

Электромеханические контакторы

для коммутации низковольтных конденсаторных батарей

В статье приводится краткий обзор специальной группы электромеханических контакторов для коммутации ступеней низковольтных автоматических конденсаторных установок — наиболее распространенного средства компенсации реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения.

Сергей Шишкин,
к. т. н.

shishkin53@mtu-net.ru

В процессе эксплуатации конденсаторные батареи (КБ) ступеней регулирования автоматических установок компенсации реактивной мощности (УКРМ) подвержены частым переключениям. Специфика коммутации КБ (относительно других видов электрооборудования) обуславливает неэффективность использования обычных типов электромеханических контакторов из-за их недостаточного быстродействия, необходимости обеспечения не менее чем 50%-ного запаса номинального тока контактора по отношению к номинальному току батареи $I_{Н.КБ}$ и больших, особенно при разряде ранее подключенных батарей на конденсаторы включаемой ступени (до $250 \times I_{Н.КБ}$), бросков пусковых токов — $I'_{КБ}$ [1], которые нужно ограничивать до допустимой величины — $I_{Д.КБ}$, определяемой следующими условиями [2]:

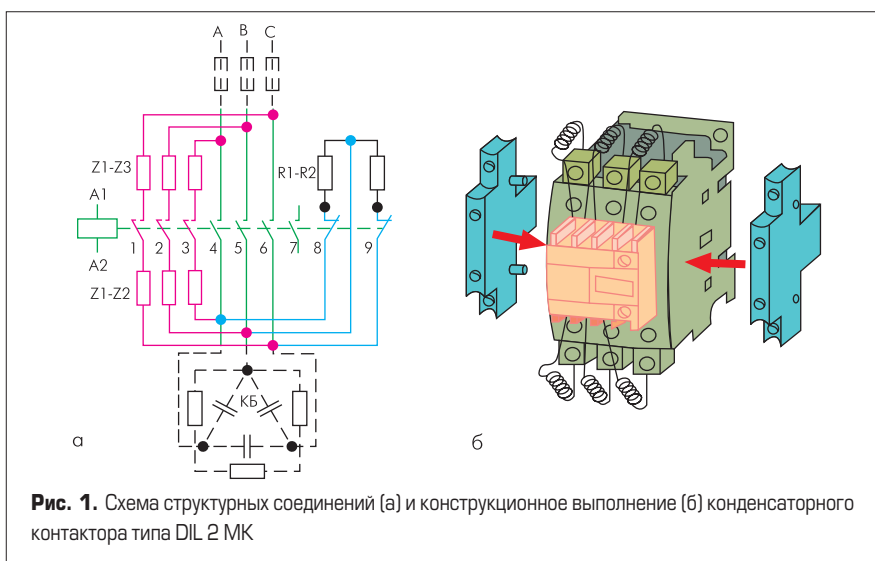
- соблюдением технологического стандарта максимального пускового тока для применяемого типа конденсатора;
- возможностью селективной отстройки защиты УКРМ и отдельных секций КБ, не допускающей дли-

тельного превышения $I_{Д.КБ}$ более чем в 1,6–1,8 раз $I_{Н.КБ}$;

- соразмерностью номинального тока аппарата коммутации мощности КБ — $Q_{КБ}$, а также условием гашения дуги емкостной нагрузки.

В полной мере данным требованиям соответствуют специально разработанные электромеханические контакторы для коммутации КБ (рис. 1), часто называемые «конденсаторными контакторами» [3]. В отличие от обычных модификаций, они снабжены вспомогательными контактами 1, 2, 3, установленными параллельно основным 4, 5, 6. К вспомогательным контактам с двух сторон последовательно подключены съемные токоограничивающие элементы $Z1-Z3$ — несколько витков провода высокого удельного сопротивления, или комплект проволочных резисторов. Якорь электромагнита A1-A2 одновременно приводит в действие обе группы контактов, но из-за меньшего раствора, лимитируемого механическим упором, вспомогательные контакты замыкаются на несколько миллисекунд раньше основных, пропускают пусковой ток через $Z1-Z3$ и, предварительно подзарядив КБ, ограничивают $I'_{КБ}$ до уровня $I_{Д.КБ}$ (перед срабатыванием основных контактов). После включения основных контактов вспомогательные контакты размыкаются. Соблюдение указанной последовательности действий реализуется благодаря установке на держателях основных и дополнительных контактов сцепной муфты, имеющей по меньшей мере две магнитно-соединяемые детали, разъединение которых происходит при механическом усилии, превышающем заранее определенное пороговое значение [3].

Комбинация большого сопротивления вспомогательных контактов в момент коммутации КБ и малого падения напряжения на основных контактах в рабочем режиме позволяет сгладить броски пускового тока до $I_{Д.КБ} < 70 \times I_{Н.КБ}$ [2]. Например, для КБ марки PhaseCap [4] емкостью $C_{КБ} = 3 \times 83$ мкФ ($Q_{КБ} = 12,5$ квар и $I_{Н.КБ} = 18$ А) максимальная амплитуда пускового тока уменьшится на $\Delta I'_{КБ} \approx 900$ А с $I'_{КБ} = 1200$ А (рис. 2б) до $I_{Д.КБ} = 280$ А (рис. 2а). В результате, выделяемая на токоограничивающих резисторах $Z1-Z3$ тепловая энергия (графически — по-



казанный на осциллограмме рис. 3 сектор, ограниченный кривой пускового тока КБ и временем t замыкания вспомогательных контактов), пропорциональная падению напряжения на вспомогательных контактах ΔU и снижению

$$\Delta I'_{КБ} = C_{КБ} \times \frac{d\Delta U}{dt}$$

[1] одновременно способствует стабилизации температурного режима конденсаторов при многократных переключениях ступеней УКРМ и сокращению активной мощности, рассеиваемой на основных контактах, что обеспечивает их коммутационную износостойкость и длительный срок эксплуатации.

Требуемую величину суммарного активно-реактивного сопротивления токоограничивающих резисторов $\Sigma(Z1-Z3)$ в зависимости от характеристического сопротивления Z_C узла присоединения УКРМ можно оценить по следующей формуле [2]:

$$\Sigma(Z1 - Z3) = Z_C \times \left[\left(\frac{I'_{КБ}}{I_{д.КБ}} \right)^2 - 1 \right] \quad (1)$$

Хотя наиболее часто токоограничивающие элементы конденсаторных контакторов выполнены в виде катушек (рис. 1б), условие быстрого действия ограничения бросков пускового тока $I'_{КБ}$ требует максимального снижения индуктивной составляющей. В связи с этим две последовательно включенные секции катушек (рис. 1) изготавливаются с разным направлением наводки. Таким образом, суммарную расчетную величину сопротивления (1) можно считать чисто активной, практически безынерционно откликающейся на изменение $I'_{КБ}$.

Так как при отключении КБ для разряда конденсаторов требуется гораздо больше времени, чем на перемещение электро механического контактора в исходное положение, напряжение на соединенных с КБ зажимах контактора можно считать постоянным, а на зажимах, подключенных к сети, изменяющимся синусоидально. Следовательно, в один из моментов полупериода ($t = 0-0,01$ с), суммарное напряжение между контактами достигнет удвоенного амплитудного значения, что в начальной фазе размыкания контактов приведет к пробою воздушного про-

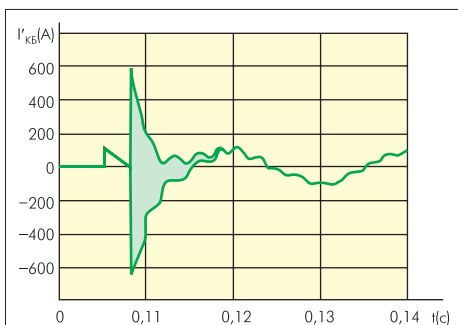


Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса подключения 6-й ступени УКРМ Rectimat 2 (КБ – Varplus M4, $Q_{КБ} = 50$ квар, $C_{КБ} = 3 \times 332$ мкФ) контактором LC1-DWK12 с $Z = 3,2$ Ом

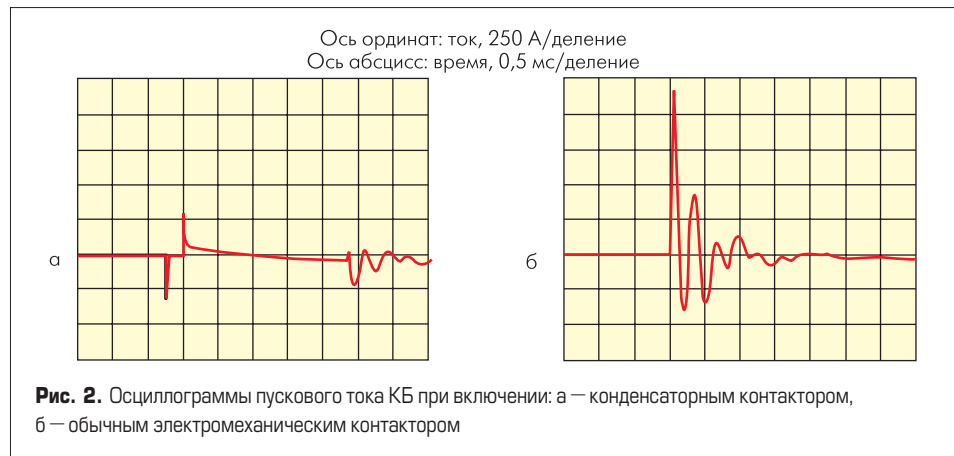


Рис. 2. Осциллограммы пускового тока КБ при включении: а – конденсаторным контактором, б – обычным электро механическим контактором

Таблица 1. Серия UB...-R [6] фирма ABB (стандарты EN 60947, VDE 0660)

Тип контактора	Максимально коммутируемая мощность*, квар	Максимально допустимый бросок тока при $U \leq 500$ В, А	Потребляемая мощность тягивающей катушки электро магнита**		Ресурс числа коммутаций, млн операций (категория применения АС-6б)
			при включении, Вт	в замкнутом положении, В·А/Вт	
UB18-R	12,5	4000	65	9/2,2	0,1
UB30-R	25	6000	85	9/3	0,1
UB50	25	5000	175	17/5	0,1
UB75	40	7500	175	17/5	0,1
UA95	60	9300	450	28/8	0,1

Примечания:

* включение разряженных КБ при напряжении 400–500 В, $f = 50$ Гц и t до $+40$ °С;

** частота 50 Гц.

Таблица 2. Серия K3...K [7] и специальная версия B44066...-J230 для EPCOS [4]; фирма BENEDIKT & JÄGER (стандарты IEC 947-4-1+5-1, EN 60947-4-1+5-1, VDE 0660)

Тип контактора	Максимально коммутируемая мощность*, квар	Номинальный рабочий ток основных контактов I_e при $U \leq 690$ В и $t \leq 50$ °С, А	Условный термический ток вспомогательных контактов I_{th} при $U \leq 690$ В и $t \leq 40$ °С, А	Допустимая частота включений, вкл/ч	Ресурс контактов, млн операций	Масса, кг
B44066-S1810-J230	12,5	18	16	120	0,25	0,34
K3-18K10 230	12,5	18	16	120	0,25	0,34
B44066-S2410-J230	20	28	10	120	0,15	0,6
K3-24K00 230	20	28	10	120	0,15	0,62
B44066-S3210-J230	25	36	10	120	0,15	0,6
K3-32K00 230	25	36	10	120	0,15	0,62
B44066-S5010-J230	33,3	48	10	120	0,15	1,1
K3-50K00 230	33,3	48	10	120	0,15	1,0
B44066-S6210-J230	50	72	10	120	0,15	1,1
K3-62K00 230	50	72	10	120	0,15	1,0
B44066-S7410-J230	75	105	10	80	0,12	1,1
K3-74K00 230	75	105	10	80	0,12	1,0

Примечание:

* Включение разряженных КБ при напряжении 380–400 В, $f = 50/60$ Гц и t от -40 до $+40$ °С.

Рабочий диапазон тягивающих катушек электро магнитов 0,85–1,1 Us.

Предполагаемый пиковый ток при включении – $200 \times I_e$.

Таблица 3. Серия DIL-MK [5] фирмы MOELLER (стандарты EN 60947, VDE 0660)

Тип контактора (исполнение без кожуха)	Коммутируемая мощность*, квар	Номинальный рабочий ток основных контактов I_e при $U = 400$ В и $t \leq 50$ °С, А	Номинальный рабочий ток вспомогательных контактов I_e при $U = 380/415$ В и $t \leq 50$ °С, А	Максимальная частота коммутаций, цикл/ч	Долговечность, млн коммутационных циклов	Масса**, кг
DIL 00 MK	12,5	19	4	200	0,2	0,32
DIL 0 MK	16,7	26	4	200	0,1	0,42
DIL 1 MK	25	38	4	200	0,1	0,71
DIL 2 MK	33,3	51	4	200	0,1	0,95
DIL 2 MKV	40	58	4	200	0,1	0,95
DIL 3 MK72	50	72	4	100	0,1	2,0

Примечания:

* Включение разряженных КБ при напряжении 400–440 В, $f = 50-60$ Гц и t от $-25/+50$ °С ($+55$ °С для DIL 3 МК72). Рабочий диапазон тягивающих катушек электро магнитов 0,85–1,1 Us.

Предполагаемый пиковый ток при включении – $180 \times I_e$.

** Контактры, управляемые переменным напряжением. Для быстрой разрядки КБ возможна комплектация резистором EW DIL, коммутируемым двумя вспомогательными контактами.

Таблица 4. Серия Te SyS [8] фирмы Schneider Electric (стандарты IEC 70 и 831, NFC 54-100, VDE 0660, UL, CSA)

Тип контактора	Мощность коммутируемой КБ, квар*	Максимальная частота коммутаций, вкл/ч	Коммутационная износостойкость (400 В/690 В) при номинальной нагрузке, млн операций	Стандартное напряжение (АС, f = 50 Гц) цепи управления, В	Масса, кг
LC1-DFK	12,5	240	0,3/0,2	24; 42; 48; 110; 115; 220; 230; 240; 380; 400; 415; 440	0,43
LC1-DGK	16,7	240	0,3/0,2		0,45
LC1-DLK	20	240	0,3/0,2		0,6
LC1-DMK	25	240	0,3/0,2		0,63
LC1-DPK12	33,3	240	0,3/0,2		1,3
LC1-DTK12	40	100	0,3/0,2		1,3
LC1-DWK12	60	100	0,3/0,2		1,65

Примечание:

* При напряжении 400–440 В, f = 50–60 Гц и t ≤ 55 °С. Среднесуточная температура согласно IEC 70 и 831 составляет +45 °С. Предполагаемый пиковый ток при включении – 200 × In.

Таблица 5. Серия SIRIUS [9] фирмы Siemens (стандарты IEC 60947/EN 60947, VDE 0660), категория применения AC-6b

Тип контактора	Максимальная коммутационная мощность, квар*	Максимальная частота включений, вкл/час	Электрический ресурс, млн циклов	Масса**, кг	Расчетное напряжение (АС, f = 50 Гц) управления, В	Температура окружающего воздуха, °С
3RT16 17 типоразмер S00	12,5	180	> 0,25	0,275	24; 110; 230	60
3RT16 27 типоразмер S0	25	100	> 0,1	0,431		60
3RT16 47 типоразмер S3	50	100	> 0,1	2,030		55

Примечание:

* При напряжении 400 В, f = 50/60 Гц.

Рабочий диапазон электромагнитной катушки от 0,85 до 1,1 × Us; ** Us = 230 В, 50 Гц

Таблица 6. Серия BF...K [10] фирма LOVATO Electric (стандарты IEC/EN 60947-4-1)

Тип контактора	Максимальная мощность контактора, квар*	Номинальный ток основных контактов Ie, А	Ряд величин напряжений (АС, f = 50 Гц) цепи управления, В	Максимальная частота включений, циклов/ч	Электрическая износостойкость, циклов	Масса, кг
11 BF9K 10	8	12	24, 48, 110, 220, 230, 240, 380, 400, 415	≤ 120	≤ 200000	0,498
11 BF12K 10	12,5	18		≤ 120	≤ 200000	0,498
11 BF20K 00	15	23		≤ 120	≤ 200000	0,538
11 BF25K 00	20	30		≤ 120	≤ 200000	0,538
11 BF40K 00	30	43		≤ 120	≤ 200000	0,66
11 BF50K 00	38	58		≤ 120	≤ 200000	1,44
11 BF65K 00	45	70		≤ 120	≤ 200000	1,47
11 BF80K 00	60	90		≤ 120	≤ 200000	1,47

Примечание:

* Включение разряженных КБ при напряжении 400 В, f = 50 Гц и t ≤ 50 °С.

При температуре окружающей среды от +50 до +70 °С величина максимальной мощности контактора, указанная в таблице, должна быть уменьшена на процент равный разнице между температурой окружающей среды и расчетной температурой +50 °С. Нет встроенных вспомогательных контактов

межутка и кратковременному повторному включению КБ с выбросом в сеть импульса I_{КБ} [2]. Поэтому отключение контактора производится в обратной последовательности — первыми под действием возвратной пружины размыкаются основные контакты, после того как сцепной муфтой держателей контактных групп предварительно будут замкнуты вспомогательные контакты [3]. В этом случае сопротивление последовательного соединения Σ(Z₁–Z₃) и Z_С должно обеспечить условия, исключающие дугообразование на основных контактах, а также превышение номинального тока вспомогательных контактов (табл. 1–6).

Контакторы аналогичного конструктивно-го исполнения (табл. 1–6), серийно выпускаемые несколькими фирмами, в том числе ABB, BENEDIKT & JÄGER, LOVATO Electric, Moeller,

Schneider Electric, Siemens являются компонентом современных низковольтных УКРМ. Расширить диапазон Q_{КБ} ступеней УКРМ можно за счет параллельного включения контакторов секций КБ встроенным дополнительным контактом 7, срабатывающим одновременно с основными 4, 5, 6 (рис. 1а). Кроме того, во многих конденсаторных контакторах предусмотрена возможность монтажа на боковые поверхности корпуса (стрелки на рис. 1б) добавочных контактных блоков 8, 9 (рис. 1а).

Для защиты от перенапряжений перед повторным включением КБ необходимо разрядить ниже 10%-ного уровня номинального напряжения конденсаторов [4]. При этом, согласно стандарту IEC 831-1,2, время разряда конденсаторов не должно превышать 180 с. За счет подключения контактами 8, 9 параллельно установленному на КБ разрядному

модулю дополнительных резисторов R₁–R₂ (рис. 1а) можно сократить время ограничения остаточного потенциала на конденсаторах и соответственно снизить минимум интервала переключения ступеней регулирования УКРМ. С этой же целью в ступенях КБ, управляемых конденсаторными контакторами, допускается применение разрядных дроселей [4].

При использовании контакторов без токоограничивающих резисторов [5] соединение с КБ рекомендуется выполнять сдвоенными проводниками или навивкой ряда последовательных витков по длине провода с сечением, соответствующим I_{н.КБ}. В наиболее распространенном диапазоне Q_{КБ} (от 5 до 50 квар) — 5–10 витков диаметром 100–140 мм обеспечат индуктивность цепи коммутации порядка 6–8 мкГн [1, 5]. Подобное стационарное подключение к контактной колодке выводов однофазных конденсаторов типа Square Cap используется в КБ производства EPCOS.

Комплектация УКРМ конденсаторными контакторами позволит сохранить стабильность характеристик низкоиндуктивных косинусных конденсаторов с малыми собственными потерями (стандарты IEC 70 и 831-1,2) в течение всего срока службы (100–130 тыс. ч), соизмеримого с ресурсом срабатывания контактора (табл. 1–6), и предотвратит возникновение провалов напряжения и импульсных перенапряжений в компенсируемой сети при переключении ступеней КБ.

Литература

1. Damping of Inrush Current in Low-Voltage PFC Equipment. Product Profile. EPCOS AG. Ordering No EPC: 26008–7600. Germany. 2001.
2. Шишкин С. А. Ограничение пусковых токов конденсаторных баатарей электромеханическими контакторами // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Вып. 3(8). М.: МГАУ. 2004.
3. Патент РФ 2070747 Н01Н9/26. Устройство для переключения электрических цепей. Жан Або (FR), Кристиан Лянж (FR), Мишель Ледруа (FR) — №5052433/07; заявл. 26.09.91, опубл. 20.12.96. Бюл. № 35.
4. Power Factor Correction. Product Profile 2004. Published by EPCOS AG. Ordering No EPC: 26012–7600. Germany. 2004.
5. Каталог приборов. Магнитные пускатели, вспомогательные реле, специальные реле (www.moeller.ru).
6. Reactive Power Compensation. MNS®, KNS and UNIKIT System. Technical Information ABB. DEAST 0016.98E. Replaces 1TGR 400 001E. Valid from January 1999.
7. Capacity Switching Contactors (www.benedikt.at).
8. Guide for the design and production of LV compensation cubicles. Schneider Electric Industries SAS. France. 2002.
9. Низковольтная коммутационная аппаратура. Switching Devices: Contactors and Contactor Assemblies. Каталог Siemens LV 10. 2004.
10. LOVATO Electric S.P.A. General Catalogue 2003–2004. Russian version (www.lovato-electric.com).