

# Расчет надежности электромагнитных контакторов

Артюхова М.А., Богачёв К.А.

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20  
[maya.artukhova@gmail.com](mailto:maya.artukhova@gmail.com), [kbogachyov@hse.ru](mailto:kbogachyov@hse.ru)

**Аннотация.** В работе рассматриваются методы прогнозирования надёжности электромагнитных контакторов. Предлагается модель интенсивности отказов электромагнитных контакторов и метод анализа надежности.

**Ключевые слова:** контактор, электромагнитный контактор, надежность, интенсивность отказов.

Контакторы представляют собой дистанционно управляемые устройства, основное назначение которых - коммутация сильноточных электрических цепей, например, при управлении мощными электродвигателями. В зависимости от типа привода контакторы подразделяют на электромагнитные, гидравлические и пневматические. В двух последних видах происходит коммутация соответственно жидкостей и газов, как правило, с помощью управляющего соленоида или электромагнита [Артюхова, 2014]. Частота коммутаций может доходить до нескольких тысяч в час. Срок службы контактора обычно ограничивается ресурсом контактов, зависящим от физических, химических и электрических явлений. Нормированная механическая стойкость контакторов достигает 30 млн. циклов. Коммутационная износостойкость должна составлять не менее 0,1 от механической.

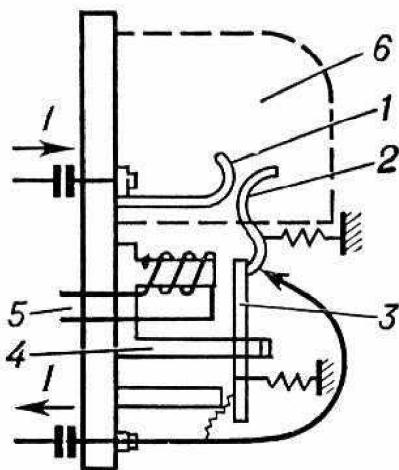


Рис.1. Устройство электромагнитного контактора

На рис.1 показано типовое устройство электромагнитного контактора состоящего из основной контактной группы (поз.1,2), управляющего

электромагнита (поз. 4) с выводами обмотки (поз.5), якоря электромагнита (подвижный контакт поз.3) и устройство дугогашения (поз.6). Принцип работы данного устройства несложен – при подаче управляющего напряжения на выводы обмотки электромагнита (поз.5), якорь (поз.3) притягивается к магнитопроводу (поз.4) и контакты (поз.1,2) замыкаются. При отключении управляющего напряжения, якорь (поз.3) «отпускается» электромагнитом и под действием пружин контакты размыкаются. В некоторых случаях в качестве приводного устройства контактора используется соленоид.

Рассмотрим, что влияет на надежность контактора. В общем виде модель интенсивности отказов можно представить как [MIL-HDBK-217, 1991]:

$$\lambda = \lambda_C + \lambda_K, \quad (1)$$

где:  $\lambda_C$  – интенсивность отказов соленоида или электромагнита;  $\lambda_K$  – интенсивность отказов контактора.

Надежность соленоида зависит от конструкции катушки, длины шага и окружающей среды, в которой он эксплуатируется [Артюхова, 2014]. Первичные модели отказа соленоида включают в себя короткое замыкание обмотки или ее обрыв (обычно вследствие перегрева).

Базовая интенсивность отказа, основанная на данных производственного опыта, может быть использована как оценка интенсивности отказа соленоида  $\lambda_C$  в его рабочей среде [NSWC, 2011]:

$$\lambda_C = \lambda_0 \cdot C_T \cdot C_P \cdot C_Q, \quad (2)$$

где:  $\lambda_0$  – базовая интенсивность отказов соленоида;  $C_T$  – температурный коэффициент;  $C_P$  – коэффициент применения;  $C_Q$  – используемая частота операций/час.

Оценка температурного коэффициента  $C_T$  проводится по следующей формуле [NSWC, 2011]:

$$C_T = \left( \frac{1}{1.5^\varphi} \right)^3, \quad (3)$$

где:

$$\varphi = \frac{(T_D - T_P) - 20}{10}, \quad (4)$$

где:  $T_D$  – допустимая температура работы соленоида, °C;  $T_P$  – температура работы соленоида, °C.

Отказ контактной группы обычно определяется выявлением повышения контактного сопротивления на величину, превосходящую начальное значение примерно в два раза. Интенсивность отказов контактора записывается как [NSWC, 2011]:

$$\lambda_K = \lambda_{K0} \cdot V^m \cdot I^n, \quad (5)$$

где:  $\lambda_K$  – интенсивность отказов контактора, отказов/ $10^6$  операций;  $\lambda_{K0}$  – базовая интенсивность отказов, отказов/ $10^6$  часов;  $V$  – напряжение,

проходящее через контактор, В;  $I$  – ток через контактор, А;  $m$  – константа напряжения;  $n$  – константа тока.

Формулу (5) можно переписать в более общем виде для резистивной нагрузки по переменному току [NSWC, 2011]:

$$\lambda_K = \lambda_{K,0} \cdot C_V \cdot C_I, \quad (6)$$

где:  $\lambda_K$  – интенсивность отказов контактора [отказов/ $10^6$  операций],  $\lambda_{K,0}$  – базовая интенсивность отказов контактора с резистивной нагрузкой ( $1,1 \cdot$ отказов/ $10^6$  операций);  $C_V$  – коэффициент, зависящий от напряжения контактора,  $C_I$  – коэффициент, зависящий от тока контактора.

Коэффициент  $C_V$  для контакторов переменного тока (рис. 2) определяется из следующего уравнения [NSWC, 2011]:

$$C_V = \left( \frac{V}{V_0} \right)^{0,75}, \quad (7)$$

где:  $V$  – рабочее напряжение, В;  $V_0$  – номинальное напряжение, В.

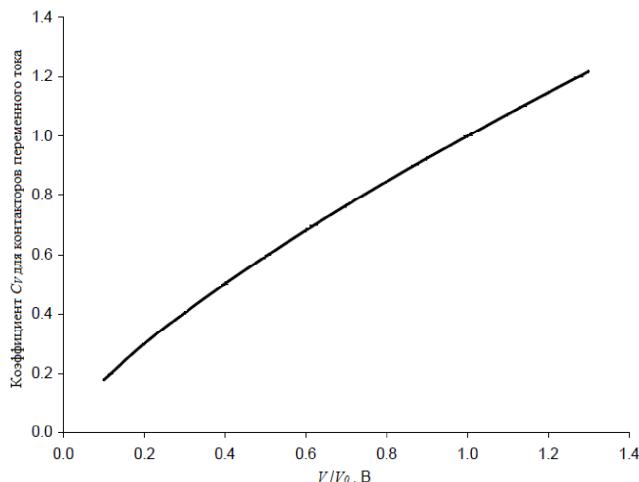


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $C_V$  от соотношения рабочего и номинального напряжений

Коэффициент  $C_I$  для контакторов переменного тока (рис. 3) определяется из следующего уравнения [NSWC, 2011]:

$$C_I = 3,50 \left( \frac{I}{I_0} \right)^{1,14}, \quad (8)$$

где:  $I$  – рабочий ток, А;  $I_0$  – номинальный ток, А.

В случае индуктивной нагрузки по переменному току, добавляется коэффициент мощности и формулу (1) принимает следующий вид [NSWC, 2011]:

$$\lambda_K = \lambda_{K,0} \cdot C_V \cdot C_I \cdot C_M, \quad (9)$$

где:  $\lambda_K$  – интенсивность отказов контактора [отказов/ $10^6$  операций];  $\lambda_{K,0}$  – базовая интенсивность отказов контактора с индуктивной нагрузкой ( $3,6 \cdot$ отказов/ $10^6$  операций);  $C_V$  – коэффициент зависящий от коммутируемого напряжения контактора,  $C_I$  – коэффициент, зависящий от коммутируемого тока контактора;  $C_M$  – коэффициент, учитывающий мощность.

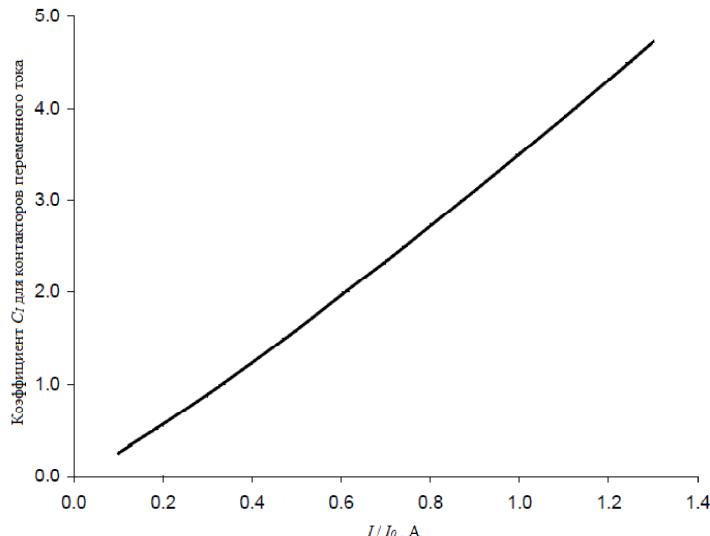


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $C_I$  от соотношения рабочего и номинального токов

Нагрузки по постоянному току образуют больший дуговой разряд, чем нагрузки по переменному току. Уравнение интенсивности отказов контактора с нагрузками постоянного тока записывается следующим образом [NSWC, 2011]:

$$\lambda_K = \lambda_{K,b} \cdot C_V \cdot C_I, \quad (10)$$

где:  $\lambda_K$  – интенсивность отказов контактора [отказов/ $10^6$  операций];  $\lambda_{K,b}$  – базовая интенсивность отказов контактора с постоянной нагрузкой ( $2,5 \cdot$ отказов/ $10^6$  операций);  $C_V$  – коэффициент зависящий от коммутируемого напряжения контактора,  $C_I$  – коэффициент, зависящий от коммутируемого тока контактора.

Коэффициент  $C_V$  для контакторов постоянного тока равен [NSWC, 2011]:

$$C_V = \left(\frac{V}{V_0}\right)^{1,33}, \quad (11)$$

Коэффициент  $C_I$  для контакторов постоянного тока равен [NSWC, 2011]:

$$C_I = 4,20 \left(\frac{I}{I_0}\right)^{1,30}, \quad (12)$$

Применение контакторов в ответственных узлах различных электрических и электронных систем делает важной задачу оценки их надежности [Маркин, 2010].

Создание программного модуля на основе приведенной модели позволит разработчикам с повышенной точностью прогнозировать надежность контакторов на ранних этапах проектирования электронных средств [Жаднов, 2013; Zhadnov, 2011].

## Благодарности

Данное научное исследование (№ 14-05-0038) выполнено при поддержке программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2014 г.

## **Список литературы**

- [Артюхова, 2014] Артюхова, М.А. Оценка безотказности соленоидов. / М.А. Артюхова. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ. Материалы конференции. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. - с. 192.
- [Жаднов, 2013] Жаднов, В.В. Методы и средства оценки показателей надежности механических и электромеханических приборов и систем. / В.В. Жаднов. // Датчики и системы. - 2013. - № 4. - с. 15-20.
- [Маркин, 2010] Маркин, А.В. Методы оценки надежности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надежность. - 2010. - № 2. - с. 63-70.
- [MIL-HDBK-217, 1991] MIL-HDBK-217. Reliability Prediction of Electronic Equipment.
- [NSWC, 2011] NSWC-11. Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment.
- [Zhadnov, 2011] Zhadnov, V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications. 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.