

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ
В ОБМОТКАХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ю. П. ПОХОЛКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Отказ изоляции обмоток асинхронных двигателей в эксплуатации обусловлен рядом факторов, среди которых большую роль играют перенапряжения, возникающие в обмотках при включениях, отключениях и реверсировании двигателей [1].

Уровень амплитуд коммутационных перенапряжений, по данным ряда авторов, может быть достаточно высок и может превышать значения пробивных напряжений изоляции [1, 2, 3]. Так, для высоковольтных машин уровень коммутационных перенапряжений может быть равным $7,8 \sqrt{2} U_{\phi}$, где U_{ϕ} — фазное рабочее напряжение обмотки [1, 3]. Особенно опасны коммутационные перенапряжения для машин, изоляция которых состарена и имеет дефекты типа сквозных трещин. В таких машинах пробой изоляции произойдет в том случае, если уровень коммутационных перенапряжений равен или превышает уровень пробивного напряжения воздуха в толщине, равной толщине изоляции.

Статистические исследования коммутационных перенапряжений в обмотках асинхронных двигателей позволяют прогнозировать вероятность безотказной работы изоляции обмотки двигателя [4].

Вероятность безотказной работы обмоток асинхронных двигателей за время $\tau = m \cdot \Delta\tau$ может быть оценена следующим образом:

$$R_{\tau} = \left[1 - \sum_{m=1}^m \sum_{i=1}^i \Delta q(m, U_i) P(m, U_i) \right]^N,$$

где m — число интервалов времени длительности $\Delta\tau$;

$\Delta q(m, U_i)$ — вероятность пробоя элементарного участка изоляции в m -ом интервале времени, при уровне коммутационных перенапряжений U_i ;

$P(m, U_i)$ — вероятность появления коммутационных перенапряжений

$$U > U_i \text{ за время } \tau = m \frac{\nu}{f_{\text{вкл}}};$$

ν — число включений машины за время τ ;

$f_{\text{вкл}}$ — частота включений машины.

Таким образом, для оценки надежности изоляции обмоток асинхронных двигателей необходимо знать параметры закона распределения амплитуд коммутационных перенапряжений в обмотке машины.

В данной работе исследованы коммутационные перенапряжения в обмотках асинхронных двигателей АО2-32-2, АО2-32-4, АО2-32-6 при

включениях, отключениях и реверсирования двигателей.

Исследование коммутационных перенапряжений в обмотках проводилось с помощью осциллографа ДЭСО-1 с применением омического делителя. Электрическая схема для исследования коммутационных перенапряжений приведена на рис. 1.

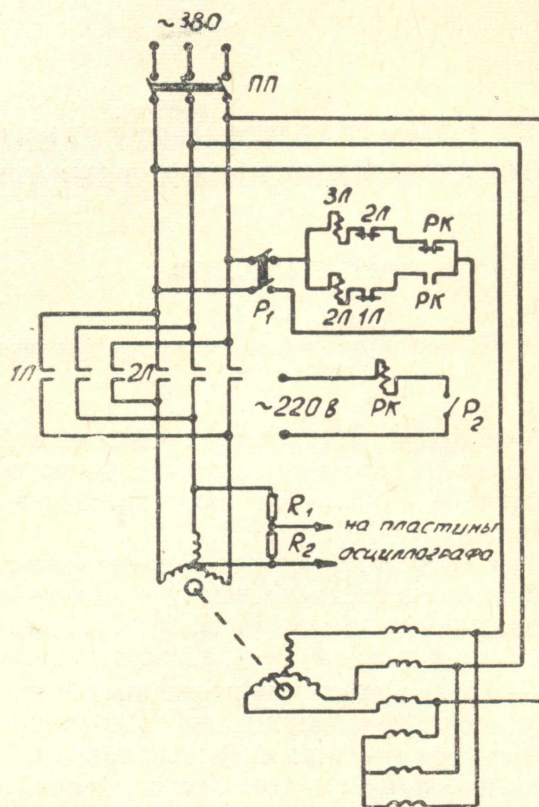


Рис. 1

При исследовании было снято по 200 осциллограмм коммутационных перенапряжений для каждой операции. Наиболее характерные осциллограммы импульсов коммутационных перенапряжений при включениях, отключениях и реверсировании двигателей приведены на рис. 2.

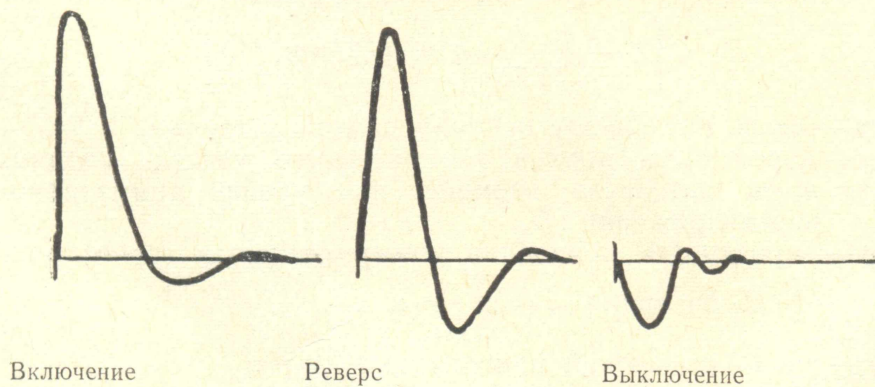
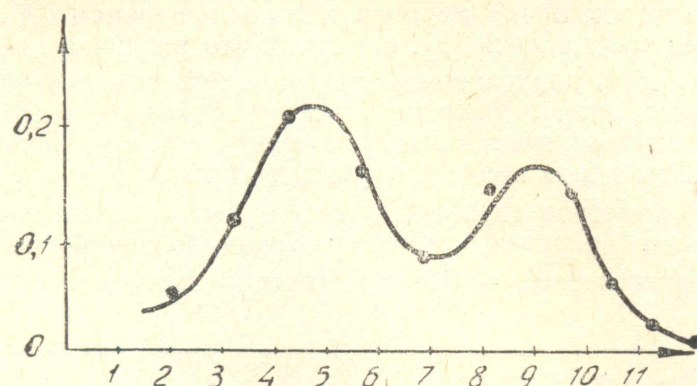


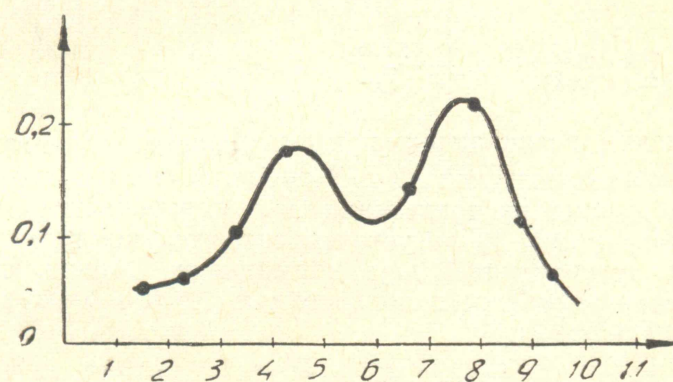
Рис. 2.

Статистическая обработка результатов испытаний позволила определить характер распределений величины коэффициента коммутационных перенапряжений в обмотках двигателей при включении, выключении, реверсировании в режиме холостого хода. Коэффициентом коммутаци-

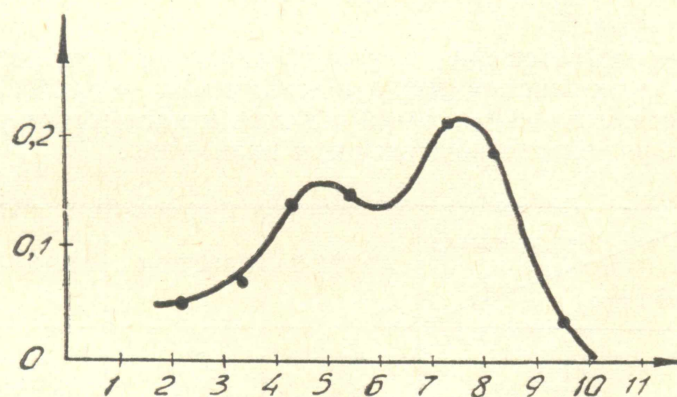
онных перенапряжений K_n здесь принято называть отношение амплитуды импульса перенапряжения к амплитудному значению номинального



AO2-32-2



AO2-32-4



AO2-32-6

Рис. 3

фазного напряжения. На рис. 3 приведены кривые распределения коэффициента перенапряжений соответственно для двигателей AO2-32-2, AO2-32-4 и AO2-32-6.

В табл. 1 приведены параметры распределений коэффициентов коммутационных перенапряжений и длительностей импульсов.

Проверка расхождения между средними значениями $\bar{K}_n$, проведенная по критерию Стьюдента [5], показала, что различие между средними значениями $\bar{K}_n$, полученными при отключениях исследуемых двигателей, несущественно. Различие между средними значениями K_n в обмотках различных машин при включениях и реверсировании согласно критерию Стьюдента признано существенным.

Анализ параметров распределений $\bar{K}_n$ и σ_{kp} показывает, что наиболее опасными являются перенапряжения, возникающие в момент включения двигателей $\bar{K}_n = 5,5 \div 6,5$, далее по степени опасности следу-

Таблица 1

Тип двигателя	А02-32-2	А02-32-4	А02-32-6
Параметры			
$\bar{K}_n$	6,56	5,44	5,56
σ_{kp}	3	2,68	2,34
$\tau_{имп} (мксек)$	23,0	32,03	34,65
$\sigma\tau (мксек)$	7,1	12,6	10,9

ют перенапряжения, возникающие при реверсировании двигателей $\bar{K}_n \approx \approx 5$ и выключении двигателей $\bar{K}_n \approx 1,7 \div 1,8$. В связи с этим была проведена аппроксимация распределения K_n , полученного при включении исследуемых двигателей. Было установлено, что распределение K_n аппроксимируется суперпозицией двух нормальных законов. Общее выражение для оценки вероятности появления $K_n > K_{ni}$ может быть записано следующим образом:

$$P(K_n > K_{ni}) = 1 - \left[V_1 F \left(\frac{K_{ni} - \bar{K}_{n1}}{\sigma_1} \right) + V_2 F \left(\frac{K_{ni} - \bar{K}_{n2}}{\sigma_2} \right) \right],$$

где V_1 и V_2 — соответственно доли объема первого и второго нормальных законов распределения в общем распределении K_n .

$\bar{K}_{n1}$, $\bar{K}_{n2}$, σ_1 , σ_2 — соответственно параметры первого и второго нормальных законов распределения в общем распределении K_n .

В табл. 2 приведены значения долей объемов и параметров распределения K_n для исследуемых двигателей при включениях.

Таблица 2

Тип двигателя	А02-32-2	А02-32-4	А02-32-6
Параметры			
V_1	0,5	0,4	0,33
V_2	0,5	0,6	0,67
K_{n1}	4,7	5	5
K_{n2}	9	8	8
σ_1	1,5	2,5	2,42
σ_2	1,25	0,95	0,6

Снижение среднего уровня K_n с увеличением числа пар полюсов в двигателях серии А02 третьего габарита связано, по-видимому, с изменением параметров колебательных контуров, образованных обмоткой.

Наличие двух максимумов в распределении K_{Π} обусловлено наличием двух колебательных контуров, образованных обмоткой. Один из них может быть образован межвитковой емкостью и индуктивностью обмотки, другой — индуктивностью обмотки и емкостью обмотки относительно заземленного корпуса. Аппроксимация распределения K_{Π} суперпозицией двух нормальных законов позволила рассчитать вероятность появления опасных перенапряжений в обмотках исследуемых двигателей в зависимости от числа включений. Опасным коэффициентом перенапряжения было принято считать такой коэффициент, при котором на одной катушке фазы появляется напряжение, превышающее среднее пробивное напряжение слоя воздуха толщиной, равной двойной толщине изоляции провода $\bar{U}_B$. Тогда опасный коэффициент перенапряжения определится:

$$K_{\Pi_{\text{оп}}} = \frac{\bar{U}_B \cdot n_K}{U_{\text{ном} \cdot \text{мах}}},$$

где

n_K — число последовательных изолированных катушек в фазе.

$U_{\text{ном} \cdot \text{мах}}$ — амплитудное значение номинального рабочего напряжения машины.

Вероятность появления $K_{\Pi_{\text{оп}}}$ при ν включений машины можно определить, используя теорему умножения вероятностей [5]

$$P_{\nu}(K_{\Pi} > K_{\Pi_{\text{оп}}}) = 1 - [1 - P(K_{\Pi_{\text{оп}}} > K_{ni})]^{\nu}.$$

В табл. 3 представлены вероятности появления $K_{\Pi_{\text{оп}}}$ в обмотках исследуемых двигателей в зависимости от числа включений.

Таблица 3

Число включений Тип двигателя	250	2500	25000	25000
АО2-32-2	0,0192	0,9907	1	1
АО2-32-4	$0,071 \cdot 10^{-3}$	$0,07 \cdot 10^{-2}$	$0,07 \cdot 10^{-1}$	0,07
АО2-32-6	$0,042 \cdot 10^{-3}$	$0,04 \cdot 10^{-2}$	$0,04 \cdot 10^{-1}$	0,04

Наиболее вероятны опасные коммутационные перенапряжения в обмотке двигателя АО2-32-2, что вызвано, по-видимому, электрическими параметрами его обмотки, а также уменьшенным количеством последовательно соединенных изолированных катушек в фазе.

Исследование и анализ амплитуды и формы волны коммутационных перенапряжений позволит в будущем оценить их влияние на скорость старения изоляции в низковольтных электрических машинах.

Выводы

1. Установлено, что в обмотках низковольтных асинхронных двигателей серии АО2, третьего габарита могут возникать коммутационные перенапряжения, величина которых опасна для изоляции.

2. Наиболее опасными являются коммутационные перенапряжения, возникающие при включениях двигателя, и наименее опасными при отключениях двигателя.

3. Распределение величины коэффициента коммутационных перенапряжений при включении исследуемых машин аппроксимировано суперпозицией двух нормальных законов. Параметры законов определены.

4. Установлено, что наиболее опасные коммутационные перенапряжения возникают в обмотках двухполюсных машин, по сравнению с четырех- и шестиполюсными машинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Г. Каганов. Внутренние перенапряжения и другие воздействия на витковую изоляцию электродвигателей. Сб. «Испытание витковой изоляции электрических машин», ГЭИ, 1959.
 2. P. Furmariet. Essais relatifs aur surtension de deelenche mant des moteurs a haute tension. Bull. Soc. Franc. Elact., № 75, 1953.
 3. О. Д. Гольдберг, И. М. Комлев, Н. И. Суворов и др. Влияние коммутационных перенапряжений на надежность низковольтных асинхронных двигателей. «Электротехника», 1968, № 5.
 4. Э. К. Стрельбицкий, Л. И. Штуден, В. М. Федоров, О. П. Муровлев, Ю. П. Похолоков. Методика расчета надежности всыпных обмоток асинхронных двигателей № ОАЭ 174193. 1968, Томск.
 5. А. К. Митропольский. Техника статистических вычислений. Физматгиз, 1964.
-