

РАБОТА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ ОТ СЕТИ ОДНОФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Введение. В различных отраслях народного хозяйства используются устройства, в которых рабочий механизм осуществляет колебательные движения (вибротранспортирование, сортировку, расфасовку, шлифовку и т.д.). В этих устройствах электрические двигатели производят колебания на основе механических преобразователей. Для уменьшения габаритов устройства, материалоемкости, упрощения схемы управления начинает применяться электропривод для получения колебаний без механических редукторов и преобразователей. В практике для обеспечения колебательного движения используют различные типы двигателей (асинхронные, синхронные, шаговые и двигатели постоянного тока) и различные управляющие режимы [1]. Объект нашего исследования – трехфазный короткозамкнутый асинхронный двигатель в колебательном режиме, питающийся от источника однофазного напряжения.

Постановка проблемы. В 80-е годы прошлого столетия научные сотрудники кафедры «Электрического привода» Рижского Технического Университета (в прошлом – РПИ) запатентовали принцип управления трехфазным асинхронным двигателем, питающимся от источника однофазного синусоидального напряжения [2]. При помощи полупроводниковых ключей на фазные обмотки статора двигателя подается в определенной последовательности питающее напряжение положительного или отрицательного полупериодов. Начиная с положительного полупериода, напряжение подключается к обмоткам фазы А, начиная с отрицательного полупериода напряжение переключается на фазовые обмотки В, следующий положительный полупериод – к обмоткам фазы С. Следующие отрицательное, положительное и отрицательное напряжения подключаются соответственно к фазовым обмоткам А, В, и С. В этих режимах протекающий ток в обмотках статора совместно с обмотками ротора создает пульсирующее вращающее магнитное поле. Во время каждого полупериода направление магнитного потока перпендикулярно соответствующей плоскости обмотки и значение потока меняется по синусоидальному закону. Значение потока в следующем полупериоде снова меняется по синусоидальному закону, но направление его изменяется на 60° . В течении 6 полупериодов (3 периодов) направление магнитного потока осуществляет полный поворот на 360° . Это вращающее поле индуцирует э.д.с. в роторных обмотках. Взаимодействие токов ротора и магнитного потока создает электромагнитный момент, который вращает ротор двигателя. В этом режиме магнитное поле вращается 3 раза медленнее, чем в двигателе с подключенным трехфазным напряжением. Соответственно в 3 раза медленнее вращается ротор. Двигатель также может работать в колебательном режиме при определенной частоте, меняя направление вращения магнитного поля на противоположное и обратно. В трехфазном режиме этого можно достичь, меняя местами любые две обмотки статора, подключенные к трехфазной сети. В данном случае можно поступить аналогично, меняя последовательность подключения полупериодов напряжения к фазным обмоткам статора В и С [3,4].

Эксперимент проведен с короткозамкнутым асинхронным двигателем с двумя парами полюсов, для которого при трехфазной сети с частотой 50 Гц, частота вращения магнитного поля в случае трехфазного напряжения – 1500 мин^{-1} , при питании от однофазного напряжения – 500 мин^{-1} . Двигатель питается от сети 220 В через автотрансформатор, для регулирования питающего напряжения. Обмотки статора соединены в звезду. Каждая обмотка подключена к источнику напряжения через два параллельно-встречно подключенных оптических тиристора (рис. 1). Схема управления обеспечивает возможность в определенной последовательности подать управляющие импульсы на тиристоры, подключая к соответствующим обмоткам статора положительный или отрицательный полупериод напряжения. Схема управления состоит из микроконтроллера ATtiny2313, с программой, которая обеспечивает возможность работы двигателя в обоих направлениях вращения и различных колебательных режимах.

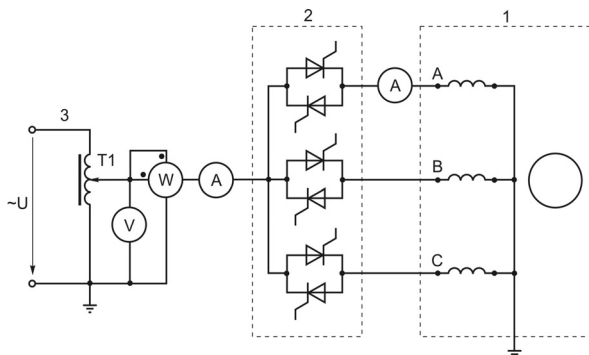


Рис. 1. Экспериментальная схема двигателя колебательного движения.

1 – асинхронный двигатель, 2 – полупроводниковый блок, 3 – автотрансформатор.

Описанный принцип управления последовательностью подключения полупериодов питающего напряжения можно записать в виде: $A^+ - B^- - C^+ - A^- - B^+ - C^-$. Здесь „+“ означает, что к соответствующим обмоткам подключен положительный полупериод напряжения, а „-“ – отрицательный полупериод. В течении 3 периодов напряжения, направление магнитного потока меняется на 360 электрических градусов, а ротора на 180°. Если следующие 3 периода напряжения имеют последовательность $A^+ - C^- - B^+ - A^- - C^+ - B^-$, тогда магнитный поток и также ротор вращаются в противоположном направлении. За 6 периодов напряжения, ротор сделает одно полное колебание с углом поворота на 180° в каждую сторону. Частота колебания $f_s = 50/6 = 8,333$ Гц, а период колебания $T_s = 6T = 120$ мс. Частоту колебаний можно менять, изменяя угол поворота ротора. Уменьшая угол поворота, растет частота колебаний и уменьшается период колебаний. Увеличивая угол поворота, частота колебаний уменьшается, а период увеличивается. К примеру, подключив к обмоткам статора следующую последовательность полупериодов напряжения: $A^+ - B^- - C^+ - A^- - B^+ - A^- - C^+ - B^- - A^+ - C^- - B^+ - A^- - C^+ - A^- - B^+ - C^-$, одно колебание длится 8 периодов напряжения. Период колебания $T_s = 160$ мс, частота колебания $f_s = 6,25$ Гц, угол поворота 240°. Период колебания можно увеличить, если в конце каждого колебания один или несколько периодов напряжение не подключать ни к одной из обмоток статора. Безусловно, период колебаний можно также регулировать, изменяя частоту подключенного питающего напряжения или используя двигатель с другим количеством полюсов.

При работе двигателя в колебательном режиме, частота колебаний соответствует расчетной, но угол колебаний значительно меньше, чем рассчитанный для обобщенной машины. У реальных двигателей имеется момент инерции. Запуская двигатель в вращательном режиме, происходит переходной процесс и только через определенное время ротор двигателя начинает вращаться со стационарной частотой вращения Ω_s . В случае постоянной нагрузки частота вращения Ω растет экспоненциально (1).

$$\Omega = \Omega_s \cdot [1 - \exp(-t/T_{meh})] = \Omega_s [1 - \exp(-t/T_{meh})], \quad (1)$$

где Ω_s – стационарная частота вращения, град/с.

Качаясь, ротор двигателя постоянно находится в тормозном или пусковом режимах и частота колебаний никогда не достигает значения Ω_s . Режимы становятся квазистационарными, в течении одного полупериода частота колебаний меняется экспоненциально от значения $-\Omega_{os}$ до Ω_{os} , но в следующем полупериоде от Ω_{os} до $-\Omega_{os}$ (рис.2).

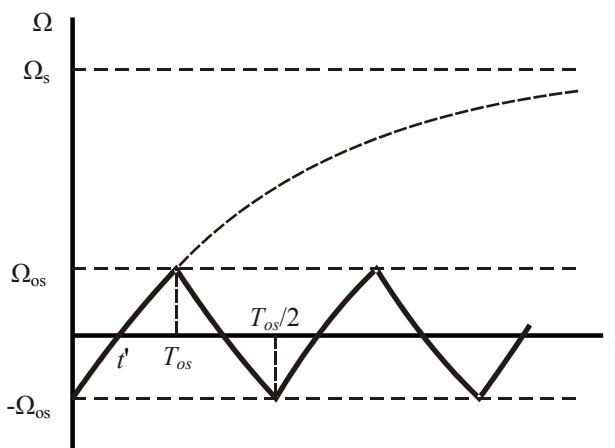


Рис 2. Изменение частоты вращения в колебательном режиме

Принимая во внимание, что $-\Omega_{os}$ и Ω_{os} численно одинаковы, получаем:

$$\Omega(t) = \Omega_s [1 - (2 \exp(-t/T_{meh}) / (1 + \exp(-t/2T_{meh})))] \quad (2)$$

Во временном интервале от 0 до t' , ротор двигателя заторможен, но на интервале от t' до $T_{os}/2$ вращается в противоположном направлении. В интервале от t' до $T_{os}/2 + t'$ ротор поворачивается на угол α_{os} , который называется углом колебания.

$$\alpha_{os} = \int_{t'}^{T_{os}/2+t'} \Omega(t) dt \quad (3)$$

Экспериментально период колебания T_{os} можно менять, меняя длину паузы, когда к обмоткам статора напряжение не подключено (табл. 1).

Увеличивая период колебания T_{os} , увеличивается частота вращения Ω_{os} и угол колебания α_{os} . Если частота вращения двигателя в режиме холостого хода $n_s = 500$ мин⁻¹, тогда $\Omega_s = 3000$ град/с. На основе полученных данных двигателя в пусковом режиме, рассчитана механическая константа времени $T_{meh} = 0,14$ с. Результаты расчетов Ω_{os} и α_{os} , представлены в таблице 2.

Таблица 1

Последовательность напряжений на обмотки статора в колебательном режиме

T_{OS}, s	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28
1	A ⁺	A ⁺	A ⁺	A ⁺	A ⁺	A ⁺
2	B ⁻	B ⁻	B ⁻	B ⁻	B ⁻	B ⁻
3	C ⁺	C ⁺	C ⁺	C ⁺	C ⁺	C ⁺
4	B ⁻	-	-	-	-	-
5	A ⁺	-	-	-	-	-
6	C ⁻	B ⁻	-	-	-	-
7	B ⁺	A ⁺	-	-	-	-
8	C ⁻	C ⁻	B ⁻	-	-	-
9		B ⁺	A ⁺	-	-	-
10		-	C ⁻	B ⁻	-	-
11		-	B ⁺	A ⁺	-	-
12		C ⁻	-	C ⁻	B ⁻	B ⁻
13			-	B ⁺	A ⁺	A ⁺
14			-	-	C ⁻	C ⁻
15			-	-	B ⁺	B ⁺
16			C ⁻	-	-	-
17				-	-	-
18				-	-	-
19				-	-	-
20				C ⁻	-	-
21					-	-
22					-	-
23					-	-
24					C ⁻	-
25						-
26						-
27						-
28						C ⁻

Таблица 2

Угол колебаний α_{OS} в зависимости от периода колебаний T_{OS}

T_{OS}, c	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28
$\Omega_{OS}, \text{град/с}$	425	633	834	1028	1212	1386
$\alpha_{OS}, \text{град}$	8,5	19,1	33,8	52,5	73,7	106,5

Работа двигателя в колебательном режиме, экспериментально проверена при нагрузках двигателя [4]. Увеличивая период колебаний T_{OS} , уменьшается как потребляемая двигателем мощность P , так и сила тока I . А также уменьшается P и I , если уменьшать значения питаемого напряжения U .

Выводы

1. Асинхронный двигатель целесообразно использовать в квазистационарном режиме.
2. Система колебательного электропривода обеспечивает частоту колебаний и изменение амплитуд в широком диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Луковников. Электропривод колебательного движения. М. Энергоатомиздат 1984. 152с.
2. Я. П. Грейвулис, Л. С. Рыбицкий, И.В. Авкшоль, Э. А. Блумбергс. Авторское свидетельство СССР № 1112514. Способ управления трехфазным асинхронным двигателем.
3. Patents 13775. Trīsfažu asinhronā dzinēja svārstību režīma vadības paņēmieni. J.Greivulis, U.Antonovičs, Rīga, 2008.
4. U. Antonovičs, V. Bražis, J. Greivulis. The mechanical transient process at asynchronous motor oscillating mode. Scientific proceedings of Riga technical university; Power and electrical engineering, series 4, vol. 25, Riga, 2009, pp. 23-26.