

ПОВЕДЕНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОБРЫВЕ ФАЗНОГО ПРОВОДА В ЦЕПИ ОБМОТКИ СТАТОРА

Сивокобыленко В. Ф., Асдо Талед Ахмед

В системах электроснабжения, питающих асинхронную нагрузку, довольно часто возникают обрывы фаз в питающей сети. При этом из-за несимметрии линейных напряжений в асинхронных двигателях возникают токи обратной последовательности, увеличивающие нагрев обмоток статора и ротора. Кроме того, из-за понижения характеристики вращающего момента увеличиваются скольжение, ток статора и ток ротора.

Существующие устройства релейной защиты не всегда способны выявить указанные режимы, что зачастую приводит к повреждению асинхронных двигателей, особенно имеющих большую загрузку.

Для проектирования соответствующих устройств релейной защиты и прогнозирования поведения двигателей при обрыве фаз в питающей сети требуется разработка методов расчета таких режимов.

Как известно [1], схема замещения асинхронного двигателя с вытеснением тока в роторе может быть представлена как содержащая два эквивалентных R, L короткозамкнутых контура на роторе. Тогда в режиме обрыва фазы a статора схема замещения асинхронного двигателя может быть представлена как состоящая из последовательно соединенных схем для токов прямой и обратной последовательностей (рис. 1). При этом токи в фазах находим как

$$I_A = I_A^{PP} + I_A^{OB} = 0; \quad I_A^{PP} = -I_A^{OB}, \quad (1)$$

$$I_B = I_B^{PP} + I_B^{OB} = (e^{-j120} - e^{j120})I_A^{PP}, \quad (2)$$

$$I_C = I_C^{PP} + I_C^{OB} = (e^{j120} - e^{-j120})I_A^{PP}, \quad (3)$$

где

$$I_A^{PP} = \frac{U_A}{Z_{ВХОД}};$$

$$Z_{ВХОД} = 2Z_S + Z_r^{PP} + Z_r^{OB};$$

$$Z_S = R_S + jX_S;$$

$$Z_r^{PP} = \left(\frac{1}{jx_0} + \frac{1}{R_{r1}S^{-1} + jx_{r1}} + \frac{1}{R_{r2}S^{-1} + jx_{r2}} \right)^{-1};$$

$$Z_r^{OB} = \left(\frac{1}{jx_0} + \frac{1}{R_{r1}(2-S)^{-1} + jx_{r1}} + \frac{1}{R_{r2}(2-S)^{-1} + jx_{r2}} \right)^{-1}.$$

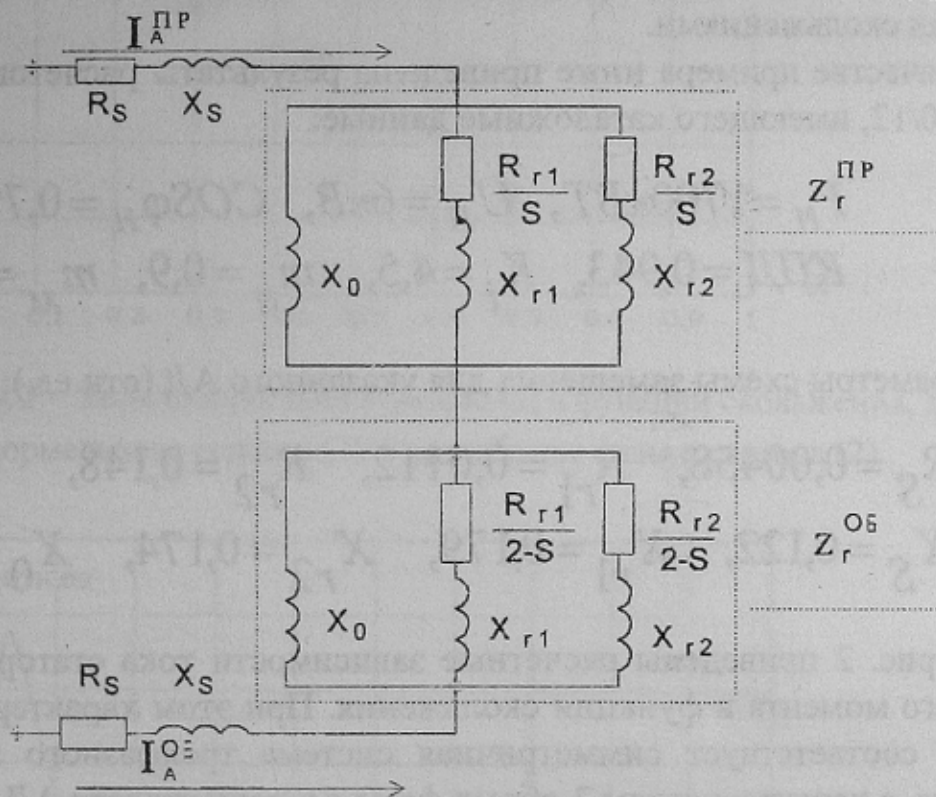


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя для режима обрыва фазы *a* статора

Вращающий момент

$$M = M_1 - M_2, \quad (4)$$

где

$$M_1 = (R_{r1}S^{-1}(i_{r1}^{PP})^2 + R_{r2}S^{-1}(i_{r2}^{PP})^2) / \text{КПД} \cos \varphi_H;$$

$$M_2 = (R_{r1}(2-S)^{-1}(i_{r1}^{OB})^2 + R_{r2}(2-S)^{-1}(i_{r2}^{OB})^2) / K П Д \cos \varphi_H ;$$

$$i_{r1}^{PP} = \frac{I_A^{PP} Z_r^{PP}}{R_{r1} S^{-1} + jX_{r1}}; \quad i_{r1}^{OB} = \frac{I_A^{OB} Z_r^{OB}}{R_{r1}(2-S)^{-1} + jX_{r1}};$$

$$i_{r2}^{PP} = \frac{I_A^{PP} Z_r^{PP}}{R_{r2} S^{-1} + jX_{r2}}; \quad i_{r2}^{OB} = \frac{I_A^{OB} Z_r^{OB}}{R_{r2}(2-S)^{-1} + jX_{r2}}.$$

Зависимости (1)-(4) позволяют определить пусковые характеристики АД при работе с различными коэффициентами загрузки (K_3) и соответственно с различными скольжениями.

В качестве примера ниже приведены результаты расчетов для АД типа ДАЗО-1910/12, имеющего каталожные данные:

$$P_H = 1700 \text{ кВт}, \quad U_H = 6 \text{ кВ}, \quad \cos \varphi_H = 0,793,$$

$$KПД = 0,943, \quad K_i = 4,5, \quad m_n = 0,9, \quad m_M = 2,3.$$

Параметры схемы замещения для указанного АД (отн.ед.):

$$R_S = 0,00458, \quad R_{r1} = 0,0112, \quad R_{r2} = 0,148,$$

$$X_S = 0,122, \quad X_{r1} = 0,179, \quad X_{r2} = 0,174, \quad X_0 = 2,24.$$

На рис. 2 приведены расчетные зависимости тока статора, а на рис. 3 вращающего момента в функции скольжения. При этом характеристикам 1 (см. рис. 2, 3) соответствует симметричная система трехфазного номинального напряжения, а характеристикам 2-обрыв фазы a в цепи статора АД.

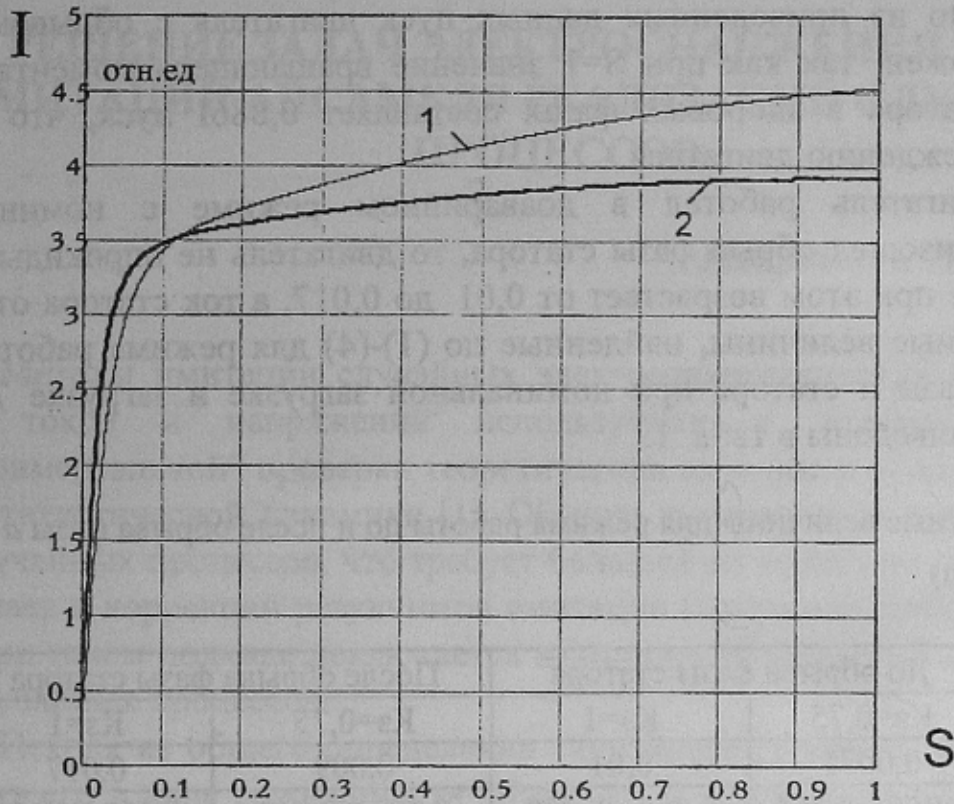


Рисунок 2 – Зависимость тока статора АД в функции скольжения, для нормального режима (1) и при обрыве фазы a статора (2)

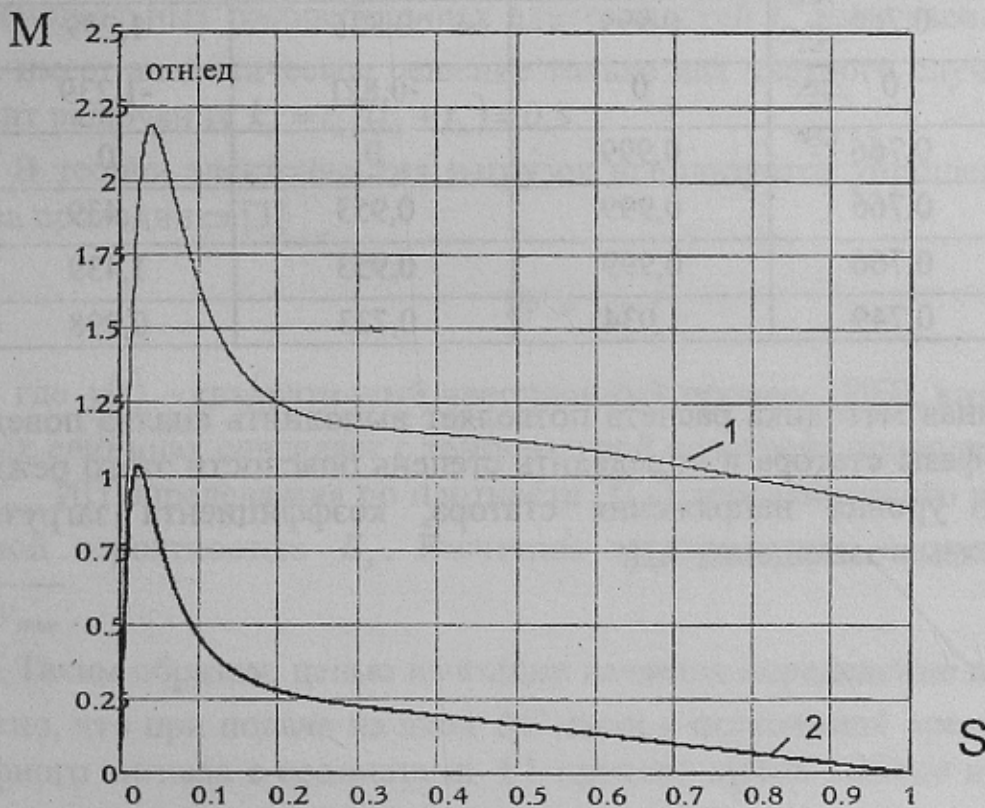


Рисунок 3 – Зависимость вращающего момента АД в функции скольжения, для нормального режима (1) и при обрыве фазы a статора (2)

Как видно из приведенных данных пуск двигателя с обрывом фазы статора невозможен, так как при $S=1$ значение вращающего момента равно нулю, а ток статора в здоровых фазах составляет $0,886I$ пуск, что может привести к повреждению двигателя.

Если двигатель работал в доаварийном режиме с номинальной нагрузкой и произошел обрыв фазы статора, то двигатель не опрокидывается, хотя скольжение при этом возрастает от $0,01$ до $0,017$, а ток статора от $0,999$ до $1,439$. Расчетные величины, найденные по (1)-(4) для режима работы до и после обрыва фазы а статора при номинальной загрузке и загрузке 75% от номинальной, приведены в табл. 1.

Таблица 1- Расчетные величины для режима работы до и после обрыва фазы а статора АД (отн.ед)

	До обрыва фазы статора		После обрыва фазы статора	
	$K_3=0,75$	$K_3=1$	$K_3=0,75$	$K_3=1$
S	0,0071	0,01	0,009	0,017
Z_r^{PP}	$0,955+j0,764$	$0,788+j0,503$	$0,821+j0,542$	$0,505+j0,275$
Z_r^{OB}	0	0	$0,018+j0,088$	$0,018+j0,088$
$Z_{ВХОД}$	$0,96+j0,886$	$0,793+j0,625$	$0,848+j0,874$	$0,532+j0,607$
I_A^{PP}	0,766	0,999	0,821	1,239
I_A^{OB}	0	0	-0,821	-1,239
I_A	0,766	0,999	0	0
I_B	0,766	0,999	0,953	1,439
I_C	0,766	0,999	0,953	1,439
M	0,749	1,034	0,723	0,998

Приведенная методика расчета позволяет выполнить анализ поведения АД при обрыве фазы статора и определить степень опасности этого режима в зависимости от уровня напряжения статора, коэффициента загрузки и сопротивлений схемы замещения АД.