

Фазорное управление электрическими машинами

В.Г.Комаров, В.А.Глушенков

Единство физических законов, лежащих в принципе работы всех электрических машин является теоретической основой их обобщённой математической модели, позволяющей описывать в единой форме, как процессы электромеханического преобразования энергии, так и способы эффективного управления этим процессом.

Конструктивно любая электрическая машина представляет собой совокупность двух видов взаимосвязанных контуров – электрических и магнитных. В пределах каждого из контуров существует двунаправленная детерминированная связь электромагнитных процессов, описываемых законами силового взаимодействия проводников с током и электромагнитной индукции. В общем виде физические величины, фигурирующие в этих законах являются функциями пространственных координат и времени, а электромеханические характеристики электрических машин определяются интегральными уравнениями этих процессов, что существенно усложняет их рассмотрение.

Существенную роль в упрощении математического описания этих процессов играют закон полного тока, теорема Стокса и экспоненциальные функции комплексной переменной. Ключевую роль в таком описании играет понятие **фазора**.

Фазор представляет собой интегральную комплексную функцию, взятую в соответствии с теоремой Стокса по площади поверхности, натянутой на весь контур, и отображает поток, пронизывающий этот контур, как по направлению его действия, так и по распределению его плотности.

Фазоры удобно рассматривать в трёх основных системах отсчёта:

- системе α, β , связанной со статором,
- системе x, y , связанной с ротором,
- системе d, q , связанной с фазором полной н.с. машины.

Переход от одной системы отсчёта к другой может легко осуществляться путём умножения исходного выражения на оператор вращения $e^{j\omega t}$ относительно исходной системы отсчёта.

В соответствии с законом полного тока полную (результатирующую) намагничивающую силу (н.с.) электрической машины в системе α, β можно представить в виде фазора

$$\tilde{A}_{0(\alpha\beta)} = \tilde{A}_{s(\alpha\beta)} + \tilde{A}_{r(\alpha\beta)} = \left| \tilde{A}_0(t) \right| \cdot e^{j(\varphi_0 + \nu_0)} = A_0(t) \cdot e^{j(\varphi_0 + \nu_0)},$$

где φ_0 – начальный угол фазора в пространстве рабочего зазора машины;

$\nu_0 = \omega_0 t$ – текущий угол фазора в пространстве рабочего зазора машины;

\tilde{A}_s - фазор н.с. статора;

\tilde{A}_r - фазор н.с. ротора,

A_0 – модуль (амплитуда) фазора полной н.с. машины.

Если статором машины является якорь, то фазор полной н.с. и, соответственно система d, q , вращаются относительно статора с синхронной частотой ω_0 .

Фазор главного (результатирующего) магнитного потока машины может быть представлен в виде

$$\tilde{\Phi}_0 = G_0 \cdot \tilde{A}_0,$$

где G_0 – главная магнитная проводимость машины в Гн, характеризующая её магнитную систему и являющуюся конструктивным параметром.

В соответствии с законом электромагнитной индукции э.д.с. проводникового контура статора в системе отсчёта α, β от главного магнитного потока может быть записана в виде фазора

$$\tilde{\mathcal{E}}_{0(\alpha\beta)} = -w_s \frac{d\tilde{\Phi}_{0(\alpha\beta)}}{dt} = -w_s \cdot G_0 \cdot \frac{d\tilde{A}_{0(\alpha\beta)}}{dt} = -w_s \cdot e^{j\nu_0} \cdot \left[G_0 \left(\frac{dA_0}{dt} + A_0 \cdot j \frac{d\nu_0}{dt} \right) + A_0 \cdot \frac{dG_0}{dt} \right]$$

Используя интегральное преобразование Карсона для функций времени, получаем

$$\tilde{\mathcal{E}}_{0(\alpha\beta)}(s) = -w_s \cdot e^{j\nu_0} \cdot A_0 \cdot G_0 [(2s + j(s\nu_0))],$$

где s – комплексный оператор времени;

$j(s\nu_0)$ – оператор поворота в пространстве (на комплексной плоскости поперечного сечения машины).

Оператор s определяет изменение комплексной амплитуды (модуля фазора), а $j(s\nu_0)$ положение в зазоре машины или фазы процесса.

Возможны следующие частные случаи, упрощающие рассмотрение процессов:

1) параметры главной магнитной цепи постоянны, тогда

$$\tilde{\mathcal{E}}_{0(\alpha\beta)} = -L_0 \cdot s I_0 (1 + j\nu_0) \cdot e^{j\nu_0},$$

где L_0 - главная индуктивность машины (взаимоиндуктивность или индуктивность намагничивания), Гн.

2) параметры главной магнитной цепи постоянны и вращение равномерное, тогда

$$\tilde{\mathcal{E}}_{0(\alpha\beta)} = -L_0 \cdot I_0 (s + j\omega_0) \cdot e^{j\omega_0 t}.$$

Электромагнитный момент машины определяется ортогональными проекциями фазоров тока статора и ротора в соответствии с выражением

$$M = \frac{m \cdot p \cdot L_0}{2} (I_{s\beta} \cdot I_{r\alpha} - I_{s\alpha} \cdot I_{r\beta}),$$

где m - количество фаз машины;

p - количество пар полюсов машины.

В качестве примера на рис.1 приведены результаты имитационного моделирования фазорного управления тяговой асинхронной машиной ТАД280М4 вагонов метрополитена типа 81-760/761 в цикле движения на стандартном перегоне 1700 м.

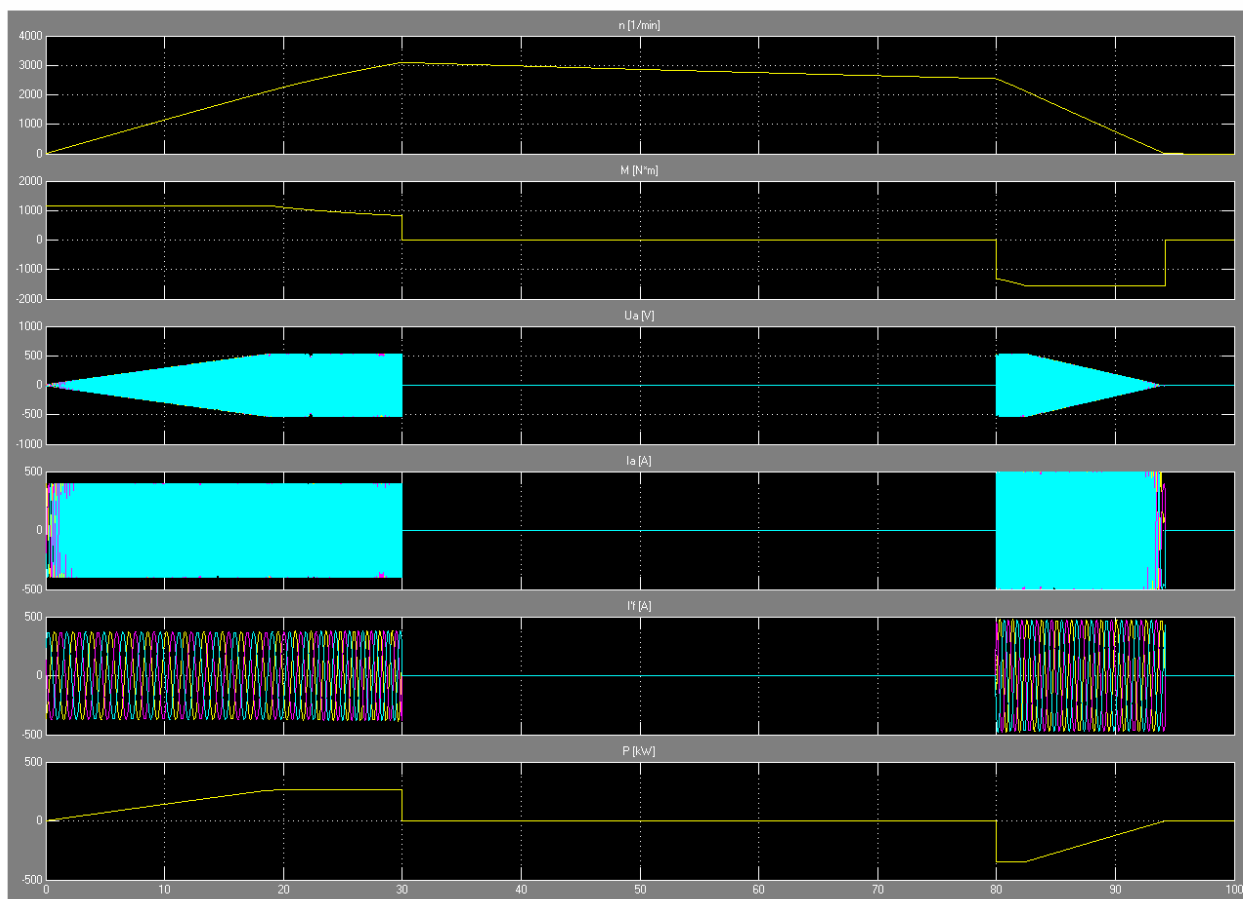


Рис. 1