

Лобов В.Й.

Криворізький національний університет

Лобова К.В.

Криворізький національний університет

ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА, ЩО КЕРУЄТЬСЯ ТИРИСТОРНОЮ СТАНЦІЄЮ

У статті вперше запропоновано використати структурну схему універсальної панелі для захисту асинхронних двигунів потужністю до 400 кВт. Панель дозволяє перекрити діапазон низки тиристорних станцій управління, призначених для керування асинхронними двигунами різної потужності без зміни схемотехнічних рішень. Для реалізації панелі використано прості та дешеві засоби автоматики, що забезпечують безперервну роботу електричного привода і робочого механізму.

Ключові слова: електродвигун, тиристорна станція управління, панель захисту, структурна схема, характеристики.

Постановка проблеми. Асинхронний двигун (далі – АД) є найпоширенішим в електроприводах. Тенденція зростання впровадження асинхронних електроприводів із тиристорними станціями управління (далі – ТСУ), наприклад, ТСУ-2, ТСУ-4, ТСУ-Ф тощо, об'єктивно зберігається, оскільки вони є масовими електроприводами [1–3]. Адже в діапазоні потужностей до 400 кВт їх виробляється в десятки разів більше, ніж двигунів постійного струму.

У кожного АД є робочі обмеження, перевищення яких у кінцевому підсумку призводить до виходу його з ладу і поломки електропривода, наслідком чого є відключення та простої технологічного обладнання. Водночас трапляється відмова електричної частини як в АД, так і в ТСУ, наприклад, перевантаження, падіння напруги, перекеіс і обриви фази, що призводять до коливань споживаного струму, або короткі замикання, за яких струм досягає значної величини, можуть вивести з ладу електричне та механічне обладнання. Відмова механічної частини в АД, приводі та механізмі – заклинювання ротора, одно-разові або тривалі перевантаження – викликає підвищення струму АД і небезпечний нагрів його обмоток. Вищезазначене завдає збитків підприємству, які включають виробничі втрати, втрати сировини, ремонт виробничого обладнання, неякісне виробництво і затримки постачання, а також можуть мати серйозні наслідки для безпеки людей, що перебувають у прямому чи непрямому

контакті з АД. Тому актуальна необхідність запобігання таким відмовам, як мінімум, зниження їхнього впливу, а також уникнення пошкоджень обладнання і порушення електроживлення АД за допомогою спеціальних пристроїв захисту, які відключають обладнання від мережі живлення або реагують на зміни електричних показників (напруга, струм, тощо).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із дієвих методів підвищення надійності роботи АД є забезпечення їх засобами моніторингу та захисту від аварійних режимів. Відомі способи захисту від теплового перевантаження АД засновані на використуванні інтегральної залежності струму статора у функції часу [4], або захист здійснюють шляхом безперервного вимірювання миттєвих значень фазних струмів і напруг, подальших обчислень потокозчеплень і їхніх похідних, швидкості обертання ротора і температури нагріву обмоток статора і ротора, у разі перевищення допустимих значень температури двигун відключають від живлячої мережі [5]. Є пристрій від обриву фази [6], що містить релейно-контактну схему, або блок захисту і керування [7], або інший пристрій від обриву фази [8].

Як показують результати проведеного аналізу, вибір того чи іншого виду захисту або декількох одночасно здійснюється в кожному конкретному разі з урахуванням ступеня відповідальності електричного привода, його потужності, умов роботи і порядку обслуговування (наявності або

відсутності постійного обслуговуючого персоналу). Одна з найважливіших вимог до пристроїв захисту АД – чітка дія в аварійних і ненормальних режимах роботи АД і водночас неприпустимість помилкових спрацьовувань.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування та розроблення уніфікованої панелі для захисту АД, яка входить до складу різних типовиконань ТСУ та реалізовано за допомогою простих і дешевих засобів автоматики, забезпечуючи безперервну роботу електропривода і робочого механізму.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблена універсальна панель захисту (далі – УПЗ), яка призначена для захисту АД від струмів перевантаження, струмів короткого замикання, від роботи АД за зниженої напруги та від двофазного режиму роботи. Структурна схема УПЗ представлена на рис.1. Схема складається з: вузла струмових уставок; вузла захисту від струмів перевантаження, який має перший пороговий елемент, формувач часо-струмової характеристики,

лічильник і довгочасну пам'ять 1; вузла захисту від струмів короткого замикання, до якого входять: другий пороговий елемент, оперативна та довгочасна пам'ять 2; вузла захисту АД від роботи за зниженої напруги та двофазного режиму роботи. Випрямлений сигнал датчиків струму (U_{ax}) ТСУ, пропорційний струму АД, надходить на вхід вузла струмових уставок, з виходу якого сигнал подається на входи вузлів захисту від струмів перевантаження і струмів короткого замикання.

Формувач часо-струмової характеристики генерує імпульси, частота проходження яких відповідає зворотній часо-струмовій характеристиці, наближеній до теплової характеристики АД. З виходу формувача часо-струмової характеристики імпульси надходять на вхід лічильника.

За напруги U_x нижче порога спрацьовування, першого порогового елемента, що відповідає відсутності перевантаження АД, перший пороговий елемент, вихід якого з'єднаний зі входом скидання лічильника, установлює лічильник у вихідний стан. За напруги U_{ex} вище спрацьо-

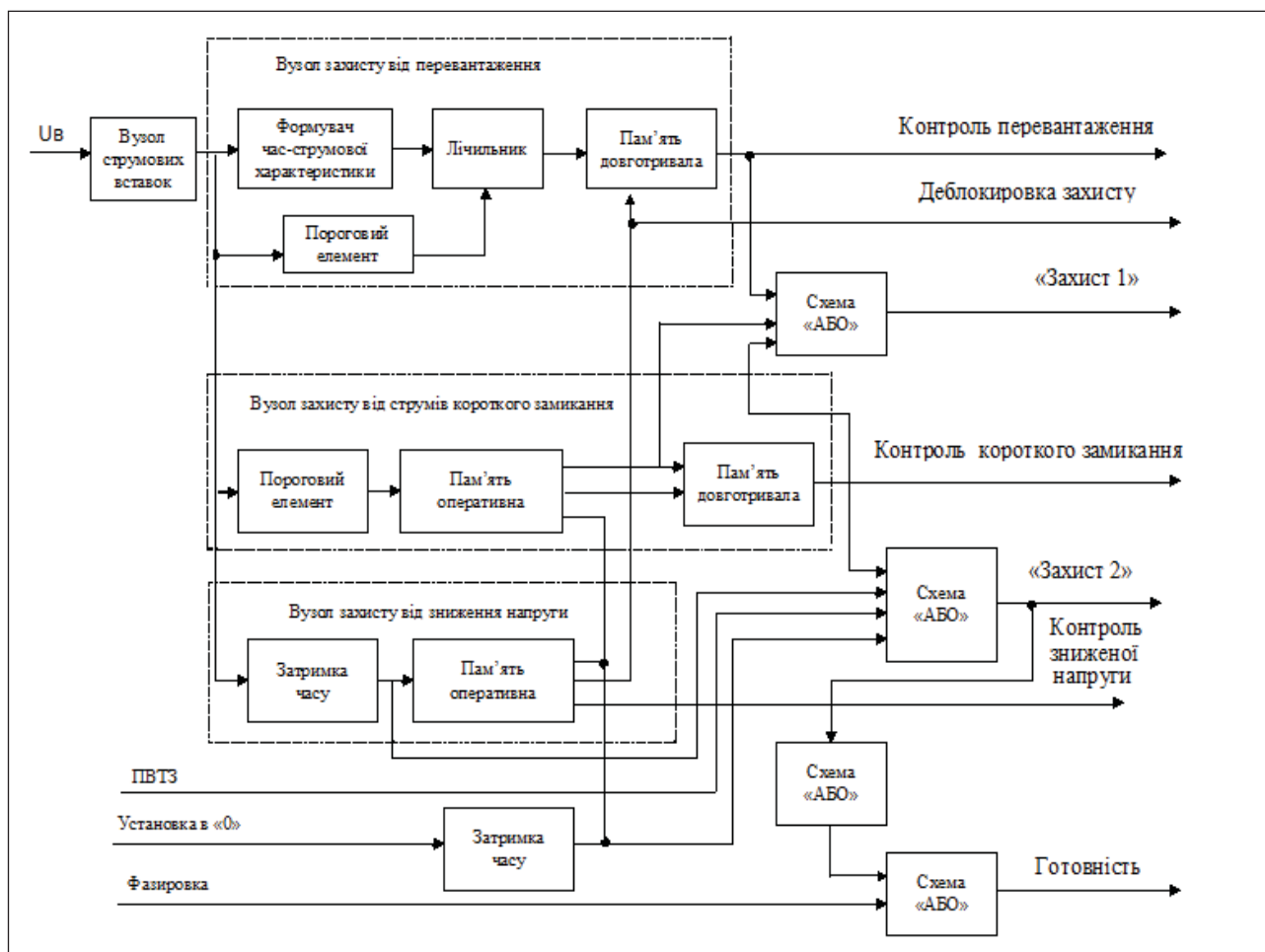


Рис. 1. Структурна схема панелі ПЗ

ування першого порогового елемента сигнал скидання лічильника відсутній і відбувається рахунок імпульсів лічильником, що надходять із формувача часо-струмової характеристики. Сигнал із виходу лічильника, за відповідного заповнення лічильника, надходить на вхід довгочасної пам'яті 1, призначеної для запам'ятовування спрацьовування захисту від перевантаження в разі відключення живлячої напруги, запам'ятовується й надходить на вхід схеми АБО1. У разі збільшення $U_{вх}$ вище спрацьовування другого порогового елемента захисту від струмів короткого замикання останній спрацьовує й запам'ятовується оперативною пам'яттю 1, а потім сигнал оперативної пам'яті запам'ятовується довгочасною пам'яттю 2 і надходить на вхід схеми АБО1, далі – на вхід схеми АБО2.

У разі зниження напруги живлення ТСУ нижче $0,75 U_n$, де U_n – номінальне значення напруги силового ланцюга, надходить сигнал на вхід вузла захисту АД від роботи на зниженій напрузі. Сигнал із виходу цього вузла з регульованою витримкою часу подається на входи оперативної пам'яті 2, де запам'ятовується, і другої схеми АБО2.

Вузол струмових уставок складається із трьох резисторів і кнопки. Уставка спрацьовування захисту встановлюється плавно змінним резистором від $0,4 I_n$ до номінального струму АД за закороченого (кнопкою) першого резистора вузла струмових уставок. З вузла струмових установок сигнал подається на вхід формувача часо-струмової характеристики ланцюгом через резистори, діод і на вхід лічильника. Движок змінного резистора вузла струмових уставок встановлюється в таке положення, за якого досягається поріг

спрацьовування першого порогового елемента і лічильник починає підрахунок вхідних імпульсів. Роботу цього порогового елемента відображає світлодіод «настроювання перевантаження». У разі відпускання кнопки вузла струмових уставок АД лічильник припиняє підрахунок вхідних імпульсів.

Водночас із настроюванням захисту від перевантаження змінним резистором вузла струмових уставок автоматично виставляється й уставка спрацьовування захисту від короткого замикання, що дорівнює $9 I_y$, яка може бути змінена додатковим резистором від $3 I_y$ до $12 I_y$, де I_y – уставка захисту від струмів перевантаження. Формувач часо-струмової характеристики являє собою керований генератор, який складається з ланцюгів RC-контурів, порогового елемента, одновібратора і керованого ключа. Одержання круто спадаючої часо-струмової характеристики досягається наявністю двох ланцюгів заряду конденсаторів від вихідних сигналів вузла струмових уставок ланцюгом, що складається з резисторів, діода і дільника напруги, виконаного на резисторах. Вироблені імпульси генератора надходять на вхід одновібратора, де вони формуються, і з його інверсного виходу надходять на вхід лічильника. Ці ж імпульси із прямого виходу одновібратора через керований ключ розряджають конденсатори RC-контура, що раніше заряджалися. Один із резисторів RC-контура призначений для початкової установки періоду проходження імпульсів генератора (час спрацьовування захисту) за перевантаження, що дорівнює $6I_y$. Період проходження вихідних імпульсів одновібратора дорівнює $0,04$ с.

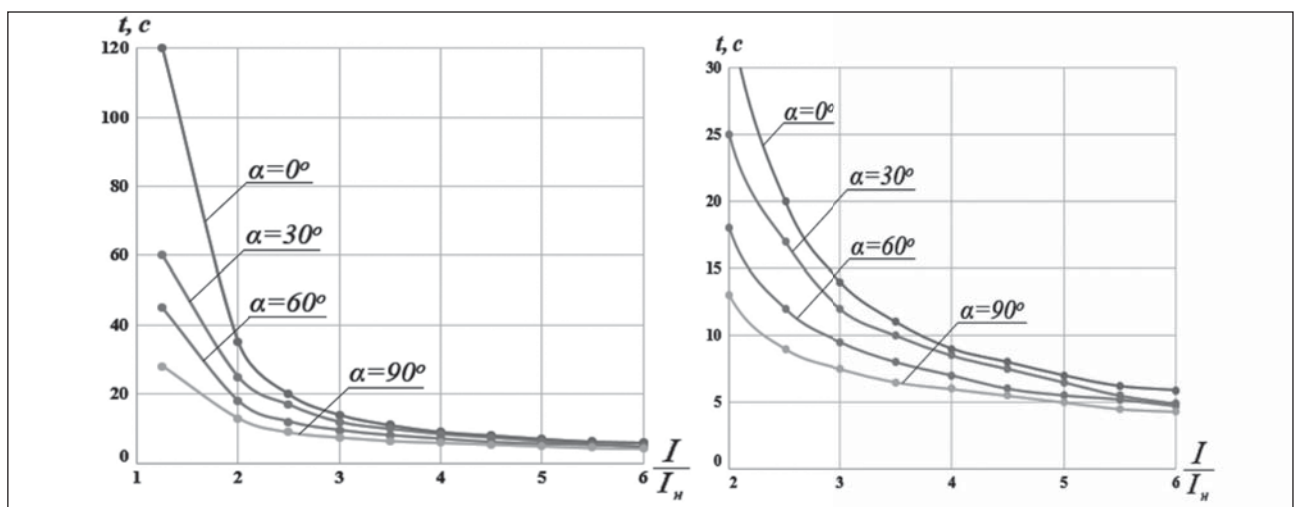


Рис. 3. Часо-струмові характеристики пристрою за різних кутів провідності до 120 с (а) і 30 с (б)

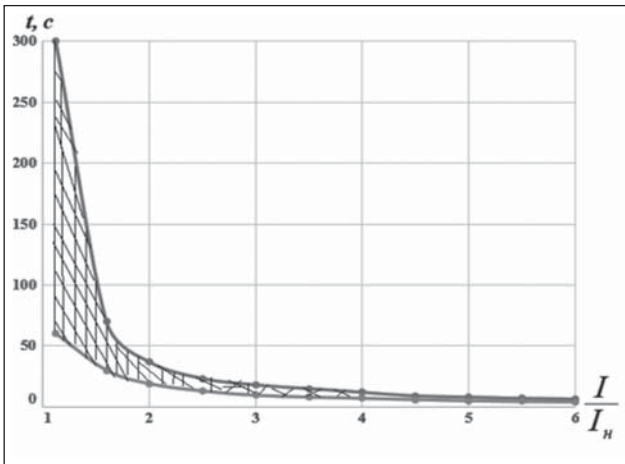


Рис. 2. Зона спрацювання захисту від струмів перевантаження за цілком відкритих тиристорів

За відсутності перевантаження другий пороговий елемент, що має на виході тимчасову затримку, вихід якої з'єднаний із входом установки лічильника в нуль, постійно встановлює лічильник у нульовий стан одиничним рівнем. Тимчасова затримка не дозволяє скидання лічильника, що надходить із виходу першого порогового елемента в разі зняття струмів перевантаження. Час затримки визначається елементами RC-контура і дорівнює 3–4 с. За наявності перевантаження сигнал позитивної полярності з виходу другого порогового елемента заряджає конденсатор, що накопичує. Водночас комутуючий транзистор відкритий, на виході логічного елемента є логічний нуль, який надходить на виводи інших логічних елементів, дозволяючи лічильнику рахувати.

За відсутності перевантаження на виході другого порогового елемента з'являється сигнал негативної полярності та конденсатор, що входить до RC-контура, розряджається, комутуючий транзистор закривається, на виході логічного елемента з'являється логічна одиниця, яка забороняє роботу лічильників.

За виникнення перевантаження величиною $1,25I_n$ і більше подача сигналу на вхід скидання лічильника припиняється, здійснюється підрахунок імпульсів, що надходять з одновібратора. До спрацювання захисту від перевантаження на логічному елементі – логічний нуль і транзистор, що керує першим реле, закритий, котушка реле знеструмлена.

З появою логічної одиниці у відповідних розрядах лічильника на його виході з'являється логічна одиниця, яка надходить на вхід логічного елемента. На виході логічного елемента з відкритим колекторним виходом з'являється також сиг-

нал логічної одиниці, транзистор відкривається й перше реле перемикається. Його контакти розмикаються й обривають ланцюг живлення гальванічної розв'язки в силовому блоці ТСУ. Другий і третій контакти першого реле замикаються, подаючи логічний нуль на входи логічних елементів, водночас знеструмлюється котушка першого реле, засвічується світлодіод «перевантаження». На виході елемента АБО1 з'являється сигнал «Захист 1» і пристрій вимикається. Перше реле являє собою дистанційний перемикач із магнітною пам'яттю й виконує роль довгочасної пам'яті 2 спрацювання захисту від струмів перевантаження.

Час спрацювання захисту від перевантаження за $1,25I_n$ зазвичай не менше однієї хвилини. За температури мінус 40°C (313 К) час спрацювання захисту збільшується до 5 хв. Замикаючи контакти спеціальних перемичок 1–4, 2–4 або 3–4 між собою, можна східчасто змінювати час спрацювання захисту від перевантаження. За перевантаження в $6I_n$ час спрацювання буде становити відповідно 2,5 с, 5 с, 7,5 с.

Зона спрацювання захисту від струмів перевантаження за цілком відкритих тиристорів ТСУ в діапазоні температури навколишнього середовища від мінус 40°C (233 К) до плюс 40°C (313 К) наведена на рис. 2, 3 – часо-струмові характеристики пристрою за різних кутів провідності. У разі виникнення струмів, що перевищують уставку захисту від струмів короткого замикання, сигнал із дільника струмових уставок надходить на вхід другого порогового елемента. З його виходу сигнал надходить на вхід тригера оперативної пам'яті 2 та встановлює на виході елемента АБО1 сигнал «Захист 1», ТСУ вимикається. Водночас засвічується світлодіод «коротке замикання».

Друге реле виконує роль постійної пам'яті 2 спрацювання захисту від струмів короткого замикання. Повторне вмикання ТСУ після спрацювання від струмів короткого замикання можливе лише після натискання кнопки «деблокування захисту».

Водночас тригери елементів пам'яті встановлюються в нульовий стан, перемикаються перше і друге реле, відновлюється ланцюг живлення гальванічної розв'язки та знімається сигнал «Захист 1» – забороняється робота ТСУ.

Вузол захисту від зниження напруги складається з керованого ключа, побудованого на двох логічних елементах, конденсаторі, резисторі та генераторі імпульсів, до складу якого входять: конденсатор, два резистори і транзистор. За нор-

мальної величини живлячої напруги й наявності всіх фаз мережі з панелі живлення ТСУ на вхід керованого ключа (першого логічного елемента) надходить логічний нуль. На його виході буде логічна одиниця. Водночас конденсатор генератора імпульсів заряджений. На вході другого логічного елемента керованого ключа – одиничний рівень, а на виході – нульовий, конденсатор генератора перебуває в розрядженому стані. У разі зниження живлячої напруги нижче встановленого порога або за обриву фаз із панелі живлення ТСУ надходять одиничні імпульси, що розряджають конденсатор генератора за ланцюгом: резистор, вихід першого логічного елемента керованого ключа. Водночас на виході другого логічного елемента з'являється логічна одиниця, конденсатор генератора заряджається від джерела +12В через резистори дільника, що складається із двох резисторів. По закінченні кожного одиничного імпульсу на вході першого логічного елемента конденсатор генератора знову починає заряджатися струмом одиничного рівня, що витікає із входу другого логічного елемента керованого ключа, протягом не менше 20 мс, підтримуючи на вході цього елемента одиничний рівень. За вступу одиничних вхідних імпульсів на вхід першого логічного елемента керованого ключа з періодом проходження меншим 20 мс на виході підтримується безупинно одиничний рівень, конденсатор генератора заряджається до порога спрацьовування транзистора генератора. Останній починає виробляти імпульси, період проходження яких регулюється одним із резисторів генератора.

Імпульси генератора надходять на вхід однобратора. Імпульси однобратора тривалістю приблизно 70 мс через елемент АБО2 вимикають ТСУ. Цей же імпульс устанавлює тригер в одиничний стан. Одиничним сигналом із прямого виходу тригера вмикається світлодіод «зниження напруги», водночас світлодіод «готовність до роботи» блимає, що додатково вказує на наявність зниження напруги або обрив фази. Поріг спрацьовування захисту від зниженого напруги виставляється змінним резистором, що розташований у панелі живлення ТСУ, і може змінюватися від $0,2 U$ до $0,8 U$

(де U – номінальна напруга силового ланцюга). Витримка часу спрацьовування захисту регулюється резистором у межах: $0,15 \text{ с} \leq t \leq 0,4 \text{ с}$.

Для первісної установки всіх тригерів у нульовий стан після включення живлення ТСУ використовується спеціальний логічний елемент. За нормальних живлячих напруг на другому вході першого логічного елемента з'являється логічний нуль, конденсатор заряджається, водночас на виході спеціального логічного елемента з'являється позитивний імпульс тривалістю приблизно 0,1 с, який через додатковий елемент устанавлює всі тригери пристрою в нульовий стан (формує сигнал «Скидання»). Після закінчення 0,1 с (конденсатор зарядився до порога, утвореного дільником на двох резисторах) сигнал «Скидання» зникає, водночас ТСУ перебуває в стані готовності до роботи. Крім того, у панелі ПЗ є схема, яка виробляє сигнал готовності до роботи. Сигнал готовності до роботи видається за умови, що жоден із захистів не спрацював, фазування силових ланцюгів правильне й пристрій забезпечується необхідними оперативними напругами живлення. Тоді на виході логічного елемента з'являється логічний нуль і спалахує світлодіод «готовність». Сигнал «Захист 1» вимикає пристрій і забороняє повторне його вмикання без натискання кнопки «деблокування захисту». Сигнал «Захист 2» вимикає пристрій. Повторне вмикання пристрою можливе без натискання кнопки «деблокування захисту».

Якщо в АД вбудований тепловий захист (далі – ПВТЗ) і він не використовується, то вхід ПВТЗ з'єднується перемичкою на контактах клемника. Сигнал «Частота» використовується під час налагодження панелі УПЗ на стенді підприємством-виробником ТСУ.

Висновки. Впровадження в типові ТСУ уніфікованої панелі захисту для асинхронного двигуна, яка реалізована за допомогою простих і дешевих засобів автоматики, забезпечує безперервну і безаварійну роботу електропривода і робочого механізму. ТСУ з уніфікованою панеллю захисту значно розширюють області використання таких перетворювачів.

Список літератури:

1. Макаров А.М., Сергеев А.С., Крылов Е.Г., Сердобинцев Ю.П. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока. Волгоград, 2016. 192 с.
2. Lobov V.Y. Method for research of parametric control schemes by asynchronous motor. Metallurgical and Mining Industry. 2015. №. 6. P.102–108.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Москва: Академия, 2004. 256 с.

4. Андреев В.А. Микропроцессорный терминал защиты АЕД з короткозамкнутым ротором РДЦ-01, производства ВАТ «Электротехнический завод» РЕЛСіС. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. Москва, 2006. 639 с.
5. Пристрій захисту асинхронного двигуна: пат. 69523 А Україна, МПК H02P 29/04 (2006.01). № 2003042859; заяв. від 2 квітня 2003 р., опубл. 15 вересня 2004 р. Бюл. № 9. 9 с.
6. Зимин Е.Н. Защита асинхронных двигателей до 500 В. Москва; Ленинград: Энергия, 1967.
7. Электродвигатель с блоком защиты и управления: пат. 1462448 СССР: МПК H02H7/09. № 3982940; заявл. 03.12.1985, опубл. 28.02.1989. 3 с.
8. Устройство для защиты трехфазного асинхронного двигателя от обрыва фазы: пат. 1661904 СССР: МПК H02H7/09. № 4606174; заявл. 17.11.1988, опубл. 07.07.1991, 3 с.

ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, УПРАВЛЯЕМОГО ТИРИСТОРНОЙ СТАНЦИЕЙ

В статье впервые предложено использовать структурную схему универсальной панели для защиты асинхронных двигателей мощностью до 400 кВт. Панель позволяет перекрыть диапазон ряда тиристорных станций управления, предназначенных для управления асинхронными двигателями различной мощности, без изменения схемы технических решений. Для реализации панели использованы простые и дешевые средств автоматизации, которые обеспечивают непрерывную работу электрического привода и рабочего механизма.

Ключевые слова: электродвигатель, тиристорная станция управления, панель защиты, структурная схема, характеристики.

PROTECTION OF ASYNCHRONOUS MOTOR WHICH CONTROLLED BY THYRISTOR STATION

In the article for the first time, it is proposed to use the structural scheme of the universal panel for protection of asynchronous motors with the power up to 400 kW. The panel allows blocking the range of a number of thyristor control stations designed to control asynchronous motors of different power levels without changing the circuit-engineering solutions. For realization of the panel, simple and cheap automation means are used, providing continuous operation of electric drive and working mechanism.

Key words: electric motor, thyristor control station, protection panel, structural diagram, characteristics.