

**РАСЧЕТ ФАЗНОГО ТОКА ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ УЛУЧШЕННОЙ ФОРМЕ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

При проектировании мощных частотно – регулируемых электроприводов, в частности тяговых, большое значение имеют правильно выбранные методы расчета электромагнитных процессов в блоке автономный инвертор напряжения (АИН) – асинхронный электродвигатель (АД). Сравнительно простым и в тоже время обеспечивающим достаточную точность при расчете мгновенных значений токов АД работающего в установившемся режиме, является метод двух составляющих.

Процедура расчета мгновенных значений фазного тока АД, методом двух составляющих, сводятся к:

- выделению первой гармоники и суммы высших гармоник питающего напряжения;
- нахождению и суммированию первой гармоники фазного тока, как реакции схемы замещения вращающегося АД на первую гармонику питающего напряжения;
- несинусоидальной составляющей фазного тока, как реакции схемы замещения заторможенного АД на сумму высших гармоник фазного напряжения.

Далее приведены аналитические выражения для уточненного расчета мгновенных значений фазного тока трехфазного АД, при питании его от трехуровневого АИН, напряжением улучшенной формы.

Кривая фазного напряжения трехуровневого АИН за полупериод имеет вид, приведенный на рис. 1.

В общем виде мгновенные значения выходного напряжения АИН за полупериод описываются выражением:

$$u(\omega t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{12} \\ \frac{U_a}{3} & \frac{\pi}{12} \leq \omega t \leq \frac{\pi}{4} \\ \frac{U_a}{2} & \frac{\pi}{4} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{12} \\ \frac{2U_a}{3} & \frac{5\pi}{12} \leq \omega t \leq \frac{7\pi}{12} \\ \frac{U_a}{2} & \frac{7\pi}{12} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{4} \\ \frac{U_a}{3} & \frac{3\pi}{4} \leq \omega t \leq \frac{11\pi}{12} \\ 0 & \frac{11\pi}{12} \leq \omega t \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

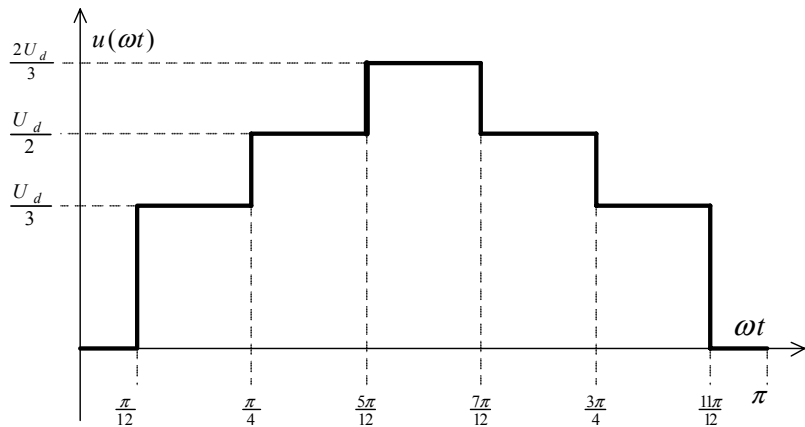


Рис. 1 Кривая питающего напряжения улучшенной формы

где  $U_a$  - амплитуда выходного напряжения АИН.

Коэффициент искажения данной формы напряжения АИН составляет  $K_u=0,986$ .

Расчет мгновенных значений фазного тока АД при питании его от АИН выполнен методом двух составляющих, результаты решения, являются его частными случаями. Составляющие фазного тока АД, как реакции схем замещения вращающегося и заторможенного двигателя, от синусоидальной составляющей выходного напряжения АИН определяется достаточно просто. Большой интерес представляет определение составляющей фазного тока как реакции схемы замещения заторможенного АД на ступенчатое выходное напряжение АИН.

Для этого определяют таблично амплитудную (целочисленную)  $U_{jk}$  и  $\Theta_{jk}$  коммутирующие функции за полупериод выходного напряжения по участкам постоянства. Коммутирующие функции представлены в таблице.1, где  $j$  – номер интервала, а  $\Delta\Theta$  – его интервал, представленный его границами.

Таблица 1. Коммутирующие функции

j	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta\Theta$	$0 \div \frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{12} \div \frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4} \div \frac{5\pi}{12}$	$\frac{5\pi}{12} \div \frac{7\pi}{12}$	$\frac{7\pi}{12} \div \frac{3\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{4} \div \frac{11\pi}{12}$	$\frac{11\pi}{12} \div \pi$
$U_{jk}$	0	$U_a/3$	$U_a/2$	$2U_a/3$	$U_a/2$	$U_a/3$	0
$\Theta_{jk}$	0	$\pi/12$	$\pi/4$	$5\pi/12$	$7\pi/12$	$3\pi/4$	$11\pi/12$

С учетом введенных обозначений и с учетом, что текущий угол  $\Theta=\omega t$  общее выражение для фазного тока будет иметь вид:

$$i_\phi(\theta) = \frac{2}{3\pi} \cdot U_a \cdot \left( 2 \cos \frac{\pi}{12} + \cos \frac{\pi}{4} + \cos \frac{5\pi}{12} \right) \cdot \left[ \frac{1}{z_1} \sin(\theta + \varphi_1) - \frac{1}{z_k} \sin(\theta + \varphi_k) \right] + i_j(\theta) \quad (2)$$

где  $z_1$ ,  $\varphi_1$  и  $z_k$ ,  $\varphi_k$  – составляющие и модули комплексных сопротивлений схем замещения АД соответственно для вращающегося и для заторможенного двигателя при заданной частоте питающего напряжения;

$i_j(\theta)$  – составляющая фазного тока АД определяемая как реакции выходного напряжения АИН на схему замещения заторможенного двигателя.

Ток  $i_j(\theta)$  определяется в результате решения на отдельных интервалах следующего дифференциального уравнения:

$$U_j = i_j(\theta) \cdot r_k + L_k \cdot \frac{di_j(\theta)}{dt} \quad (3)$$

С учетом начальных условий, определяемых из условия непрерывности тока на границах интервалов, получим общее решения уравнения (3) для всех интервалов:

$$i_j(\theta) = \frac{U_{jk}(\theta)}{r_k} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\theta - \theta_{jk}}{\omega\tau_k}}\right) + i_{jn} \quad (4)$$

где  $\tau_k = \frac{L_k}{R_k}$  – постоянная времени эквивалентной схемы замещения заторможенного двигателя АД;

$i_{jn}$  – начальное условие для тока на  $j$  – том интервале.

Начальные условия для  $j$  – того интервала равны:

$$\begin{cases} i_{1n} = -\frac{U_d}{R} \cdot a \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{2n} = -\frac{U_d}{R} \cdot a^2 \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{3n} = \frac{U_d}{3R}(1-a^2) - \frac{U_d}{R} \cdot a^4 \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{4n} = \frac{U_d}{R}(1-a^2) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3}a^2\right) - \frac{U_d}{R} \cdot a^6 \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{5n} = \frac{U_d}{R}(1-a^2) \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{1}{3}a^4\right) - \frac{U_d}{R} \cdot a^8 \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{6n} = \frac{U_d}{R}(1-a^2) \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{3}a^2 + \frac{1}{2}a^4 + \frac{1}{3}a^6\right) - \frac{U_d}{R} \cdot a^{10} \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \\ i_{7n} = \frac{U_d}{R}(1-a^2) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) - \frac{U_d}{R} \cdot a^{12} \cdot \frac{(1-a^2)}{(1+a^{12})} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{2}a^2 + \frac{2}{3}a^4 + \frac{1}{2}a^6 + \frac{1}{3}a^8\right) \end{cases} \quad (5)$$

где  $a = e^{-\frac{\pi}{12\omega\tau}}$

Подставляя в (2) рассчитанные по интервалам значения тока  $i_j(\theta)$  получим математическое описание фазного тока АД при улучшенной форме питающего напряжения.

Для оценки точности расчета мгновенных значений фазного тока АД, по полученным аналитическим выражениям выполнено моделирование системы АИН – АД.

Для сравнения на рис.2 приведена кривая фазного тока АД, полученная на модели (сплошная линия) и расчетная кривая того же тока (представлена точками). Как видно из рис.2 результаты моделирования и результаты аналитического расчета, выполненные для того же режима работы АД, практически совпадают.

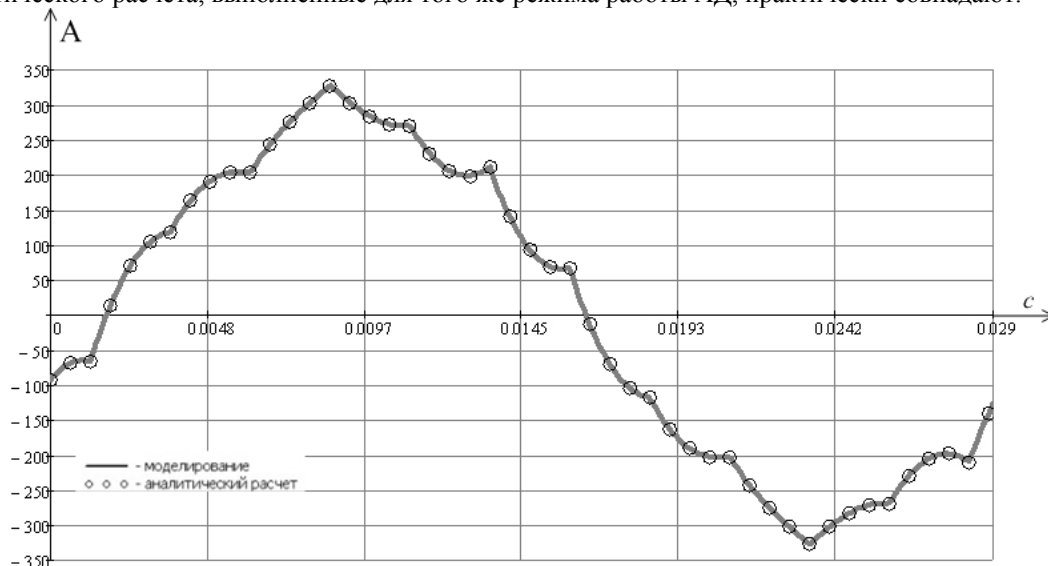


Рис.2 Фазный ток трехфазного АД, при питании его от трехуровневого АИН напряжением улучшенной формы

Приведенные аналитические выражения для расчета мгновенных значений фазного тока АД, получающего питание от АИН напряжением улучшенной формы, позволяют осуществлять расчет с высокой точностью для установившегося режима работы АД в любой точки тяговой характеристики. Полученные выражения дают возможность, производит аналитические расчеты действующих значений фазного тока системы АИН – АД и других энергетических характеристик системы.