

УДК 621.83

Г. А. Сивякова, Л. Г. Лимонов, кандидаты техн. наук

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эксплуатационной надежности промышленных электроприводов посредством их резервирования. Описаны методы и конкретные примеры схемотехнических решений резервирования для регулируемых электроприводов различных механизмов, которые могут использоваться для решения задачи резервирования электроприводов постоянного и переменного тока. Эти решения использованы при разработке регулируемых электроприводов в практической деятельности.

Ключевые слова: электропривод, электродвигатель, резервирование, однодвигательный, многодвигательный, тиристорный преобразователь, преобразователь частоты

G. Sivyakova, PhD., L. Limonov, PhD.

RESERVATION OF INDUSTRIAL ELECTRIC DRIVES

Abstract. The article deals with observation of the issues of increasing the service reliability of industrial electric drive through their reservation. The methods are described, as well as certain examples of circuit reservation solutions for controlled electric drives of different mechanisms that can be used to solve the problem of AC and DC drives' reservation. These solutions are used in the development of controlled electric drives in practice.

Keywords: electric drives, motor, reservation, bypass, single-motor, multi-motor, thyristor converter, frequency converter

Г. О. Сивьякова, Л. Г. Лимонов, кандидаты техн. наук

РЕЗЕРВУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

Анотація. Розглянуто питання підвищення експлуатаційної надійності промислових електроприводів через їх резервування. Наведені методи та конкретні приклади схем технічних рішень резервування для регульованих електроприводів різноманітних механізмів, які можуть бути використані для рушення питань резервування електроприводів постійного та змінного струму. Ці рішення застосовані у розробках регульованих електроприводів у практичній діяльності.

Ключові слова: електропривод, электродвигун, резервування, однодвигунний, багатодвигунний, тиристорний перетворювач, перетворювач частоти

Введение. Задача резервирования электроприводов (ЭП) возникает при проектировании, внедрении или модернизации электроприводов промышленных механизмов, технологический процесс которых предъявляет повышенные требования к надежности и бесперебойности их функционирования. Примеры можно найти в металлургической, химической, горнодобывающей и других отраслях промышленности, где даже временная потеря работоспособности ЭП отдельного механизма способна привести к большому экономическому ущербу для производства, для экологии или к человеческим жертвам.

Одним из наиболее распространенных и эффективных способов повышения надежности ЭП следует считать резервирование. Способ резервирования и объем резервируемой части промышленного ЭП определяется требованиями, предъявляемыми технологическим процессом к допустимому времени простоя оборудования, а также экономичности принимаемых решений [1 – 2]

Как известно, основными составляющими регулируемого ЭП являются электродвигатель, источник питания и аппаратура защиты и коммутации. Резервирование приводного электродвигателя в большинстве случаев нецелесообразно и применяется крайне редко по ряду причин, поэтому основными объектами резервирования в подавляющем большинстве случаев

становятся остальные составные части ЭП. Рассмотрим, как это может быть выполнено для конкретных электроприводов.

Электроприводы постоянного тока. На рис. 1 представлены примеры однолинейных схем резервирования однодвигательных ЭП малой и средней мощности с переключением якорной цепи и цепи обмотки возбуждения.

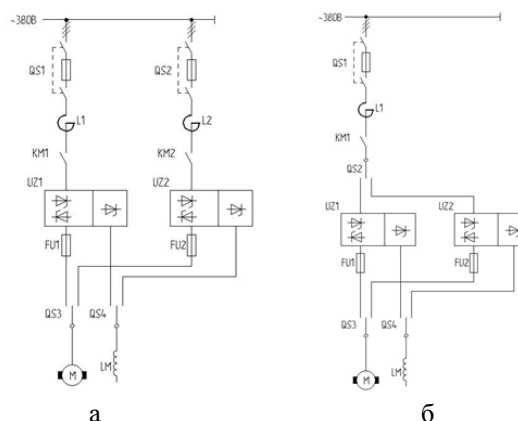


Рис. 1. Резервирование однодвигательного электропривода постоянного тока

В первом варианте выполнено резервирование тиристорного преобразователя (рис. 1, а), защитной и коммутационной аппаратуры, а во втором (рис. 1, б) – резервируется только тиристорный преобразователь.

Выбор типа коммутирующих устройств (QS2, QS3, QS4), переключающих электродвигатель на резервное питание, имеет большое значение. В первую очередь, это определяется возможным временем, которое по технологическим условиям может быть использовано для перевода электродвигателя на резервную схему питания. При необходимости минимизации этого времени, в качестве коммутирующих устройств необходимо использовать контакторы или другие дистанционно управляемые аппараты.

Следует отметить, что применение управляемых аппаратов для переключения приводит к некоторому снижению надежности электропривода, но такое решение имеет немаловажное преимущество: переключение на резерв производится самим оперативным персоналом промышленной установки, без привлечения работников аварийной службы. Это сокращает время простоя технологического оборудования, но требует некоторого увеличения начальных затрат.

При разработке схемы переключения на резервное питание регулируемого ЭП, в состав которого входят датчики скорости или положения, следует уделить особое внимание вопросу использования этих датчиков (тахогенератор, импульсный датчик скорости, датчик положения) в рабочем и резервном вариантах схемы управления.

Одновидельные тиристорные ЭП постоянного тока большой мощности, как правило, подключены к сети напряжением 6 – 10 кВ через индивидуальные понижающие силовые трансформаторы. Соответственно, по аналогии с вышеописанными вариантами, резервирование таких ЭП может быть выполнено тремя способами: с резервированием только тиристорных преобразователей (ТП); с резервированием ТП, коммутирующей и защитной аппаратуры низкого напряжения; с резервированием ТП, коммутирующей и защитной аппаратуры низкого напряжения, а также силового трансформатора и высоковольтного выключателя.

Способы и схемы резервирования двухдвигательного ЭП постоянного тока в определенной степени зависят от кинематической схемы ЭП. Так, при работе электродвигателей на один вал или на общий редуктор, в некоторых случаях возможно применение резервирования путем установки электродвигателей заведомо завышенной мощности. Тогда при выходе из строя одного из электродвигателей, второй принимает на себя всю или значительную часть нагрузки, сохраняя полную или частичную производительность механизма (например, для двухдвигательных электроприводов механизмов подъема особо ответственных подъемных кранов).

Если же двухдвигательный электропривод выполнен по независимой кинематической схеме, для резервирования может быть использована схема, приведенная на рис.2. В этой схеме для резервирования используется третий ТП (UZR) с защитной и коммутационной аппаратурой и четыре двухполюсных трехпозиционных коммутатора (QS3, QS4, QS5, QS6).

Возможен вариант схемы, аналогичный схеме резервирования рис. 1, б с резервированием только тиристорных преобразователей, но с увеличением

количества коммутаторов до шести. Мощность резервного тиристорного преобразователя UZR в схеме рис. 2 выбирается по мощности большего из электродвигателей M1 и M2. В этом случае при подключении одного из электродвигателей к резервному питанию одновременно производится перепараметрирование системы регулирования скорости UZR на параметры подключаемого к UZR электродвигателя.

Схема, аналогичная рис. 2, может быть использована с различными по объему вариантами резервирования и для двухдвигательного ЭП большой мощности, ТП которого подключены к сети 6(10) кВ через силовые трансформаторы.

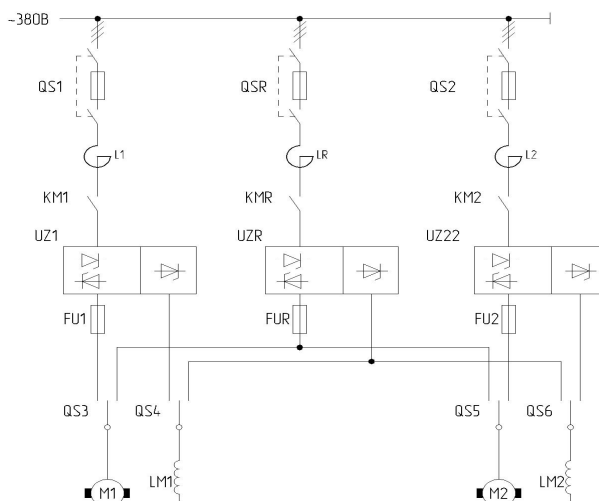


Рис. 2. Резервирование двухдвигательного электропривода постоянного тока

Например, если электродвигатели приводят во вращение один механизм, применяется метод увеличения суммарной установленной мощности приводных электродвигателей, а резервирование производится путем выведения из работы аварийного электродвигателя с последующим распределением нагрузки между оставшимися в работе электродвигателями (электропривод механизмов поворота конвертеров и механизмов передвижения роторных экскаваторов) [3]. Для ЭП перемещения фурм машин подачи кислорода в конвертер [4], кроме обычного резервирования двух рабочих, используется резервный электрический или пневматический привод. Он используется для подъема фурмы из горловины конвертера в аварийных ситуациях.

В случаях, когда двигатели многодвигательного ЭП приводят во вращение отдельные механизмы единой технологической установки, для резервирования применяется схема, в которой используется один резервный комплект питания и защиты для всех ЭП, например, для главных приводов клетей и моталок пятиклетевого стана 1700 бесконечной холодной прокатки [5]. В качестве коммутаторов больших номинальных токов электродвигателей (до 5000 А) в этой схеме использованы специальные шинные накладки с ручным приводом, разработанные НИИ ХЭМЗ, г. Харьков.

Электроприводы переменного тока. Резервирование однодвигательных и двухдвигательных регулируемых ЭП переменного тока малой и средней мощности, построенных по схеме преобразователь частоты (ПЧ) – асинхронный или синхронный с постоянными магнитами двигатель выполняется на принципах и с использованием схемных решений, аналогичных подобным ЭП постоянного тока (рис.1). Отличие заключается в снижении требуемого количества коммутаторов для переключения на резерв, благодаря отсутствию необходимости переключать обмотку возбуждения [6 – 7].

В схеме с использованием ПЧ модульной конструкции можно выполнить резервирование в нескольких вариантах: резервировать все модули ПЧ, защитную и коммутационную аппаратуру (рис. 3, а); резервировать только модули ПЧ при сохранении одного комплекта защитной и коммутационной аппаратуры; резервировать только модуль инвертора при сохранении одного модуля выпрямителя и одного комплекта защитной и коммутационной аппаратуры (рис. 3, б).

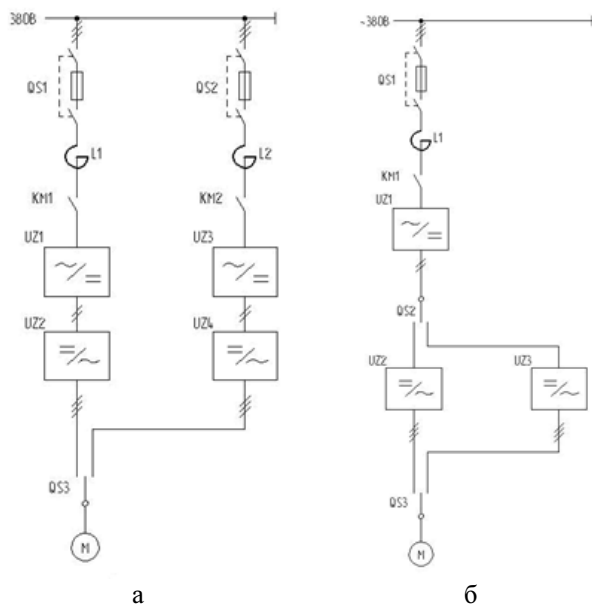


Рис.3. Резервирование однодвигательного электропривода переменного тока

Различные варианты резервирования на примере ЭП сталеплавильного и шахтного оборудования детально рассмотрены в [8 – 9].

Применение модульных ПЧ для двухдвигательных ЭП повышенной мощности позволяет реализовать схемы с индивидуальным или общим звеном постоянного тока. В таких схемах возможно резервирование отдельных модулей, например, только модулей инверторов, учитывая более высокую надежность модуля выпрямителя (рис. 4).

Резервирование многодвигательного ЭП малой и средней мощности, в котором применены ПЧ комплектной конструкции, может быть выполнено путем использования одного резервного ПЧ с возможностью подключения к нему любого из электродвигателей. Если же речь идет о резервировании многодвигатель-

ного ЭП большой мощности, выполненного на базе модульных ПЧ, то можно применить различные варианты схемных решений, которые отличаются объемом резервируемого электрооборудования и стоимостью резервирующего.

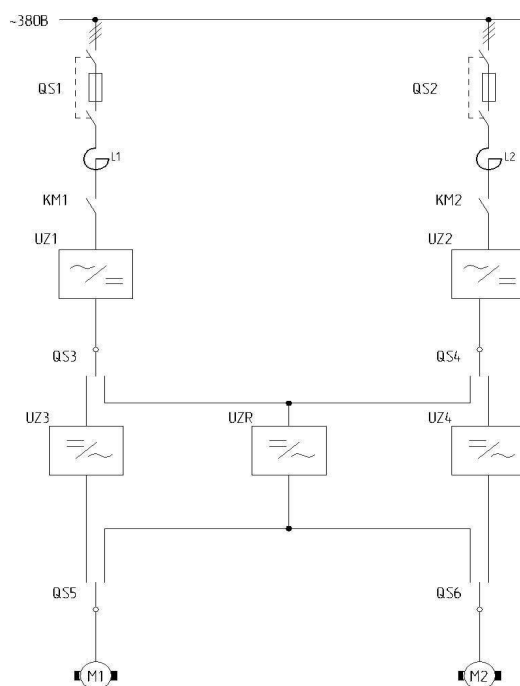


Рис. 4. Резервирование двухдвигательного электропривода переменного тока

Высокие требования по надежности предъявляются к многодвигательным ЭП механизмов подъемных кранов. Система питания ЭП такого крана строится, как правило, по схеме с общим звеном постоянного тока и индивидуальными инверторами. Резервирование ЭП таких кранов выполняется не только путем применения дополнительного резервного электрооборудования, но и за счет выбора элементов двух- и многодвигательных ЭП отдельных механизмов. В этом случае при выходе из строя одного из электродвигателей, второй обеспечивает работоспособность механизма, а значит, и всего крана, возможно иногда и с некоторой потерей производительности. Примером может служить ЭП скраповозалочной машины конвертерного цеха, которая оборудована двумя одинаковыми завалочными тележками. Электроприводы тележек полностью автономны по питанию, каждая имеет резервируемое общее звено постоянного тока, имеются резервный инвертор для механизмов главного подъема и индивидуальные модули инверторов электродвигателей каждого механизма. При выходе из строя любого из модулей инверторов кран сохраняет работоспособность за счет завышенной мощности электродвигателей.

Другим примером [10 – 11] является электропривод литейного крана грузоподъемностью 275/70/16т. Однолинейная схема ЭП такого литейного крана приведена на рис. 5. В этой схеме резервированы модули звена постоянного тока, а электродвигатели питаются от индивидуальных модулей инверторов.

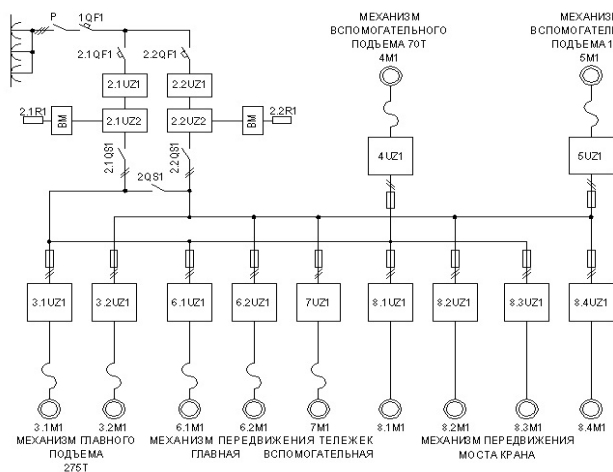


Рис. 5. Однолинейная схема электроприводов литейного крана

Заключение. Резервирование современных регулируемых электроприводов, в которых используются регулируемые источники питания электродвигателей с цифровым микропроцессорным управлением, представляет собой один из способов существенного повышения надежности подобных ЭП, а тем самым и повышения производительности соответствующих промышленных механизмов.

Список использованной литературы

1. Выбор способа резервирования для системы управления электроприводом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.macro-econom.ru/econom-3588-1.html>, свободный. Загл. с экрана – 25.11.2014.
2. Цытович Л. И. Система управления группой асинхронных электроприводов с самодиагностированием и автоматическим резервированием каналов регулирования / Л. И. Цытович, О. Г. Терешина, М. М. Дудкин // *Электротехника*. – 2006. – № 11. – С. 38 – 44.
3. Лимонов Л. Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. – Харьков : «Форт», 2009. – 268 с.
4. Дубенецкий А. С. Электропривод подъемного механизма фурм сталеплавильного конвертера / А. С. Дубенецкий, Л. Г. Лимонов, В. П. Моргулис // *Подъемные сооружения. Специальная техника*. – Одесса : ООО «Крантест» – 2013. – № 11(141). – С. 21 – 23.
5. Шеметова А. А. Разработка методики анализа надежности автоматизированных электроприводов прокатных станов при реконструкции: диссертация канд. техн. наук. – Магнитогорск, 2009. – 151 с.
6. Однокопылов Г. И. Исследование отказоустойчивого электропривода со структурным резервированием / Г. И. Однокопылов, А. Д. Брагин // *Труды XXIV Международной заочной науч.-практич. конференции «Технические науки – от теории к практике»*, 7 августа 2013 г. – Новосибирск : СибАК, 2013. – С. 141 – 145.
7. Брылина О. Г. Электропривод автономного объекта с автоматическим диагностированием и резервированием каналов регулирования / О. Г. Брыли-

на, Л. И. Цытович // *Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 63-й науч. конф.* / Юж.-Урал. гос. ун-т. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ. – 2011. – Т. 2. – С. 158 – 160.

8. Кузнецова Л. Н. Конструирование регулируемых электроприводов дымососов сталеплавильного производства / Л. Н. Кузнецова, Л. Г. Лимонов // *Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит*. – Харьков : – 2014. – № 1. – С. 40 – 46.

9. Иванцов В. В. Резервирование преобразователя частоты в электроприводе шахтной подъемной машины. [Электронный ресурс] / *Электрон. дан.* – Режим доступа: <http://www.erasib.ru/eraton-vg+npch>, свободный. – Загл. с экрана – 19.11.2014.

10. Бондаренко С. Н. О повышении надежности электроприводов крановых механизмов / С. Н. Бондаренко, Л. Г. Лимонов // *Подъемные сооружения. Специальная техника*. – Одесса : – 2009. – № 10. – С. 11– 12.

11. Дубенецкий А. С. Многодвигательная электромеханическая система литейного крана / А. С. Дубенецкий, Л. Г. Лимонов, С. В. Потапов // *Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. (Специальный выпуск)*. – Харьков : – 2013. – № 36 (1009). – С. 171 – 174.

Получено 15.05.2015

References

1. Vybora sposoba rezervirovaniya dlya sistemi upravleniya elektroprivodom [Selecting the Method for Reserving Electric Drive Control System], (2014), (In Russian), available at: <http://www.macro-econom.ru/econom-3588-1.html>, free (accessed 25.11.2014).
2. Tsitovich L.I., Tereshina O.G., and Dudkin M.M. Sistema upravleniya gruppoy asinkhronnykh elektroprivodov s samodiagnostirovaniem i avtomaticheskim rezervirovaniem kanalov regulirovaniya [The Control System Group of Asynchronous Electric Drives with Own Diagnostics and Automatic Reserving of Channels of Control], (2006), *Elektrotehnika*, No. 11, pp. 38 – 44 (In Russian).
3. Limonov L.G. Avtomatizirovannyy elektroprivod promychlennykh mekhanizmov [Automated Electric Drive of Industrial Machinery], (2009), Kharkov, Ukraine, “Fort”, 268 p. (In Russian)
4. Dubenetsky A.S., Limonov L.G., and Morgulis V.P. Elektroprivod podemnogo mekhanizma furn staleplavilnogo konvertera [Electric Drive of Lifting Mechanism of Tuyeres of Steelmaking Converter], (2013), *Lifting Equipment. Special Technique*, Odessa, Ukraine, “Krantest”, No. 11 (141), pp. 21 – 23 (In Russian).
5. Shemetova A.A. Razrabotka metodiki analiza nadezhnosti avtomatizirovannykh elektroprivodov prokatnykh stanov pri rekonstrukcii [Development of Methodology for the Analysis of Reliability Automated Electric Drives of Rolling Mills at Reconstruction], (2009), *Dssertation c.t.s.*, Magnitogorsk, Russian Federation (In Russian).

6. Odnokopylov G.I., and Bragin A.D. Issledovanie otkazoustoychivogo elektroprivoda so strukturnym rezervirovaniem [Investigation of Failover Electric Drive with Structural Reservation], (2013), *Proceedings of the XXIV International Extramural Scientific-practical Conference "Technical Sciences – from theory to Practice": a Collection of Articles Based on Materials the XXIV International Correspondence Scientific-practical Conference (7 August 2013)*; Novosibirsk, Russian Federation, *SeebAK*, pp. 141 – 145 (In Russian).

7. Brylina O.G., and Tsitovich L.I. Elektroprivod avtonomnogo obekta s avtomaticheskim diagnostirovaniem i rezervirovaniem kanalov regulirovaniya [Electric Drive of Autonomous Object with Automatic Diagnosis and Reservation of Control Channels], (2011), *Science SUSU. Section of Technical Sciences: Proceedings of 63th Scientific. Conf. Sous-Ural. State University, Chelyabinsk, Russian Federation, SUSU Publishing Center*, Vol.. 2, pp. 158 – 160 (In Russian).

8. Kuznetsova L.N., and Limonov L.G. Konstruirovaniye reguliruemykh elektroprivodov dymosovov staleplavilnogo proizvodstva [Designing of Adjustable Electric of Smoke Exhausts of Steelmaking Production], (2014), *"Energetika. Energoberezhenie. Ergoaudit"*.-Kharkiv, Ukraine, No. 1, pp. 40 – 46 (In Russian).

9. Ivantsov V.V. Rezervirovaniye preobrazovatelya chastoty v elektroprivode shakhtnoy podemnoy mashiny [Reservation of Frequency Converter in the Electric Drive of Mine Hoisting Machine], (2014), (In Russian), Available at: <http://www.erasib.ru/eraton-vr+npch>, free (accessed 19.11.2014).

10. Bondarenko S.N., and Limonov L.G. O povyshenii nadezhnosti elektroprivodov kranovykh mekhanizmov [About Improving the Reliability of Electric Drives of Crane Mechanisms], (2009), *"Lifting Equipment. Special Technique"*, Odessa, Ukraine, No. 10, pp. 11 – 12 (In Russian).

11. Dubenetsky A.S., Limonov L.G., and Potapov S.V. Mnogodvigatel'naya elektromekhanicheskaya sistema liteynogo krana [Multiengine Electromechanical System of Foundry Crane], (2013), *"Problems of automated Electric Drive. Theory and Practice (Special Edition)"*, Kharkov, Ukraine, No. 36 (1009), pp. 171 – 174 (In Russian).



Сивякова
Галина Александровна;
канд. техн. наук, доцент, заведующая каф. электроэнергетики и автоматизации технических систем Карагандинского государственного индустриального ун-та.
101400 Казахстан, г. Темиртау, пр. Республики.
Тел.: +3 087 017382785.
E-mail: galina-siv@mail.ru



Лимонов
Леонид Григорьевич;
канд. техн. наук, главный специалист отдела ЧАО «Тяжпромавтоматика».
61072, Харьков, пр. Ленина, 56,
тел.: (057)7586488.
E-mail: lgl@tpa5.com.ua