

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН С НЕСИММЕТРИЕЙ ОБМОТОК СТАТОРА И РОТОРА

Сурков Д.В., Падеев А.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

Для повышения эксплуатационной надежности и срока службы асинхронных двигателей необходимо своевременное выявление (диагностика) неисправностей до возникновения аварийной ситуации. При этом значительно снижается время и стоимость ремонта, может отсутствовать «упущенная прибыль», возникающая при внеплановом простое оборудования.

В связи с изложенным, становится очевидным, что необходима разработка эффективных методов диагностики короткозамкнутой обмотки ротора и обмотки статора асинхронных двигателей, которые позволят быстро и надежно выявлять эти повреждения во время эксплуатации двигателя.

Из известных способов диагностики в данной работе используется способ, основанный на расчете магнитного поля в воздушном зазоре машины методом удельной магнитной проводимости воздушного зазора [1], так как он позволяет учесть искажения магнитного поля в воздушном зазоре, вызванные дефектами АД (эксцентриситет ротора и возникновение короткого замыкания в обмотке статора, обрыва в обмотке ротора).

В общем случае МДС можно представить в следующем виде:

$$F(t, \varphi) = f(t, \varphi) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot w_1 \cdot I_1 \cdot \sum_{c=-nC}^{nC} \frac{k_{обм}}{v} \cdot \cos(\omega t - v\varphi)$$

где $k_{обм}$ – обмоточный коэффициент v -й гармоники, который равен произведению коэффициента распределения и коэффициента укорочения.

Так как мы будем рассчитывать ЭДС отдельных катушек, то коэффициент распределения в нашем случае будет равен единице $k_{распр} = 1$.

МДС катушки обмотки статора асинхронного двигателя рассчитывается по формуле:

$$F_{\kappa}(t, \varphi) = f(t, \varphi) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot w_1 \cdot I_1 \cdot \sum_{c=0}^{nC} \frac{k_{обм}}{v} \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{v}{p} \cdot \varphi\right).$$

МДС катушечной группы, состоящей из q катушек находится как сумма МДС отдельных катушек

$$F_{\kappa\phi}(t, \varphi) = f(t, \varphi) = \sum_{n=1}^q F_{\kappa} \left[t, \varphi - \frac{2\pi}{Z_1} \cdot (n-1) \right]$$

МДС фазы обмотки статора, в которой имеются короткозамкнутые витки вычисляется по формуле:

$$F_{\phi_3}(t_N, \varphi_N, N) = \sum_{n=1}^q F_{\kappa} \left[t_N, \varphi_N - \frac{2\pi}{Z_1} \cdot (n-1) \right] \cdot \frac{I_{\kappa_3}}{I_1},$$

где I_{κ_3} – ток фазы, в которой имеются короткозамкнутые витки;

φ_N – начальная фаза (в пространстве) гармоники МДС N-ой фазы обмотки статора;

t_N — начальная фаза (во времени) гармоники МДС N-ой фазы обмотки статора;

Результат расчета МДС обмотки статора при наличии в ней повреждения приведен на рисунке 1.

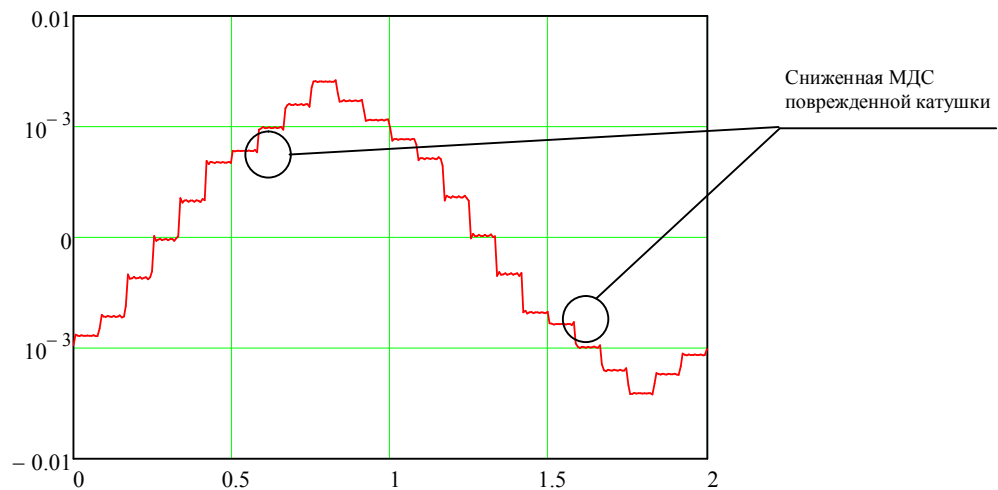


Рисунок 1 – МДС обмотки статора в воздушном зазоре при наличии в ней повреждения

Суммарная МДС асинхронного двигателя будет представлять собой сумму МДС всех трех фаз. МДС обмотки статора находится как

$$F_M = F_A + F_B + F_C,$$

$$F_{OC}(t, \varphi) = F_{\phi_3}(t, \varphi, 1) + F_{\phi_3}(t, \varphi, 2) + F_{\phi_3}(t, \varphi, 3).$$

При вычислении МДС обмотки статора, в МДС поврежденной катушки необходимо подставлять ток I_{κ_3} и число витков w_{κ_3} .

В нашем расчете будем считать, что короткое замыкание произошло в фазе А обмотки статора.

Обозначим F_{κ_3} МДС от тока, протекающего в короткозамкнутом витке фазы А обмотки статора.

В общем случае поле в ВЗ определяется произведением МДС в зазоре

на удельную магнитную проводимость зазора. Так как поле в воздушном зазоре представляют собой сумму гармонических составляющих – разложение соответствующей величины в ряд Фурье, то мы можем вычислить гармоники ЭДС обмотки статора от каждой гармоники поля машины.

Будем считать, что магнитная цепь машины не насыщена и МДС магнитопроводов можно пренебречь по сравнению с МДС ВЗ ($\mu_{ст} = \text{const}$). В таком случае мы можем посчитать ЭДС обмотки статора как сумму ЭДС от отдельных гармоник поля. В расчете мы будем учитывать только гармоники МДС с частотой 50 Гц. Исходя из этого, можно сказать, что расчет можно производить с комплексными значениями ЭДС.

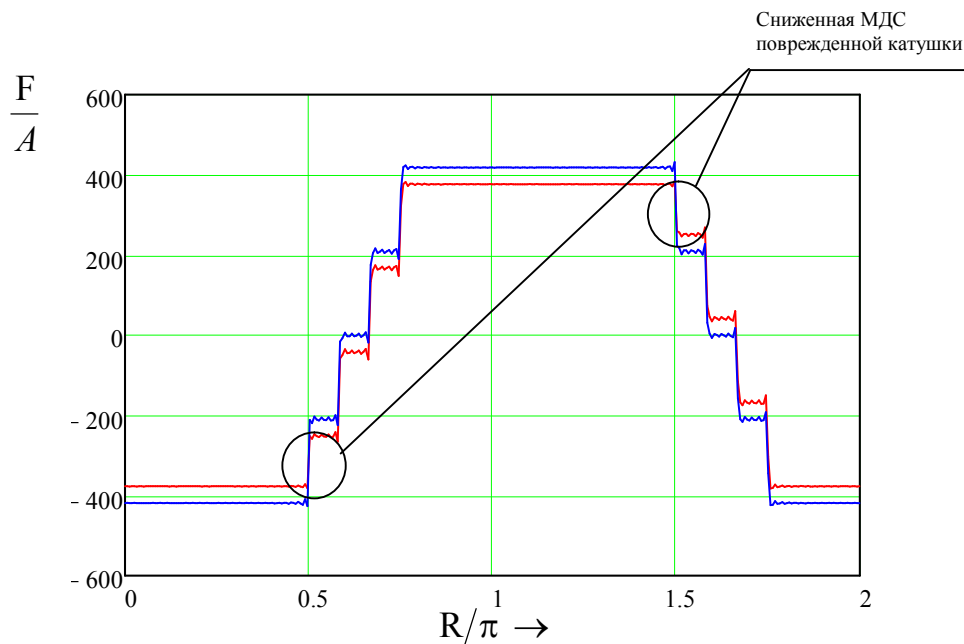


Рисунок 2 – МДС целой и поврежденной фазы А (повреждена половина витков обмотки статора, ток поврежденной фазы $I_{кз} = 1,2 I_{ном}$)

На основе проведенного расчета магнитного поля в воздушном зазоре асинхронного двигателя с короткозамкнутыми витками в обмотке статора и обрывами стержней в обмотке ротора можно сделать вывод, что токи фаз статора изменяются таким образом, чтобы увеличился магнитный поток через фазу с короткозамкнутыми витками, а поток через исправные фазы обмотки остался неизменным. Кроме того появляется «бегущая» гармоника поля в воздушном зазоре, вызванная провалом в МДС обмотки ротора из-за оборванного стержня. Указанные изменения в магнитном поле статора приводят изменению кривых токов и ЭДС обмотки статора, что позволяет проводить диагностику указанных неисправностей.

Список использованных источников

1. Сурков, Д. В. Электромагнитные способы определения эксцентриситета и несимметрии короткозамкнутой клетки ротора асинхронных двигателей [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01 / Д. В. Сурков. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. - 21 с.