

## Практическое занятие 2

### РАСЧЕТ АМПЛИТУДЫ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО МОМЕНТА В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ В СЭЭС

*Постановка задачи.* Включение в состав судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) нелинейных электрических элементов является одной из причин ухудшения качества электроэнергии. Нелинейные электрические аппараты (статические выпрямители, преобразователи частоты и др.) приводят к появлению высших гармоник напряжения в сетях постоянного и переменного тока, несимметрии напряжения СЭЭС. Пульсация электрической энергии является причиной существенного ухудшения вибрационных характеристик электрооборудования, в том числе электрических машин (ЭМ). Расчет вибрации судовых ЭМ с учетом заданных показателей качества электроэнергии в СЭЭС включает расчеты амплитуды пульсирующего момента и переменных радиальных электромагнитных сил в асинхронном двигателе при несимметрии и несинусоидальности напряжения в СЭЭС. На основе этих данных можно рассчитать ожидаемые уровни вибрации асинхронного двигателя (АД), возбуждаемой электромагнитными силами. Результаты таких расчетов позволяют выбрать и рассчитать эффективность амортизаторов с учетом судовых условий.

*Исходные данные.* Амплитуда составляющих прямой и обратной последовательностей фазных напряжений  $U_1, U_2$ , В; частота напряжения питания  $f_1$ , Гц; скольжение  $S$ ; число пар полюсов  $p$ ; параметры схемы замещения АД:

- активное и индуктивное сопротивления рассеяния обмотки статора  $r_{st}, x_{st}$ , Ом;
- приведенные активные и индуктивные сопротивления рассеяния обмотки ротора  $r_{rt}, x_{rt}$ , Ом;
- активное и индуктивное сопротивление контура намагничивания  $r_m, x_m$ , Ом.

*Требуется найти.* Амплитуду пульсирующего момента  $M$ , Н · м; коэффициент обратной последовательности напряжения  $K_{о.п.}$ .

*Алгоритм расчета.* На рис. 4.1 приведены схемы замещения АД для напряжения прямой (а) и обратной (б) последовательностей, где  $Z_1$  – полное комплексное сопротивление схемы замещения АД для тока прямой последо-

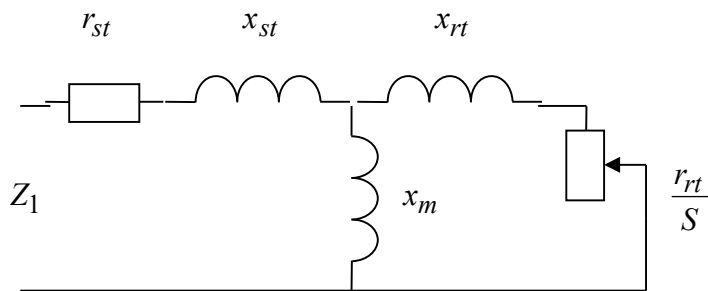
вательности;  $Z_2$  – полное комплексное сопротивление схемы замещения АД для тока обратной последовательности.

Проводимость цепи ротора:

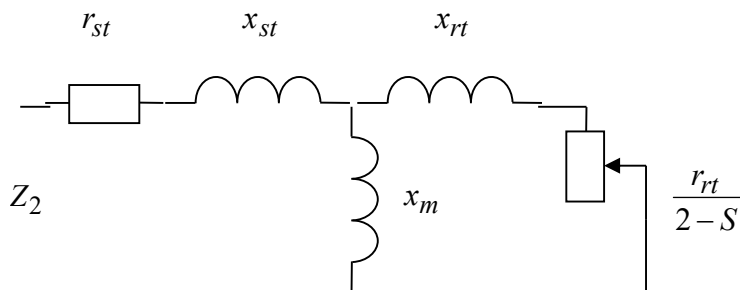
$$Y_{rt1} = \frac{S}{r_{rt} + jSx_{rt}}; \quad Y_{rt2} = \frac{2-S}{r_{rt} + j(2-S)x_{rt}}.$$

Проводимость цепи намагничивания при  $r_m = 0$ :

$$Y_m = \frac{1}{jx_m}.$$



а



б

Рис. 4.1

Проводимость параллельного участка цепи:

$$Y_{rm1} = Y_{rt1} + Y_m; \quad Y_{rm2} = Y_{rt2} + Y_m.$$

Сопротивление параллельного участка цепи:

$$Z_{rm1} = \frac{1}{Y_{rm1}}; \quad Z_{rm2} = \frac{1}{Y_{rm2}}.$$

Полное сопротивление схемы замещения:

$$Z_1 = Z_{st} + Z_{rm1}; \quad Z_2 = Z_{st} + Z_{rm2}; \quad Z_{st} = r_{st} + jx_{st}.$$

Полная проводимость схемы замещения:

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1}; \quad Y_2 = \frac{1}{Z_2}.$$

Амплитуда пульсирующего момента на частоте  $2\omega_1$  при несимметрии напряжения питания:

$$M_{2\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} 3p U_1 U_2 |Y_1 - Y_2| \text{ или } M_{2\omega_1} = \frac{1}{\omega_1} 3p I_1 I_2 |Z_2 - Z_1|; \quad K_{\text{о.п.}} = \frac{U_2}{U_1},$$

где  $\omega_1$  – угловая частота, рад/с.

Например, исходные данные:  $U_1 = 220$  В,  $U_2 = 4,4$  В,  $p = 2$ ,  $r_{st} = 2,4$  Ом,  $x_{st} = 2,8$  Ом,  $r_{rt} = 1,35$  Ом,  $x_{rt} = 3,45$  Ом,  $x_m = 50$  Ом,  $f_1 = 50$  Гц,  $S = 0,05$ .

Для схемы замещения прямой последовательности получаем:

$$Y_{rt} = \frac{0,05}{1,35 + j0,05 \cdot 3,45} = \frac{1}{27 + j3,45}; \quad Y_m = \frac{1}{50j} = -j0,02;$$

$$Y_{rm} = \frac{1}{27 + j3,45} + (-j0,02) = \frac{1,07 - j0,54}{27 + j3,45}; \quad Z_{rm} = \frac{27 + j3,45}{1,07 - j0,54};$$

$$Z_1 = 2,4 + j2,8 + \frac{27 + j3,45}{1,07 - j0,54} = \frac{31,08 + 5,15}{1,07 - j0,54}; \quad Y_1 = \frac{1,07 - j0,54}{31,08 + j5,15}.$$

Для схемы замещения обратной последовательности:

$$K_{\text{о.п.}} = \frac{4,4}{200} = 0,02; \quad Y_{rt} = \frac{1}{0,69 + j3,45}; \quad Y_m = \frac{1}{50j} = -j0,02;$$

$$Y_{rm} = \frac{1}{0,69 + j3,45} + (-j0,02) = \frac{1,07 - j0,0014}{0,69 + j3,45}; \quad Z_{rm} = 0,64 + j3,22;$$

$$Z_2 = 2,4 + 2,8 + 0,64 + 3,22j = 3,04 + 6,02j; \quad Y_2 = \frac{1}{3,04 + j6,02};$$

$$|Y_1 - Y_2| = 0,11; \quad M_{2\omega} = \frac{1}{2\pi 50} 3 \cdot 2 \cdot 220 \cdot 4,4 \cdot 0,11 = 2,03 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Таблица 4.1

Величина	Размерность	Вариант								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_1$	В	220	220	220	220	220	220	220	220	220
$U_2$	В	4,5	5,2	4,3	4,8	4,9	4,7	5,1	5,2	4,4
$f$	Гц	50	50	50	50	50	50	50	50	50
$S$	–	005	005	005	005	005	005	005	005	005
$p$	–	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$Rst$	Ом	2,4	2,3	2,4	2,5	2,5	2,4	2,6	2,4	2,4
$Xst$	Ом	2,8	2,7	2,8	2,7	2,8	2,9	2,7	2,8	2,7
$Rrt$	Ом	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3
$Xrt$	Ом	4,6	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5	3,4	3,5	3,5
$Xm$	Ом	50	51	52	50	61	53	52	51	53

Данные для расчета приведены в табл. 4.1. После расчета по заданному варианту необходимо проанализировать полученный результат.