

УДК 621.313 (075.3)

ОБ ОДНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

Докт. техн. наук, проф. АНИЩЕНКО В. А.,
инженеры МАЙСТРОВИЧ А. Г., ЛЕСОТА А. В.

Белорусский национальный технический университет

Надежность работы электромагнитных пускателей определяется в основном состоянием их контактной системы. Так, при включении асинхронных электродвигателей пусковой ток до шести раз превышает номинальный. При таком токе даже небольшая вибрация контактов может быстро вывести их из строя. Это диктует высокие требования к вибрации и износостойкости контактов. Надежность работы магнитных пускателей обеспечивается совершенствованием конструкции контактной системы. Ниже рассматривается возможность повышения надежности пускателей путем резервирования их контактов.

Реверсивный магнитный пускатель (рис. 1) может работать в режимах ручного включения, ручного отключения, ручного реверса, отключения при токовой перегрузке, отключения при понижении напряжения [1].

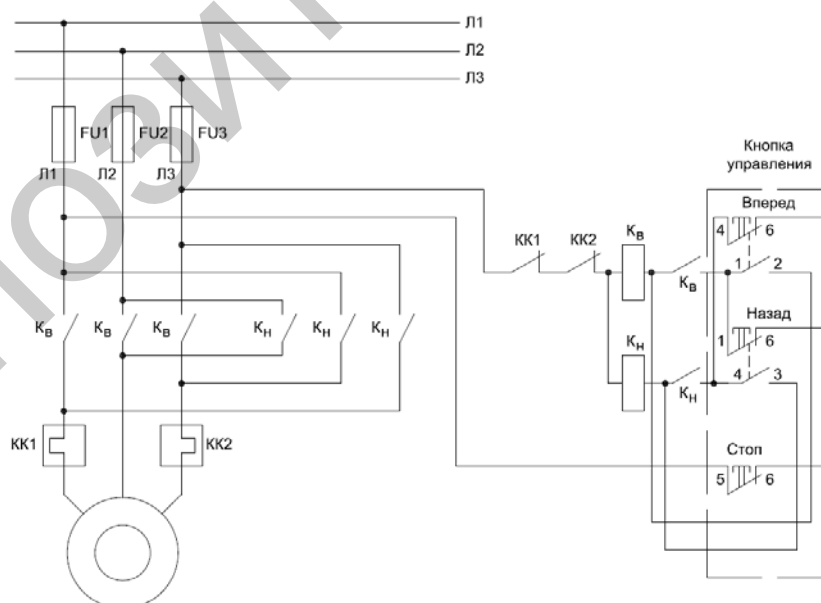


Рис. 1. Схема реверсивного магнитного пускателя

Каждому режиму работы соответствует определенная последовательность срабатывания элементов пускателя, на основании каждой из них построены логические схемы для анализа его надежности (рис. 2).

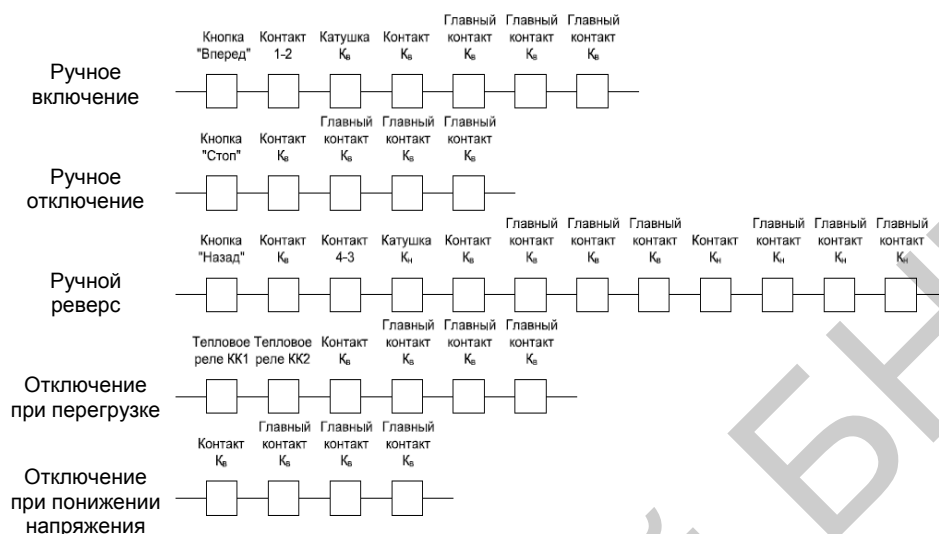


Рис. 2. Логические схемы режимов работы магнитного пускателя

Расчет надежности производился исходя из средних аналитических значений интенсивностей отказов элементов пускателя, приведенных в табл. 1 [2].

Таблица 1

Интенсивности отказов элементов магнитного пускателя

Элемент	Катушка электромагнита	Тепловое реле	Кнопка	Контакт
Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	0,1	0,4	0,1	1,5

Результирующие интенсивности отказов пускателя в различных режимах работы рассчитывали по формуле

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (1)$$

где λ_i – интенсивность отказов i -го элемента магнитного пускателя; n – число элементов, задействованных в рассматриваемом режиме работы.

Результаты расчетов результирующей интенсивности отказов нерезервированного пускателя без восстановления отказавших элементов приведены в табл. 2.

Рассчитанные значения результирующей интенсивности отказов нерезервированных пускателей укладываются в известный из литературных источников диапазон $\lambda = (5-16) \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$ справочных значений [2].

Вероятность отказов нерезервированного пускателя без восстановления в зависимости от времени определяется по формуле

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda_{\Sigma} t}. \quad (2)$$

Результаты расчета $Q(t)$ приведены в табл. 3.

Таблица 2

Интенсивность отказа нерезервированного магнитного пускателя

Режим	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$
Включение ручное	7,7
Отключение ручное	6,1
Реверс ручной	15,2
Отключение при перегрузке	6,8
Отключение при понижении напряжения	6,0

Таблица 3

Вероятность отказа нерезервированного магнитного пускателя

Режим	Срок эксплуатации, лет			
	1	5	10	20
Включение ручное	0,065	0,286	0,491	0,741
Отключение ручное	0,052	0,234	0,414	0,657
Реверс ручной	0,125	0,486	0,736	0,930
Отключение при перегрузке	0,058	0,258	0,449	0,696
Отключение при понижении напряжения	0,051	0,231	0,409	0,650

Наиболее ненадежными элементами пускателей являются главные и вспомогательные контакты. Резервирование контактов позволяет повысить надежность работы пускателей. При этом необходимо учитывать, что контакты пускателей работают в зависимости от режима работы как на замыкание, так и на размыкание электрических цепей. Параллельное дублирование контактов снижает вероятность отказов типа «обрыв», однако увеличивает вероятность отказов типа «замыкание». Последовательное дублирование, наоборот, ведет к росту вероятности отказов типа «обрыв» и уменьшает вероятность отказов типа «замыкание». Вероятность безотказной работы обеих дублированных схем одна и та же и равна вероятности безотказной работы одного контакта, если вероятности разноименных отказов каждого контакта одинаковы [3].

Повысить надежность работы пускателя можно путем троирования катушек электромагнитов K_B , K_H и тепловых реле $KK1$, $KK2$, сформировав контактную группу каждого троированного электромагнита и реле по мажоритарной схеме «два из трех» (рис. 3), где контакты I принадлежат первому, II – второму, III – третьему из резервированных электромагнитов (реле).

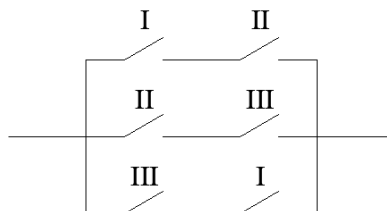


Рис. 3. Мажоритарная схема соединения контактов «два из трех»

Безотказная работа пускателя при таком резервировании будет обеспечена, если исправны как минимум две цепи из трех параллельных.

При этом полагаем, что вероятности разноименных отказов каждого контакта одинаковы.

Несмотря на экспоненциальный закон надежности каждого нерезервированного элемента, интенсивность отказов невосстанавливаемого резервированного пускателя в отличие от нерезервированного является переменной во времени величиной. Это не позволяет сравнить интенсивности отказов невосстанавливаемых нерезервированного и резервированного пускателей. Поэтому сравнение надежности пускателей производили по вероятностям их отказов. Вероятность отказов резервированного пускателя с учетом отказов контактных групп как при замыкании, так и при размыкании

$$Q(t) = 1 - P_I(t)P_{II}(t), \quad (3)$$

где $P_I(t)$ – результирующая вероятность безотказной работы нерезервированных элементов; $P_{II}(t)$ – результирующая вероятность безотказной работы резервированных элементов.

Величина $P_I(t)$ рассчитывалась по формуле

$$P_I(t) = e^{-\lambda_{\Sigma I} t}, \quad (4)$$

где $\lambda_{\Sigma I}$ – результирующая интенсивность отказов n_I нерезервированных элементов пускателя, определяемая как

$$\lambda_{\Sigma I} = \sum_{i=1}^{n_I} \lambda_i. \quad (5)$$

Величину $P_{II}(t)$ рассчитывали по формуле

$$P_{II}(t) = \prod_{i=1}^{n_{II}} p_i(t), \quad (6)$$

где n_{II} – число резервированных элементов, вероятности безотказной работы которых определялись как

$$p_i(t) = 1 - 1,5 \cdot (1 - e^{-\lambda_{\Sigma I} t})^2 + 0,5 \cdot (1 - e^{-\lambda_{\Sigma I} t})^3. \quad (7)$$

Результаты расчета вероятности отказов пускателей с резервированными контактами по формулам (3)–(7) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Вероятность отказа резервированного магнитного пускателя

Режим	Срок эксплуатации, лет			
	1	5	10	20
Включение ручное	0,003	0,038	0,120	0,342
Отключение ручное	0,002	0,028	0,092	0,277
Реверс ручной	0,004	0,066	0,212	0,552
Отключение при перегрузке	0,008	0,057	0,146	0,361
Отключение при понижении напряжения	0,001	0,024	0,084	0,265

ВЫВОД

Резервирование главных и вспомогательных контактов магнитных пускателей по мажоритарной схеме «два из трех» позволяет повысить вероятность безотказной работы и снизить вероятность их разноименных отказов во всех режимах на порядок и больше на ранних сроках эксплуатации (до пяти лет) и до трех раз на более поздних сроках (пять лет и более). Несмотря на усложнение и удорожание конструкции, резервированные магнитные пускатели перспективны для управления асинхронными электродвигателями в производственных процессах, к надежности которых предъявляются особо высокие требования, например на атомных электростанциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч у н и х и н, А. А. Электрические аппараты: общий курс: учеб. для вузов / А. А. Чунихин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 326–331.
2. С о т с к о в, Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники / Б. С. Сотсков. – М.: Энергоатомиздат, 1970.
3. А н и щ е н к о, В. А. Особенности расчета надежности резервированных релейно-контактных схем устройств автоматики / В. А. Анищенко, А. Г. Майстрович, А. В. Лесота // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2012. – № 3. – С. 5–12.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 31.01.2013

УДК 621.311.019.3

ОЦЕНКА БАЛАНСОВОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЕФИЦИТНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Канд. техн. наук, доц. АЛЕКСАНДРОВ О. И.¹⁾, асп. РАДОМАН Н. В.²⁾,
инж. ЖУКОВСКАЯ Т. Е.²⁾

¹⁾Белорусский государственный технологический университет,

²⁾Белорусский национальный технический университет

Объединенная энергосистема (ОЭС) Республики Беларусь граничит с энергосистемами пяти сопредельных государств (Россия, Литва, Латвия, Украина, Польша), имея с ними межгосударственные перетоки электроэнергии (ЭЭ) по 38 линиям. В связи с острой проблемой обеспеченности ОЭС энергоресурсами основной задачей является рациональное их использование с учетом получения ЭЭ из смежных, избыточных по мощности энергосистем (номинальный импорт ЭЭ – около 5,0 млрд кВт·ч/год). Поэтому взаимодействие энергосистем с учетом высоковольтных межсистемных транзитов (МТ) определяет надежность электроснабжения дефицит-