двигуна в роботу величина струму збільшується на 75%.	При переході двигуна із трифазного режиму роботи в однофазний на ходу утвориться обертаючий момент. Якщо швидкість двигуна близька до номінальної, обертаючий момент достатній для продовження роботи з невеликим зниженням.
	Сполучення обмоток статора в трикутник	Обмотка однієї фази виявляється ввімкненою на лінійну напругу, а обмотки двох інших фаз - послідовно на ту саму напругу. Напруги між ушкодженою фазою й неушкодженими залежать від швидкості обертання ротора. При загальмованому роторі ці напруги дорівнюють половині лінійної, при синхронній швидкості вони дорівнюють лінійній нарузі. У пусковому режимі при втраті фази пусковий струм в одній з фаз дорівнює пусковому струму при трифазному живленні, а лінійний струм зростає менш інтенсивно. У випадку втрати фази після введення двигуна в роботу струм у найбільш навантаженої фазі збільшиться вдвічі, а лінійний – в 1,73 рази.	швидкості. При швидкості обертання близької до синхронного на обмотках відновлюється симетрична система трифазної напруги. На відміну від трифазного симетричного режиму з'являється характерне гудіння. В іншому зовнішні прояви аварійного режиму не спостерігаються. Перевантаження по струму при обриві лінійного проводу настає при $P \geq 0,5P_n$, тому двигун у цьому режимі може працювати, не виходячи за межі допустимого нагрівання, тільки при зниженні потужності на валу до 50-60% номінальної.

Висновок:

Для коротких замикань асинхронних двигунів при обриві фази встановлено їх основні ознаки та вплив на електропривод і мережу. Ці ознаки можуть бути використані в системах діагностування енергетичної ефективності асинхронних двигунів.

Література

1. Гимоян Г.Г. Релейная защита горных электроустановок / Г.Г. Гимоян. – изд. 2, перераб. и доп. М.: «Недра», 1978, 349 с.
2. Корогодский В.И. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ / В.И. Корогодский, С.Л. Кужеков, Л.Б. Паперно. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 248 с.
3. Байтер И.И. Защита и АВР электродвигателей собственных нужд./ И.И. Байтер – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 104с.
4. Чернобровов Н.В. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов / Н.В. Чернобровов, В.А. Семенов – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
5. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов./ А.М. Федосеев, М.А. Федосеев – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
6. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. / В.А. Андреев – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Выс. шк., 2006. – 639 с.
7. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты / А.М. Мусин– М.: Колос, 1979. – 112 с.
8. Беркович М.А. Основы техники релейной защиты / М.А. Беркович, В.В. Молчанов, В.А. Семенов, - 6-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоиздат, 1984. – 376 с.
9. Соловьев А.Л. Защита асинхронных электрических двигателей напряжением 0,4 кВ. Учебное пособие / А.Л. Соловьев – СПб, ПЭИПК, 2007. – 72 с.