

международные стандарты качества ASTM. Для реализации данной схемы в массовом производстве изделий для ЛА в авиакосмической отрасли применяются вакуумно-инфузионные центры (печи). Исследования, проведенные в 2009 году, показали, что использование термо-инфузионного центра вместо автоклава может снизить капитальные затраты на производство с \$2 млн до \$500 тыс. Стоимость сухого волокна и жидкого композитного связующего может быть меньше на 70%, чем те же материалы в препреге.

Использование технологии Вакуумной инфузии сокращает количество этапов технологического процесса изготовления изделий из ПКМ, что влечет за собой сокращение номенклатуры оборудования, в сравнении с вакуум-автоклавым методом. Возможна так же автоматическая выкладка сухого материала на оснастку.

#### ИСТОЧНИКИ И ЛИТЕРАТУРА

1. Проект создания композитного крыла для пассажирского среднемагистрального самолета МС-21-300
2. Стандарт ASTM D/Void Content of reinforcement Plastic [определение содержания пустот в армирующих пластиках]
3. Способ изготовления волокнистых композитов вакуумной инфузией и устройство для осуществления способа: пат. 2480335 Рос. Федерация; опубл. 2006.
4. Преображенский А.И. Журнал «Главный механик» / №5. Стеклопластики – свойства, применение, технологии. 2010.
5. Душин М.И. и др. Исследование и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ // Авиационные материалы и технологи. 2012. №5. С. 292-301.
6. Иванов М.С. и др. Полупроницаемые мембраны для процесса вакуумной инфузии ПКМ. №2. 2017.

УДК 621.316.929

*Ірина Попова, Максим Ковальов  
(Мелітополь)*

#### АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ КОНТРОЛЮ І ЗАХИСТУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ МЕРЕЖІ

*У роботі проведено аналіз існуючих пристроїв контролю, діагностування і захисту асинхронних двигунів при несиметрії напруг в сільській електричній мережі.*

**Ключові слова:** *пристрій, контроль, захист, струм, перевантаження, фільтр, послідовність.*

*In the work the analysis of existing control devices, diagnostics and protection of asynchronous motors with voltage unbalance in the rural electric network is carried out.*

**Keywords:** *device, control, protection, current, overload, filter, sequence.*

У сільському господарстві України кожного року виходить з ладу 15...25 % асинхронних двигунів від існуючого парку. Фактичний строк служби асинхронних двигунів в АПК у 2-3 рази менше потрібного: у тваринництві складає 3,5 роки, рослинництві – 4 роки, у присадибних господарствах – до 5 років. Не зважаючи на те, що асинхронні двигуни, забезпечені пуско-захисною апаратурою, фактичний час їхньої роботи невеликий і складає 3...5 років [1]. Відмови електроприводів з причини низької якості виконання асинхронних електродвигунів не перевищують 2...5 %. Основна причина виходу їх з ладу – аварійні режими.

Методом експертних оцінок для зони півдня України встановлено, що більше 50 % асинхронних двигунів виходить з ладу з причини технологічних перевантажень,

заклинювання і руйнування підшипникового вузла, а до 45% - із-за виникнення неприпустимої несиметрії напруги фаз мережі і обриву фази [2]. З вище сказаного слідує, що виникнення несиметрії фазної напруги і обрив фазного дроту мережі є однією з головних причин виходу з ладу асинхронних двигунів.

Для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів необхідно удосконалити засоби діагностування. Це дозволить експлуатаційному персоналу мати в розпорядженні точні дані про режим роботи електроустаткування, стан робочих частин, безпомилково визначати час його відключення від джерела живлення, зменшити знос ізоляції, число відмов і аварійних виходів з ладу асинхронних двигунів [3].

У пристроях діагностування і захисту чутливим органом (датчиком) здійснюється контроль одного або декількох параметрів, що характеризують технічний стан контрольованого електроустаткування [2].

Діагностування режимів роботи асинхронних двигунів здійснюється по: струму (максимальному, прямій, зворотній і нульовій послідовності, куту зрушення фаз споживаних струмів і тепловій дії струму); напрузі (мінімальному, нульовою і зворотною послідовностей); температурі (обмоток статора, стали статора і корпусу) [3]

Найбільш розповсюдженні пристрої контролю і захисту, що використовуються в сільськогосподарському виробництві, та випускаються або випускалися підприємствами України і країн СНД, це реагуючі на зміну величини струму в колі живлення асинхронного двигуна. До них відноситься струмовий захист, який здійснюється за допомогою струмових реле, дія яких ґрунтована на електромагнітному і індукційному принципі та теплових реле, що реагують на величину тепла, що виділяється в результаті протікання струму по спеціальних елементах.

Широке поширення для захисту асинхронних двигунів від струмових перевантажень отримали автоматичні вимикачі, такі як АВ- 2000, АП- 50, АВ3000, а також МР, МА (Німеччина) [2, 3] з електромагнітними розчіплювачами і плавкі запобіжники. Для захисту асинхронних двигунів від струмових перевантажень, викликаних як технологічними перевантаженнями (перекиданням і заклинюванням ротора), так і несиметрією напруги мережі (обривом фазного дроту) використовуються реле РТ- 40, УМЗ- 5, ЭТ- 522. Для контролю струмів прямої послідовності в мережах застосовуються реле РТФ-1, зворотній послідовності – РТФ-6М, РТФ-7/1. Основним недоліком при використанні реле струму як пристрою захисту є відключення двигуна при його запуску. Щоб захисний пристрій не відключав асинхронний двигун при нормальному пуску, а також короточасних списках навантаження, він повинен діяти не миттєво, а з витримкою часу. Тому одночасно з реле струму використовують, за звичай, реле часу. Існують пристрої з самоналагоджувальним струмовим захистом асинхронного двигуна від аномальних режимів, в яких на час пуску тепловий захист "загрубляється" шляхом підключення шунтуючих резисторів паралельно нагрівальним елементам теплових реле, а струмовий захист - блокується.

До струмових захисних пристроїв слід віднести пристрої, що контролюють кут зсуву фаз між лінійними струмами асинхронного двигуна. Фазочутливий пристрій захисту (ФУЗ) може бути використаний для захисту асинхронних двигунів від неполнофазного режиму роботи. Принцип дії фазочутливого захисту ґрунтується на зміні кута зсуву фаз між лінійними струмами навантаження електродвигуна. У повнофазному режимі роботи цей кут дорівнює  $120^{\circ}$ , а при обриві однієї з фаз стає рівним нулю або  $180^{\circ}$ . Перевагою фазочутливого захисту в порівнянні з фільтровими захистами по напрузі нульової або зворотної послідовностей є те, що він реагує на обрив фази як до, так і після місця підключення двигуна.

Діагностування режиму роботи асинхронного двигуна по температурі використовується досить часто. Прикладом таких захистів є пристрої вбудованим температурним захистом типу УВТЗ, АТВ- 229. Датчиком температури є напівпровідникові елементи – позистори (типу СТ14-1), які вбудовуються в лобові частини статорів обмоток асинхронних двигунів. Недоліком цих пристроїв є те, що терморезистори мають бути встановлені у визначеному місці лобових частин обмоток двигунів, оскільки в пристрої захисту не передбачено

регулювання уставки спрацьовування. Аналогічні температурні захисту випускаються за кордоном. В Угорщині розроблені термисторні реле типу DŠTv - 250s і термістори типу РТ-145 для захисту асинхронних двигунів сільськогосподарського призначення [3].

У пристроях діагностики і захисту по напрузі, що містять фільтри прямої, нульової або зворотної послідовностей, контрольованими параметрами є напруга прямої, нульової і зворотної послідовностей. Пристрою захисту по напрузі застосовуються для захисту від несиметрії напруги і неповнофазних режимів. Неповнофазний режим виникає в результаті обриву проводу мережі живлення, перегорання плавкої вставки запобіжника, при порушенні контакту в комутаційній апаратурі. В цьому режимі при завантаженні асинхронного двигуна на 70-80% від номінального значення струм статора на 40-60% перевищуватиме номінальний [3]. Промисловість випускає спеціальні пристрої - реле обриву фаз типів Е- 511, ЕЛ- 8, ЕЛ-10, призначені для захисту електроустановок, у тому числі електродвигунів, від обриву фаз. Реле Е- 511 містить фільтри напруги зворотної послідовності типу РС з виконавчим реле на виході. Перевагою цих реле є те, що вони реагують на обрив фази як на стороні 0,4 кВ, так і на стороні високої напруги. Їх недолік – наявність в датчику конденсаторів, які можуть створювати з обмотками статора LC- резонансні коливальні контури. В результаті цього одно і те ж пристрій при різних габаритних розмірах асинхронних двигунів має різні пороги спрацьовування. Загальним недоліком усіх захисних пристроїв, працюючих на принципі контролю напруги нульової послідовності, є те, що вони контролюють обрив фази тільки на стороні 0,4 кВ і не реагують на обрив з боку 10 кВ. Перевагою фільтрових пристроїв захисту на основі сполучених в "зірку" резисторів – висока чутливість до перекосу напруги фаз [3]. Таким чином, за принципом побудови пристрої діагностування і захисту можна підрозділити на три групи. До першої групи відносяться так звані спеціальні пристрої, що діагностують і захищають асинхронний двигун від одного аварійного режиму, наприклад, реле обриву фаз. До другої групи входять універсальні пристрої (теплові реле, пристрою типів УВТЗ та ін.), які захищають двигун при різних аварійних ситуаціях. Вони контролюють один з параметрів асинхронного двигуна (силу струму, температуру обмотки та ін.), критичний до декількох аварійних режимів. До третьої групи відносяться комбіновані пристрої, що дозволяють діагностувати і захищати двигун при усіх аварійних режимах. Це можна досягти, якщо контролювати декілька параметрів асинхронного двигуна.

Ефективність пристрою захисту залежить від комбінації контрольованих параметрів, передбачених в цьому пристрої: теплова-фільтрова, струмова-фільтрова, теплова-струмова комбінації. Перевагою комплексного пристрою діагностування і захисту є можливість вибору таких контрольованих параметрів, які дозволяють розробити дешевий і надійний пристрій, виконати його у вигляді окремих модулів (блоків) і в конкретних випадках застосовувати ті з них, які реагують на типові для цієї машини аварійні ситуації [2, 3].

#### ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Кондратюк О.Ю., Егоров А.Б. Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты // Системы обработки інформації. 2006. Вип. 4(53). С.79-86.
2. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі: автореф. Дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.09.16 «Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі». Мелітополь, 2003. 20 с.
3. Закладний О.М. та ін. Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів // Промелектро. 2010. №4. С.36–40.