

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОМЕНТА АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ

Гуляев И.В., Юшков И.С.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

*E-mail:* [ivgulyaev@mail.ru](mailto:ivgulyaev@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье представлено теоретическое исследование в области изучения асинхронизированного вентильного двигателя как обобщенной электромеханической системы.

**Ключевые слова:** вентильный двигатель, асинхронизированный, обобщенная электромеханическая система, вал двигателя, регулирование момента, моделирование.

### Постановка задачи

В настоящее время актуальным стоит вопрос применения электродвигателей в областях, связанных с регулированием момента на валу двигателя в широких пределах. Одним из двигателей отличающимся сравнительно высокими значениями КПД при регулировании момента на валу двигателя является асинхронизированный вентильный двигатель (*АВД*).

*АВД* представляет из себя машинно-вентильный комплекс на основе асинхронного двигателя с фазным ротором. (рис.1).

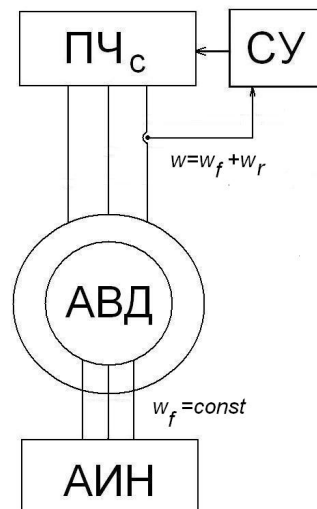


Рис.1. Структурная схема асинхронизированного вентильного двигателя

Отличительная особенность *АВД* заключается в том, что обмотка возбуждения питается трехфазным переменным током низкой фиксированной частоты и тем самым создается вращающееся магнитное поле уже при неподвижном роторе. Питание со стороны якоря осуществляется от преобразователя частоты, инверторное звено которого является ведомым сетью якорной обмотки.

Работа двигателя описывается следующей системой уравнения [1,2]:

$$\begin{cases} \vec{U} = (r + j \cdot v \cdot x_{\sigma}) \cdot \vec{I} + j \cdot v \cdot \vec{\Psi}, \\ \vec{U}_f = (r_f + j \cdot s_0 \cdot x_f) \cdot \vec{I}_f + j \cdot s_0 \cdot \vec{\Psi}, \\ \vec{\Psi} = x \cdot (\vec{I} + \vec{I}_f), \\ M = \text{Re } j \cdot \vec{\Psi} \cdot \vec{I}. \end{cases} \quad (1)$$

Где  $\vec{\Psi}$  - обобщенный вектор магнитного потока в зазоре машины,  $\vec{I}, \vec{I}_f$  - обобщенные вектора токов якоря и возбуждения,  $\vec{U}, \vec{U}_f$  - обобщенные вектора напряжений якоря и возбуждения,  $r, r_f$  - активные сопротивления якоря и возбуждения,  $v, s_0$  - относительные частоты токов якоря и возбуждения,  $x_\sigma, x_f$  - индуктивные сопротивления рассеяния якоря и возбуждения.  $M$  - электромагнитный момент на валу двигателя. Все величины в относительных единицах.

Режим долговременной эксплуатации двигателя должен осуществляться на номинальных или ниже номинальных токах. Так как  $I_r$  практически всегда больше  $I$ , то целесообразно провести исследование статических режимов работы при поддержании  $|I_r|=1$ , то есть когда в машине не протекают завышенные токи. При этом будем осуществлять режим поддержания потока постоянным и равным номинальному значению  $|\Psi|=1$ .

### Теория

Математическая модель данного режима запишется в виде:

$$I_r = \frac{I \cdot (r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi + v \cdot x_{ar} \cdot \cos \varphi)}{v \cdot x_{ar} \cdot \cos \lambda} \quad (2)$$

При  $I_r = 1$  получаем:

$$I = \frac{v \cdot x_{ar} \cdot \cos \lambda}{(r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi + v \cdot x_{ar} \cdot \cos \varphi)} \quad (3)$$

Тогда

$$U = \frac{v \cdot x_{ar} \cdot \cos \lambda \cdot (r \cdot \sin(\varphi + \theta) + v \cdot x_\sigma \cdot \cos(\varphi + \theta))}{(r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi + v \cdot x_{ar} \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \theta} \quad (4)$$

или

$$U = v \cdot x_{ar} \cdot I_r \cdot \sin \lambda + r \cdot I \cdot \cos \varphi - v \cdot x_\sigma \cdot I \cdot \sin \varphi - v \cdot x_{ar} \cdot I \cdot \sin \theta \quad (5)$$

Угол  $\lambda$  определится как:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\sin \lambda}{\cos \lambda} = \frac{(r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi) \cdot \cos \theta + \sin \theta \cdot v \cdot x_{ar} \cdot \sin \varphi}{(r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi) \cdot \sin \theta + \sin \theta \cdot v \cdot x_{ar} \cdot \cos \varphi} \quad (6)$$

Угол  $\delta$  определится как:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{I_r (s_0 \cdot x_{r\sigma} \cdot \cos \lambda + r_r \cdot \sin \lambda) + s_0 \cdot \Psi \cdot \sin \theta}{I_r (s_0 \cdot x_{r\sigma} \cdot \sin \lambda - r_r \cdot \cos \lambda) + s_0 \cdot \Psi \cdot \cos \theta} \quad (7)$$

Поток  $\Psi$  определится как:

$$\Psi = \frac{U \cdot (r \cdot \sin \varphi + v \cdot x_\sigma \cdot \cos \varphi)}{v \cdot r \cdot \sin(\varphi + \theta) + v^2 \cdot x_\sigma \cdot \cos(\varphi + \theta)} \quad (8)$$

И

$$\Psi = \frac{U_r \cdot (s_0 \cdot x_{r\sigma} \cdot \cos(\delta + \lambda) + r_r \cdot \sin(\lambda + \delta))}{s_0^2 \cdot x_{r\sigma} \cdot \cos(\lambda + \theta) + s_0 \cdot r_r \cdot \sin(\lambda + \theta)} \quad (9)$$

Напряжение возбуждения при этом вычисляется по формуле:

$$U_r = \frac{I_r (s_0 \cdot x_{r\sigma} \cdot \sin \lambda - r_r \cdot \cos \lambda) + s_0 \cdot \Psi \cdot \cos \theta}{\cos \delta} \quad (10)$$

Момент на валу:

$$M = \frac{U \cdot I \cdot (r \cdot \sin \varphi + x_\sigma \cdot v \cdot \cos \varphi)}{r \cdot v \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \theta) + v^2 \cdot x_\sigma} \quad (11)$$

### Результаты математического моделирования

Механическая характеристика данного режима, при угле  $\varphi = 30^\circ$ , частоте возбуждения 10 Гц, то есть,  $s_0 = 0.2$  представлена на рис.2.

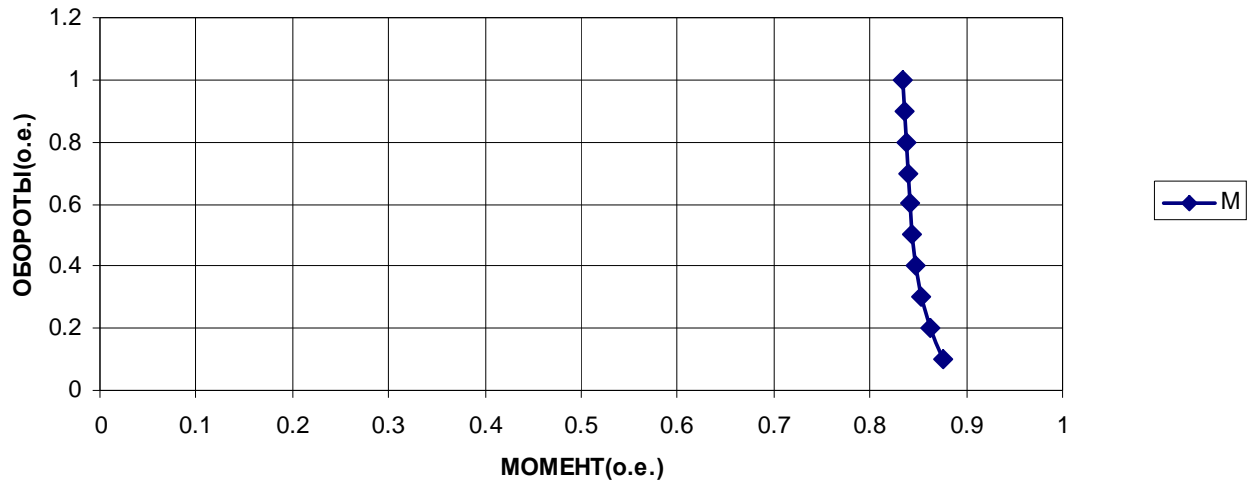


Рис.2 Механическая характеристика режима поддержания  $I_r = 1$  и  $\Psi = 1$ .

Из графика видно, что в данном режиме момент остается практически постоянным при любых оборотах двигателя. Регулирование момента в данном режиме можно осуществлять путем изменения угла  $\varphi$ .

Регулировочные характеристики данного режима представлены на рис.3.

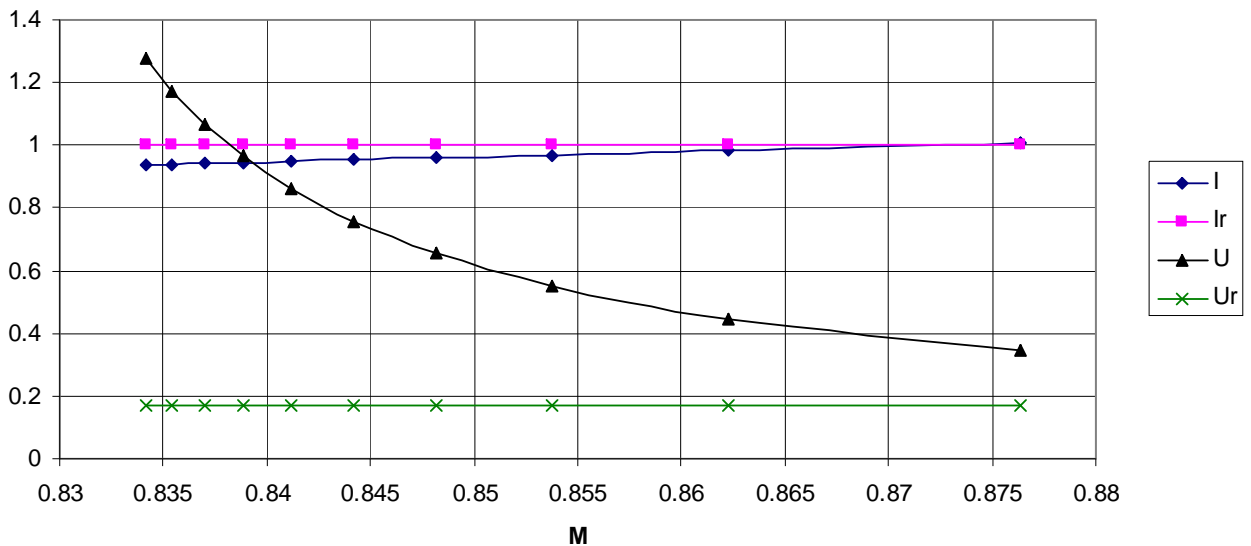


Рис.3 Регулировочные характеристики режима поддержания  $I_r = 1$  и  $\Psi = 1$ .

Из графика видно, что напряжение возбуждения практически постоянно, а напряжение якоря изменяется по нелинейному закону. Ток возбуждения поддерживается постоянным и равным номинальному значению, а ток якоря при этом изменяется в пределах от 0.9 до 1.

Момент двигателя будет меньше номинального. Физически это объясняется тем, что необходимо подавить ЭДС наводящиеся на якоре.

Из (1):

$$M = \Psi \cdot I \cdot \cos(\theta + \varphi) \quad (12)$$

Для достижения величины номинального значения необходимо увеличить ток якоря, или же увеличить поток. Регулирование путем достижения  $\cos(\theta + \varphi) = 1$  не прибавит момента на валу, так как уменьшение угла  $\varphi$  приводит к уменьшению тока якоря согласно (3). Увеличение угла  $\varphi$  до значения  $40^\circ$  приведет к увеличению тока якоря, и соответственно потокосцепления, и при этом момент достигнет номинального значения. Однако в данном случае потребуется завышенное значение напряжения якоря, кроме того, увеличение угла  $\varphi$  приводит к ухудшению показателя  $\cos \varphi$ .

### Выводы

1. Проведенные исследования режима работы двигателя с поддержанием номинального значения тока показывают, что момент на валу двигателя практически постоянен на всем диапазоне скоростей.

2. В режиме поддержания  $I_r = 1$  и  $\Psi = 1$  момент на валу двигателя будет всегда меньше номинального значения и численно близким к  $0,9 \cdot M_{ном}$  в зависимости от частоты возбуждения.

### Библиографический список

1. Гуляев И. В. Обобщенная электромеханическая система на основе асинхронизированного вентильного двигателя. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004.
2. Сонин Ю.П., Гуляев И.В. Асинхронизированный вентильный двигатель. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998.