

## АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ АВМ

Для анализа электромагнитных процессов в асинхронном двигателе (АД) широко используются электронные вычислительные машины, позволяющие быстро выявить влияние различных факторов и параметров системы электропривода на характер протекания электромагнитных процессов в АД. Применение аналоговых вычислительных машин (АВМ) позволяет получать результаты решения уравнений электромагнитных процессов в АД при достаточной точности. Результаты решения можно наблюдать на экране осциллографа и фотографировать. Если на модель частотного электропривода подаются реальные формы кривых фазных напряжений и токов двигателя [1], то автоматически учитываются изменения формы напряжений и параметров двигателя при различных режимах частотного управления.

На зажимы АД, питаемого от преобразователя частоты с непосредственной связью (НПЧ), подается в общем случае несимметричная трехфазная система несинусоидальных по форме напряжений, что оказывает определенное влияние на величину и характер изменения во времени электромагнитного момента двигателя.

Электромагнитные процессы в АД описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений, которая имеет более простой вид при использовании метода результирующих пространственных векторов [2]. В соответствии с [2] электромагнитный момент АД

$$M_{\vartheta} = \frac{3}{2} p \operatorname{Im} \left[ \hat{\Psi}_{\text{S}} \cdot \bar{i}_{\text{S}} \right], \quad (1)$$

где  $p$  – число пар полюсов;  $\bar{\Psi}_{\text{S}}$ ,  $\bar{i}_{\text{S}}$  – мгновенные значения результирующих пространственных векторов соответственно потокосцепления и тока статора АД;  $\hat{\Psi}_{\text{S}}$  – вектор, сопряженный с вектором  $\bar{\Psi}_{\text{S}}$ .

Значения вектора  $\bar{\Psi}_{\text{S}}$  можно получить из результирующих пространственных векторов напряжения ( $\bar{u}_{\text{S}}$ ) и тока ( $\bar{i}_{\text{S}}$ ) статора АД, решив следующее уравнение относительно  $\bar{\Psi}_{\text{S}}$ :

$$\bar{u}_{\text{S}} = r_{\text{S}} \bar{i}_{\text{S}} + \frac{d \bar{\Psi}_{\text{S}}}{dt}, \quad (2)$$

где  $r_{\text{S}}$  – активное сопротивление обмотки статора Т-образной схемы замещения АД.

Мгновенные значения векторов  $\bar{u}_s$  и  $i_s$  связаны с мгновенными значениями фазных напряжений  $u_A, u_B, u_C$  и фазных токов  $i_A, i_B, i_C$  выражениями

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_s &= \frac{2}{3} [u_A + \bar{a}u_B + (\bar{a})^2 u_C], \\ \bar{i}_s &= \frac{2}{3} [i_A + \bar{a}i_B + (\bar{a})^2 i_C], \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\bar{a}$  - единичный вектор поворота на 120 эл. град.;

$$\bar{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (\bar{a})^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}. \quad (4)$$

Для решения уравнений (1), (2), (3) на АВМ представим векторы  $\bar{u}_s, \bar{i}_s, \bar{\psi}_s$  в виде составляющих по осям  $\alpha - \beta$  прямоугольной системы координат, неподвижной относительно статора АД:

$$\bar{u}_s = u_{s\alpha} + ju_{s\beta}, \quad \bar{i}_s = i_{s\alpha} + ji_{s\beta}, \quad \bar{\psi}_s = \psi_{s\alpha} + j\psi_{s\beta}. \quad (5)$$

Учитывая (3), (4) и (5), запишем составляющие  $u_{s\alpha}, u_{s\beta}, i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  через мгновенные значения фазных напряжений и токов:

$$\left. \begin{aligned} u_{s\alpha} &= \frac{2}{3} u_A - \frac{1}{3} (u_B + u_C), \quad u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} (u_B - u_C), \\ i_{s\alpha} &= \frac{2}{3} i_A - \frac{1}{3} (i_B + i_C), \quad i_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_B - i_C). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Составляющие  $\psi_{s\alpha}, \psi_{s\beta}$  получаются из (2) и (5) в виде

$$\psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - r_s i_{s\alpha}) dt; \quad \psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - r_s i_{s\beta}) dt. \quad (7)$$

Раскрывая (1) с учетом (5), получим

$$M_{\varepsilon} = \frac{3}{2} p (\psi_{s\alpha} i_{s\beta} - \psi_{s\beta} i_{s\alpha}). \quad (8)$$

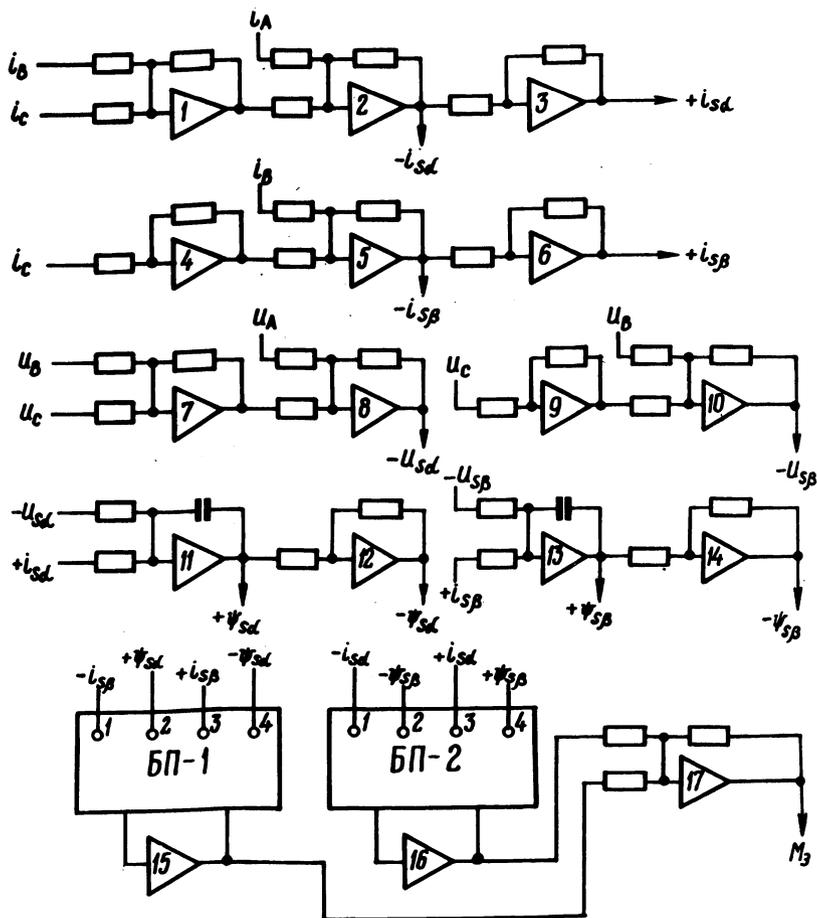


Рис. 1. Схема аналоговой модели для исследования электромагнитного момента АД.

По методу физико-математического моделирования [1] согласно (6), (7), (8) составлена структурная схема модели (рис. 1) для исследования электромагнитного момента АД, питаемого от НПЧ. Кроме того, данная модель позволяет наблюдать на экране осциллографа годографы векторов  $\vec{u}_s$ ,  $\vec{i}_s$ ,  $\vec{\Psi}_s$  и их составляющие по осям  $\alpha$  и  $\beta$ . В качестве физической модели служит лабораторная установка, состоящая из АД с короткозамкнутым ротором мощностью 1 кВт и однофазно-трехфазного НПЧ [3].

Рассматриваемый НПЧ в зависимости от длительности интервалов проводимости вентилях в течение полупериода изме-

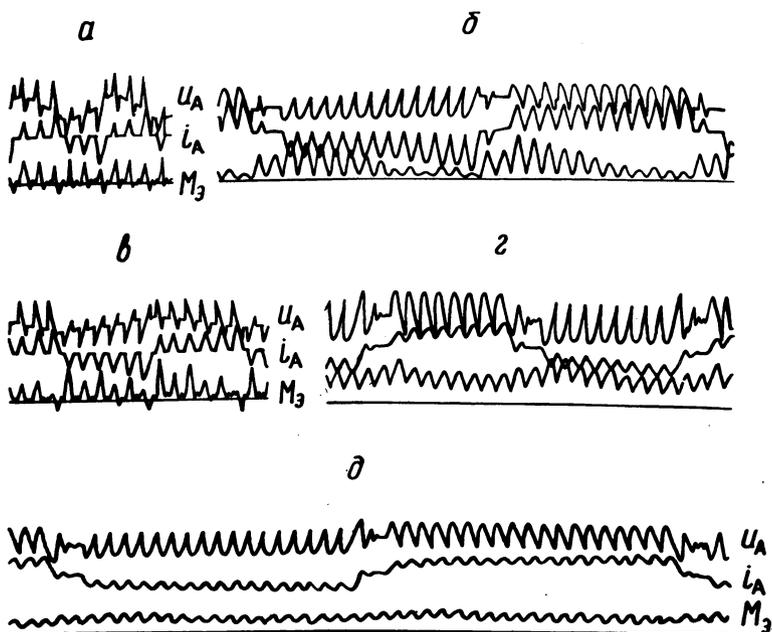


Рис. 2. Осциллограммы изменения во времени  $u_A$ ,  $i_A$ ,  $M$  в режиме прерывистого тока (а,в), прерывисто-непрерывного (б), непрерывного (г,д).

нения выходного тока может работать в режимах прерывистого, непрерывного и прерывисто-непрерывного тока [4]. Выходные фазные напряжения НПЧ для каждого из этих режимов различны по форме и представляют собой кривые, состоящие из частей синусоидального питающего преобразователь напряжения, когда в цепи нагрузки протекает ток, и частей э.д.с. вращения двигателя, когда ток в нагрузке отсутствует. При неподвижном роторе э.д.с. вращения АД равна нулю, и работа НПЧ на двигатель аналогична работе на RL-нагрузку. В этом случае выходные токи и напряжения преобразователя по форме отличны от токов и напряжений при вращающемся роторе АД. Разнообразие форм напряжений и токов статора АД при различных режимах работы приводит и к разнообразию по виду годографов  $\bar{u}_S$ ,  $\bar{i}_S$ ,  $\bar{\Phi}_S$ , что в конечном счете отражается на характере изменения во времени электромагнитного момента двигателя.

На рис. 2 приведен ряд осциллограмм, показывающих характер изменения во времени электромагнитного момента  $M$  при некоторых определенных режимах работы системы НПЧ-АД.

В режиме прерывистого тока и неподвижном роторе АД электромагнитный момент имеет вид импульсов с постоянной амплитудой.

Влияние э.д.с. вращения при прерывистом токе статора проявляется в том, что электромагнитный момент имеет переменные амплитуды импульсов и может принимать даже отрицательные значения (рис. 2, а, в).

Более приемлемым для электропривода является режим непрерывного тока (рис. 2, г, д), при котором электромагнитный момент носит непрерывный характер изменения во времени без нулевых значений.

### Л и т е р а т у р а

1. Ильин О.П., Шейна Г.П., Петренко Ю.Н. Метод исследования периодических режимов в регулируемом асинхронном электроприводе. - "Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук", 1970, № 4. 2. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М., 1963. 3. Фираго Б.И., Павлович С.Н. Преобразователь частоты с непосредственной связью на симисторах без уравнивающих токов. - "Изв. вузов. Энергетика", 1970, № 8. 4. Фираго Б.И., Павлович С.Н. Выходное напряжение и ток преобразователя частоты с непосредственной связью при работе на асинхронный двигатель. - "Изв. вузов. Энергетика", 1972, № 3.

В.П. Беляев, М.В. Мишурная, Ю.Н. Петренко

### РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЧАСТОТНОУПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЦВМ

Асинхронный электропривод, в котором двигатель питается от различных преобразовательных устройств (полупроводниковых, дроссельных и др.) находит все более широкое применение в промышленности. В связи с этим возрастает интерес к исследованию электромагнитных процессов в двигателе при питании его от источника с напряжением несинусоидальной формы.