

УДК 621.311

## **ВЛИЯНИЕ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТИ 0,4 КВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Гуревич В.И. , к.т.н.

*Центральная лаборатория электрической компании Израиля*

Савченко П.И., д.т.н.,

Мороз С.А., инженер,

Сорокин М.С., инженер

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

Тел. (057) 712-50-56

**Аннотация** - в статье рассматриваются вопросы влияния провала напряжения на работу АД и режим питания мощного контактора переменного тока при кратковременных провалах напряжения в сетях 0,4 кВ промпредприятий. Предлагается решение, основанное на удержании контактора в замкнутом положении при кратковременных провалах напряжения.

**Ключевые слова** – провал напряжения, асинхронный двигатель, механические характеристики, скольжение, контактор, таймер, катушка управления, блок контакты, аккумуляторная батарея.

*Постановка проблемы.* Повышение надежности работы электрооборудования при снижении качества напряжения питающей сети.

*Анализ последних исследований.* Как известно, основными причинами провалов напряжения в сетях 0,4 кВ собственных нужд подстанций являются короткие замыкания во внешних сетях высокого напряжения. На промышленных предприятиях и некоторых предприятиях АПК такие провалы напряжения часто связаны также с режимом работы мощного силового электрооборудования, например, пуском мощных электродвигателей. Провалы напряжения являются одним из показателей качества электроэнергии, нормируемых в ГОСТ 13109-97 [1], а также в международном стандарте ИЕС 61000-4 [2, 3]. ГОСТ 13109-97 дает следующее определение термину «провал напряжения»: «провал напряжения – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему

уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд». Близкое к этому определение термину: “dip” - аналогу русского термина «провал напряжения» - дает и стандарт IEC 61000-4: по напряжению это уровни ниже  $0,8U_{ном}$  номинального значения (вплоть до нуля), и по длительности от 10 миллисекунд до 15 секунд (рис.1). Согласно рис.1а., на рис.1б. показаны механические характеристики асинхронного электродвигателя (АД) (1- при  $U=U_{ном}$ ; 2 – при  $U=0,7U_{ном}$ ), приводящего в движение рабочую машину, которая имеет момент сопротивления  $M_c$  (3), не зависящий от скорости, т.е.  $M_c = const$ . Это наиболее тяжелый случай по сравнению с машинами, у которых момент  $M_c \sim \omega^x$ , т.е. с уменьшением скорости снижается  $M_c$ .

При номинальном напряжении  $U_{ном}$  питания АД, он работает в точке *в* со скольжением двигателя *s*. После провала напряжения до  $U=0,7U_{ном}$  механическая характеристика из положения (1) переходит в положение (2). Под действием момента сопротивления  $M_c$  (см. на рис.1б заштрихованную площадь недостаточного момента) электродвигатель начнет тормозиться, т.е. ток его повышается, а скорость снижается до величины предельно допустимого скольжения  $s'$  с точки зрения динамической устойчивости электропривода, получаемое в точке (а) пересечения механических характеристик рабочей машины и АД. Если до того, как скольжение станет равным  $s'$  произойдет восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня, то АД сможет снова вернуться в устойчивое состояние работы в точке «в» при скольжении *s*. При этом возникает большая кратность толчка тока. Такое явление возникает при питании ответственных потребителей, когда обеспечивается сохранение двигателя в работе при провалах напряжения.

Однако не всегда предоставляется возможным допускать привод до предельного скольжения вследствие значительного падения скорости, неприемлемого для рабочей машины по условиям технологического процесса [4]. Поэтому на практике ограничиваются, например величиной скольжения соответствующего критического.

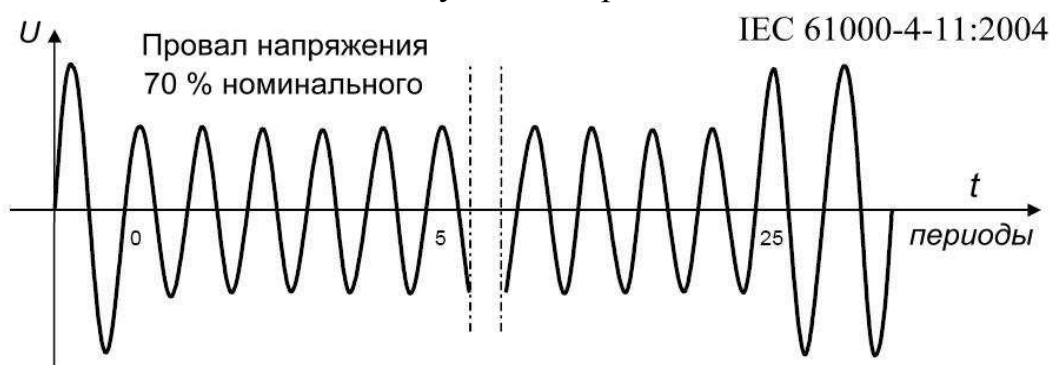


Рис. 1а.

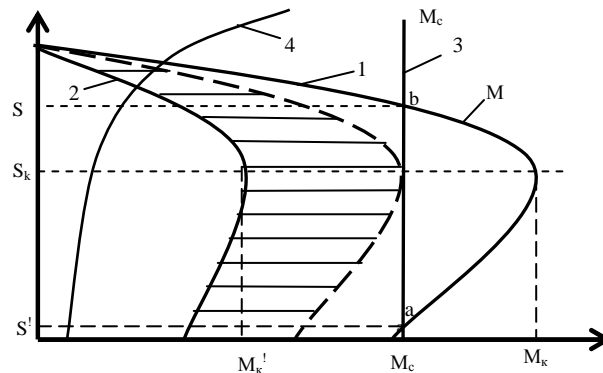


Рис. 1б.

Провалы напряжения в сети 0,4 кВ на промышленных предприятиях могут быть связаны с серьезными нарушениями производственного цикла, вызванных массовым выключением (из-за отпадания магнитных пускателей или контакторов), с последующим самозапуском большого количества электродвигателей, что само по себе вызывает значительное снижение напряжения в сети, усугубляющее проблему [4, 5]. Как показано в [6], за время отсутствия напряжения на электродвигателе в течение 0,3–0,5 сек, векторы остаточной ЭДС электродвигателей могут оказаться в противофазе с вектором напряжения сети. В результате, в момент восстановления питания электродвигателей возникнет большой импульс тока, который может вызвать срабатывание электромагнитных расцепителей защитных автоматов и окончательное отключение электродвигателей. С другой стороны, кратковременные провалы напряжения длительностью менее 300 мс (наиболее распространенные в сети) не приносят особого вреда электродвигателям. По этим причинам, меры борьбы с провалами напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий обычно включают в себя различные технические решения, направленные на предотвращение (задержку) отключения контакторов в цепи главного питания сети 0,4 кВ; на применение специальных быстродействующих (динамических) регуляторов напряжения, способных компенсировать провалы напряжения; агрегатов бесперебойного питания и т.п. Поскольку последние два метода борьбы с провалами напряжения в мощной сети весьма дороги, то разрабатываются различные электронные устройства [7, 8], обеспечивающие питание контактора переменного тока небольшой мощности от источника постоянного тока и подпитку катушки управления (удерживающей контактор во включенном состоянии) во время кратковременных провалов напряжения. Как известно, в процессе срабатывания контактора переменного тока имеет место значительное изменение тока, потребляемого катушкой управления,

что обеспечивает значительное изменение тягового усилия подвижной части сердечника. При питании катушки управления от источника постоянного тока такого изменения тягового усилия не происходит, в результате чего контактор, конструкция которого рассчитана на переменный ток, не сможет нормально работать. В упомянутых выше электронных устройствах используется четыре уровня постоянного напряжения питания катушки управления, симулирующие естественную тяговую характеристику контактора при включении его на переменном токе. Эти электронные устройства с управлением на микросхемах не предназначены для питания мощных контакторов переменного тока с малым сопротивлением катушки управления (10 – 15 Ом) и большими пусковыми токами. Например, мощность, потребляемая катушкой управления контактора ЗТФ54 в момент включения составляет 1,6 кВА на переменном токе и 1,2 кВт на постоянном (со специальной пусковой катушкой).

*Формирование цели.* Для борьбы с кратковременными провалами напряжения в сети переменного тока. Разработать устройство удерживающие в замкнутом положении контакторов большой мощности переменного тока.

*Основная часть.* В связи с этим, для крупных контакторов переменного тока с мощной катушкой управления нами разработано специальное устройство, работающее на ином принципе (рис. 2). Это устройство содержит реле напряжения КУ, таймер КТ, реализующий стандартную функцию “Impulse-ON”, а также простейший источник питания постоянного тока, включающий понижающий трансформатор Т, мощный выпрямительный мост VD2 и низковольтный конденсатор С1 большой емкости.

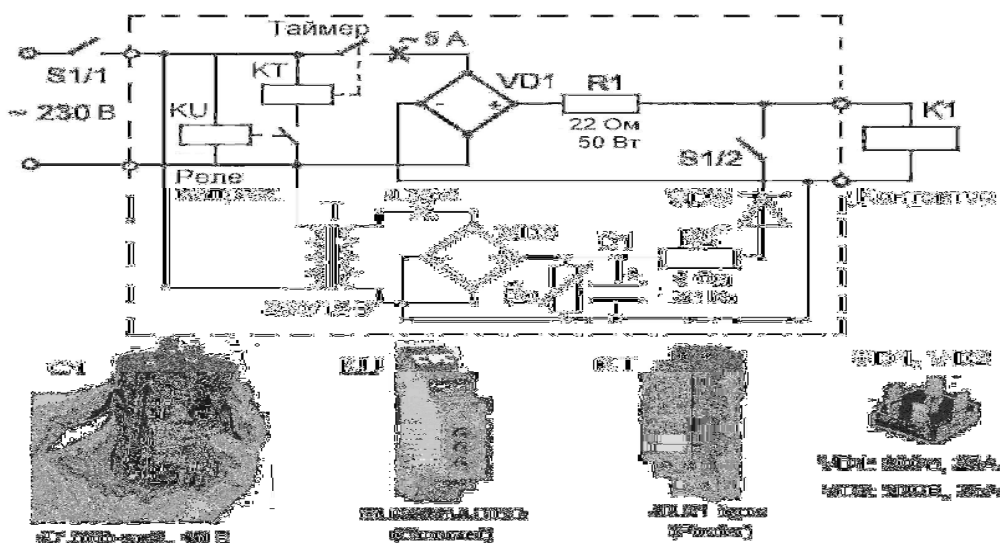


Рис. 2.

При замыкании контактов S1/1 и S2/2 внешнего управляющего реле, напряжение сети переменного тока поступает на реле напряжения КУ. Это реле срабатывает в том случае, если поданное на него напряжение превышает минимально допустимое значение (в нашем случае это напряжение выше 180 В) и замыкает свой выходной контакт, подавая питание на таймер КТ. Таймер мгновенно срабатывает и своим замыкающимся контактом подключает катушку контактора к сети переменного тока через выпрямитель VD1 и ограничительный резистор R1. Через катушку контактора протекает постоянный ток около 5А, эквивалентный по создаваемому им электромагнитному усилию, пусковому току при обычном включении катушки контактора в сеть переменного тока. Одновременно с этим быстро заряжается конденсатор С1. Благодаря наличию диода VD3 конденсатор С1, заряжаемый от источника постоянного напряжения 12 В, оказывается отделенным от катушки контактора и от высокого напряжения подаваемого в этот момент времени на катушку контактора. Через 2-3 секунды после срабатывания контактора (время определяется уставкой таймера КТ) таймер своим контактом разрывает цепь повышенного тока. При этом диод VD3 мгновенно деблокируется и низковольтный источник питания с заряженным конденсатором С1 оказывается подключенным к катушке контактора. С этого момента времени питание катушки контактора осуществляется пониженным постоянным током, дополнительно ограничиваемым низкоомным резистором R2. Величина этого резистора требует подбора для конкретного типа контактора. Для рассматриваемого контактора типа ЗТФ54 величина этого резистора составляет 5 Ом. Именно при таком сопротивлении обеспечивается надежное удержание контактора в замкнутом положении при длительном снижении входного напряжения до 140 - 130 В и, одновременно, обеспечивается допустимая температура нагрева катушки, не превышающая 50 - 60 градусов.

Проведенные исследования показали, что при питании катушки контактора пониженным постоянным током, его чувствительность к снижению величины питающего напряжения резко снижается. Например, в рассматриваемом примере контактор удерживался в замкнутом положении при снижении напряжения на катушке с 12 вольт до 2 – 3 вольт, то есть в 4 – 6 раз. Это положительное свойство используется в описанном устройстве для обеспечения удержания контактора при кратковременных понижениях напряжения в сети. При очень глубоких провалах напряжения или даже при полном его исчезновении удержание контактора производится за счет энергии конденсатора С1. По результатам выполненных испытаний оказалось, что относительно небольшой по размерам конденсатор емкостью 47.000 мкФ на напряжение 40 В способен удерживать мощный контактор (в на-

шем случае типа ЗТФ54) в течение 1,3 – 1,5 с, что вполне достаточно для компенсации реально существующих в сетях кратковременных перерывов напряжения.

Диодный мост VD2 выбран со значительным запасом по току из-за протекающего через него импульса зарядного тока конденсатора. При кратковременных исчезновениях напряжения в сети переменного тока или снижения его до уровня ниже 170 В реле напряжения КУ размыкает свой контакт и отключает питание таймера КТ. При этом положение выходного контакта таймера не изменяется, и катушка контактора продолжает получать питание от низковольтного источника питания постоянного тока до восстановления напряжения в сети или, наоборот, до полного исчерпания энергии конденсатора (если имело место глубокое снижение напряжения или полное его про падание), после чего контактор отключится. При восстановлении напряжения в сети до уровня не менее чем 180 В реле напряжения КУ вновь сработает и подаст питание на таймер, при этом описанный выше цикл работы устройства повторяется.

Функция “Impulse-ON”, которую иногда называют также “Interval”, “Fleeting”, “Single Shot”, “Power ON”, “Single Shot Leading Edge”, “Rising Edge Pulse” не являются чем-то экзотическим, а представляет собой стандартную функцию, обозначаемую, иногда, как функция номер 21. Эта функция относится к простейшим функциям таймеров и заключается она в том, что выходной контакт таймера замыкается мгновенно с подачей питания на таймер, а размыкается он по истечении заданного интервала времени. Таким образом, таймер как-бы формирует одиночный импульс. Таймеры, реализующие такую функцию, широко представлены на рынке. Это, например, таймеры типов РВО-Р-У, РВО-П2, РВО-П3 (ЗАО «Меандр», С.- Петербург) и многие другие.

К сожалению, только немногие из них, например, типов: 81.01, 80.01, 80.21 (Finder); 821 (Magnecraft); 4604 (Artizan) и некоторые другие снабжены мощным выходным контактом, достаточным для управления крупными контакторами переменного тока. При использовании таймеров с маломощным выходным контактом придется использовать дополнительное промежуточное реле с контактами достаточной мощности, включенных в схему вместо контактов таймера.

В качестве реле пониженного напряжения можно использовать любые имеющиеся на рынке устройства с регулируемым порогом срабатывания и гистерезиса, не требующие отдельного источника питания. Этим требованиям удовлетворяют реле типа SUA145 (Bender); EUS (EID Electronics), MUS260ACDC (Crouzet); M200-V1U (Multitek); RM4-UB3 (Telemecanique), и др.

Устройство собрано в закрытом пластмассовом корпусе с размерами 210x160x90 мм. Совершенно очевидно, что предложенное устройство можно с успехом применять и с контакторами средней и даже малой мощности, при этом емкость удерживающего конденсатора и мощность трансформатора (а, следовательно, и их цена и габариты) могут быть существенно уменьшены.

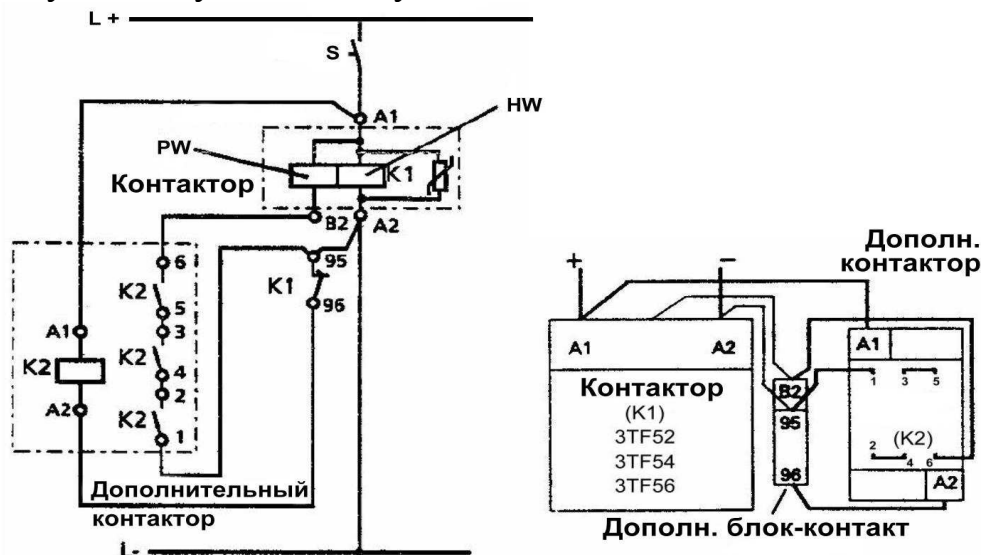


Рис. 3.

Следует отметить, что некоторые производители (в том числе, компания Siemens - изготовитель мощных контакторов серии 3TF5) предусматривают питание своих контакторов от сети постоянного тока. В этом случае катушка управления контактора может питаться от сети постоянного тока с мощными аккумуляторами, что обеспечивает полную независимость состояния контактора от провалов напряжения в сети переменного тока. Это еще один путь решения проблемы, однако, и его осуществить не так-то просто из-за упомянутой выше необходимости создания большого пускового тока при включении контактора при разомкнутой магнитной системе. Siemens предлагает для своих контакторов серии 3TF5 использование двух специальных катушек управления: мощной катушки включения (PW) и маломощной катушки удержания (HW) (рис. 3). Переключение с одной катушки на другую после срабатывания контактора (K1) производится с помощью вспомогательного контактора K2 с набором мощных контактов, соединенных последовательно (для размыкания высокоиндуктивной нагрузки при напряжении 240 В постоянного тока), и дополнительного блок-контакта основного контактора.

При наличии мощной аккумуляторной батареи в сети постоянного тока и возможности подведения постоянного напряжения к месту установки контактора, эта задача может быть решена более интелли-

гентным методом, чем это предлагает Siemens. Всего лишь два не очень дорогих покупных изделия требуется для реализации этого решения: уже упомянутый таймер типа 81.01 (Finder) и небольшой импульсный источник питания с выходным напряжением 12 В и током 1,2 А (рис. 4). Стоимость двух этих элементов составляет, примерно 80 GBP.

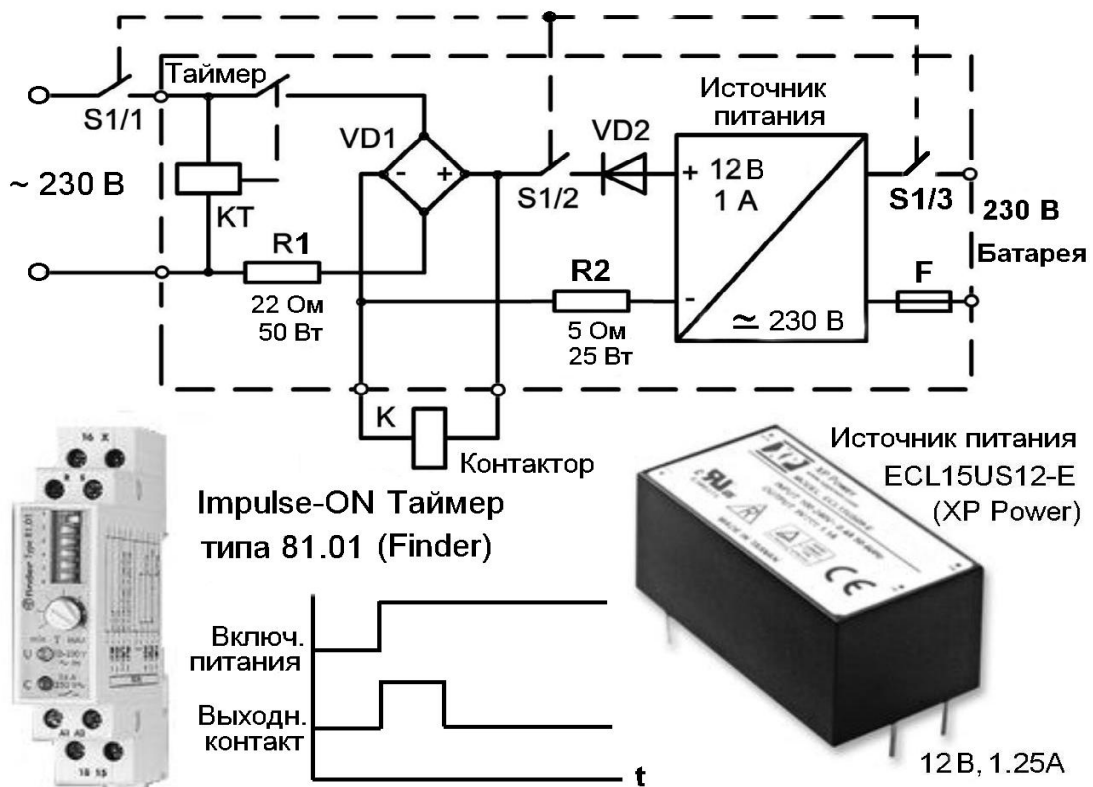


Рис.4.

*Вывод.* Для промышленных предприятий с преобладанием электродвигательной нагрузки должны применяться различные методы борьбы с кратковременными провалами напряжения в сети переменного тока. В данном случае может быть использовано описанное устройство с удерживающим конденсатором, пригодное для контакторов даже большой мощности.

#### Литература

- ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. «Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения». Правила устройств электроустановок. Изд.6.- М.: Главэнергонадзор России, 1998.
- IEC 61000-4-11 Ed. 2.0 b:2004. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests.



3. IEC 61000-4-34 Ed. 1.0 b:2005. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-34: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase.
4. Гейлер Л. Б. Основы электропривода : учебн. пособ. для студ.обуч.по спец.»Электропривод и автоматизация промышленных установок »] / Л.Б.Гейлер; допущ. Минист. высш.и сред.спец. образ. СССР. – Минск.: « Вышэйшая школа», 1972. - 608 с.: Библиогр.: с.604 – 608.
5. C. J. Melhorn , T. D. Davis, G. E. Beam. “Voltage Sags: their impact on the utility and industrial customers”. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, No. 3, 1988, pp. 549-558.
6. M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, M. J. Samotyj. “Voltage sags in industrial systems”. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, No. 2, 1993, pp. 397-404.
7. Фишман В. Провалы напряжения в сетях промпредприятий. /В.Фишман – Новости Электротехники, 2004, № 5 (29), 6 (30).
8. A. Kelley, J. Cavaroc, J. Ledford, L. Vassalli. “Voltage regulator for contactor ride-through”. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 36, No. 2, 2000, pp. 697-703.

### **ВПЛИВ ПРОВАЛІВ НАПРУГИ В МЕРЕЖІ 0,4 кВ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Гуревич В.И., Савченко П.И., Мороз С.О., Сорокин М.С.

**Анотація** - у статті розглядаються питання впливу провалу напруги на роботу АД та режим живлення потужного контактора змінного струму при короткочасних провалах напруги в мережах 0,4 кВ промпідприємств. Пропонується рішення, засноване на втриманні контактора в замкнутому положенні при короткочасних провалах напруги.

### **INFLUENCING OF FAILURE OF TENSION IN NETWORKS 0,4 kV INDUSTRIAL ENTERPRISES**

V.Gurevich, P.Savchenko, M.Sorokin

#### **Summary**

**In the article the questions of influencing of failure of tension on work of asynchronous electric motor and diet powerful contactor of alternating current are examined at the brief failures of tension in**

**networks 0.4 kV industrial enterprises. Solution is offered based on withholding of contactor in the reserved position at the brief failures of tension.**