

УДК 621.313.333

## ИМПУЛЬСНОЕ ПИТАНИЕ АСИНХРОННЫМ КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

**В. В. ТОДАРЕВ, В. В. ЛОГВИН, Л. В. ВЕППЕР, А. С. ЗАЙЦЕВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

*Рассмотрен способ управления колебательным электроприводом, при котором возможно обеспечить коэффициент полезного действия близкий к номинальному.*

*Способ управления с импульсным питанием позволяет поддерживать коэффициент полезного действия двигателя равным или близким к номинальному значению при изменении нагрузки и (или) частоты колебаний. Способ заключается в том, что измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости. В каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают. Частоту источника переменного тока устанавливают таким образом, чтобы среднее за время питания скольжение было равно номинальному значению.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, скольжение, способ управления, колебательное движение, частота колебаний.

## PULSE POWER WITH AN ASYNCHRONOUS OSCILLATORY ELECTRIC DRIVE

**V. V. TODAREV, V. V. LOGVIN, L. V. VEPER, A. S. ZAITSEV**

*Educational Institution "Sukhoi State Technical University  
of Gomel", the Republic of Belarus*

*A method for controlling an oscillatory electric drive is considered, where it is possible to provide efficiency close to the nominal.*

*The pulse power control method allows to maintain the engine efficiency equal or close to the nominal value when load and (or) oscillation frequency are changing. The method consists in measuring motor shaft speed and according to the measurement results turning on the motor power with alternate current. The measured speed is compared with a predetermined value in each half-cycle of oscillations. The engine is powered until its speed exceeds the predetermined value, and then it is turned off. The alternate current source frequency is set so that the average slip during the power supply is equal to the nominal value.*

**Keywords:** asynchronous motor, sliding, control method, oscillatory motion, oscillation frequency.

### **Введение**

Колебательное (возвратно-вращательное) движение рабочего органа используется во множестве рабочих машин и механизмов: испытательные стенды на вибрацию электронных узлов, корпусов и пружин; на истирание, сгиб-разгиб, разматывание-наматывание микрокабелей, тросиков, канатиков, корда; миксеры; стиральные машины; станки-качалки; спортивные вибростимуляторы; притирочные, шлифовальные, галтовочные обрабатывающие станки и т. д.

Наиболее распространенным электроприводом возвратно-вращательного движения является электропривод вращательного движения, в котором используются либо механические преобразователи (редукторы), либо переключатели полярности или фазы напряжения питания электродвигателя для реверсирования направления вращения.

Использование редукторов ведет к потерям до 30 % мощности приводного электродвигателя, а применение переключателей приводит к жесткому реверсу, сопровождающемуся электрическими и механическими ударами, что снижает долговечность электропривода и рабочей машины в целом, а также ухудшает качество технологического процесса.

Отсюда ясна актуальность создания безредукторного электропривода возвратно-вращательного движения с мягким реверсом.

В данной статье предлагается совершенно новый принцип построения колебательного электропривода, основанный на обеспечении условий возникновения устойчивого автоколебательного режима работы его силового электромеханического узла «асинхронный электродвигатель – упругий элемент».

Целью работы является разработка способа управления колебательным электроприводом, при котором будет обеспечен КПД близкий к номинальному.

### Основная часть

Известен способ управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме колебательного движения, согласно которому питание обмоток статора двигателя осуществляется переменным током одинаковой амплитуды и одной частоты со сдвигом по фазе на  $\frac{\pi}{2}$ , ток одной фазы модулируется по амплитуде гармоническим сигналом, ток другой фазы – выпрямленным гармоническим сигналом [1].

Недостатком данного способа является низкий коэффициент полезного действия из-за больших потерь мощности в обмотках двигателя, обусловленных высокими значениями скольжения  $S(t)$  из-за синусоидального закона колебательного движения и появления при нескомпенсированной инерционной нагрузке интервала движения, соответствующего режиму противовключения [2]:

$$S(t) = \frac{\omega_1(t) - \omega_p(t)}{\omega_1(t)} = \frac{\omega_{1\max} \operatorname{sign}|\sin \Omega t| - \omega_{p\max} \sin(\Omega t - \varphi_k)}{\omega_{1\max} \operatorname{sign}|\sin \Omega t|},$$

где  $\omega_{1\max} = \frac{2\pi f_1}{p}$  угловая частота вращения поля статора, рад/с;  $p$  – число пар полюсов;  $f_1$  – частота источника питания, Гц;  $\Omega = 2\pi f_k$ ,  $f_k$  – частота колебаний, Гц;  $\omega_{p\max}$  – амплитуда угловой частоты колебаний ротора, рад/с;  $\varphi_k$  – механический фазовый сдвиг ротора относительно поля статора, вызванный инерционной нагрузкой, рад.

Среднее за полупериод колебаний значение скольжения  $S_{\text{ср}}$  может быть близким к единице.

Наиболее схожим по технической сущности с заявленным будет способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем и упругим элементом, соединенным с его валом [3]. Способ заключается в том, что измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости, в каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают.

По сути это асинхронный колебательный электропривод с импульсной подпиткой колебательного контура механической энергией.

В данном способе управления асинхронным колебательным электроприводом инерционная составляющая нагрузки скомпенсирована упругим элементом, а сред-

нее за время импульса питания двигателя скольжение уменьшено до величины, при которой преобразование энергии в двигателе будет наиболее эффективно.

Недостатком этого способа является ограниченный диапазон применения по активной составляющей нагрузки и (или) частоте колебаний, поскольку их увеличение ведет к снижению амплитуды колебаний ротора, росту скольжения больше номинального, росту потерь мощности в обмотках двигателя, снижению КПД. При значительных активных нагрузках и (или) частотах колебаний даже минимальное в течение полупериода колебаний скольжение  $S_{\min}(t)$  может оказаться значительно больше номинальной величины [2].

Задачей является расширение рабочего диапазона асинхронного колебательного электропривода с импульсным питанием двигателя и с упругим элементом на его валу с сохранением КПД равным или близким к номинальному при изменении активной нагрузки и (или) частоты колебаний.

Задача решается следующим образом: в способе управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем с упругим элементом на его валу измеряют скорость вала двигателя и включают питание двигателя переменным током по результатам измерения скорости, в каждом полупериоде колебаний сравнивают измеренную скорость с заданной величиной, двигатель питают до тех пор, пока его скорость превышает заданную величину, а затем отключают согласно изобретению, устанавливая такую частоту переменного тока и соответственно угловую частоту вращения поля статора  $\omega_1(t)$ , чтобы среднее за время питания двигателя скольжение  $S_{\text{cp}}$  было равно номинальному  $S_{\text{ном}}$ .

Поскольку угловая частота колебаний ротора  $\omega_p(t)$  определяется механическими параметрами (величина и характер нагрузки, частота колебаний) колебательного контура, то благодаря изменению частоты источника питания на каждой ступени нагрузки можно осуществить подпитку колебательного контура механической энергией при средних за время питания значениях потерь мощности и коэффициента полезного действия на уровне номинальных. Величина механической энергии  $W_k$  будет зависеть от выбранного времени  $t_n = t_k - t_n$  питания, при котором  $S_{\text{cp}} = S_{\text{ном}}$ , т. е.

$$W_k = \int_{t_n}^{t_k} M_{\text{эм}}(t) \omega_{\text{cp}}(t) dt,$$

где  $M_{\text{эм}}(t)$  – электромагнитный момент двигателя, Н · м.

Время начала  $t_n$  и окончания питания  $t_k$  определяется из условия

$$\omega_{\text{р.пит}}(t) = \omega_{\text{р.мах}} \sin \Omega t \geq \omega_{\text{р.зад}},$$

где  $\omega_{\text{р.пит}}$  – угловая частота вращения ротора на интервале подачи импульса питания, рад/с;  $\omega_{\text{р.зад}}$  – задаваемая угловая частота коммутации источника питания.

Величину питающего напряжения изменяют по законам частотного регулирования.

Как показано в [4], наибольшая длительность импульса питания и следовательно наибольшая механическая энергия с условием  $S_{\text{cp}} = S_{\text{ном}}$  будут при равенстве угловой частоты вращения поля статора  $\omega_1(t)$ , которую на каждом полупериоде колебаний можно считать постоянной и амплитудного значения угловой частоты вращения ротора, т. е.  $\omega_1(t) = \omega_{\text{р.мах}} = \text{const}$ .

На рис. 1 показаны временные зависимости параметров колебательного режима при  $\omega_1(t) = \omega_{p \max} = \text{const}$ , где  $T = \frac{1}{f_k}$  – период колебаний, с.

$$\omega_1^*(t) = \frac{\omega_1(t)}{\omega_{p \max}}; \quad \omega_p^*(t) = \frac{\omega_p(t)}{\omega_{p \max}}.$$

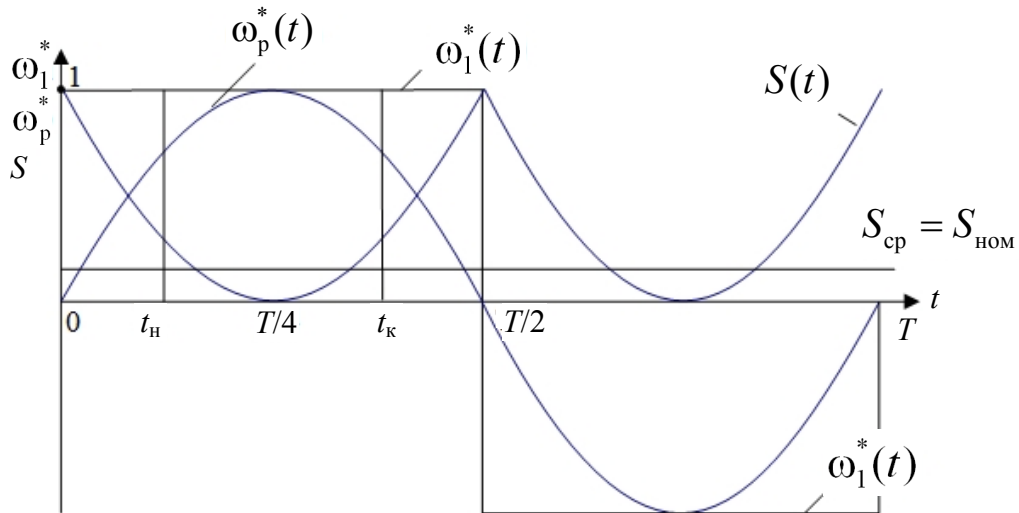


Рис. 1. Временные зависимости параметров колебательного режима

На рис. 2 представлена блок-схема колебательного привода с асинхронным двигателем.

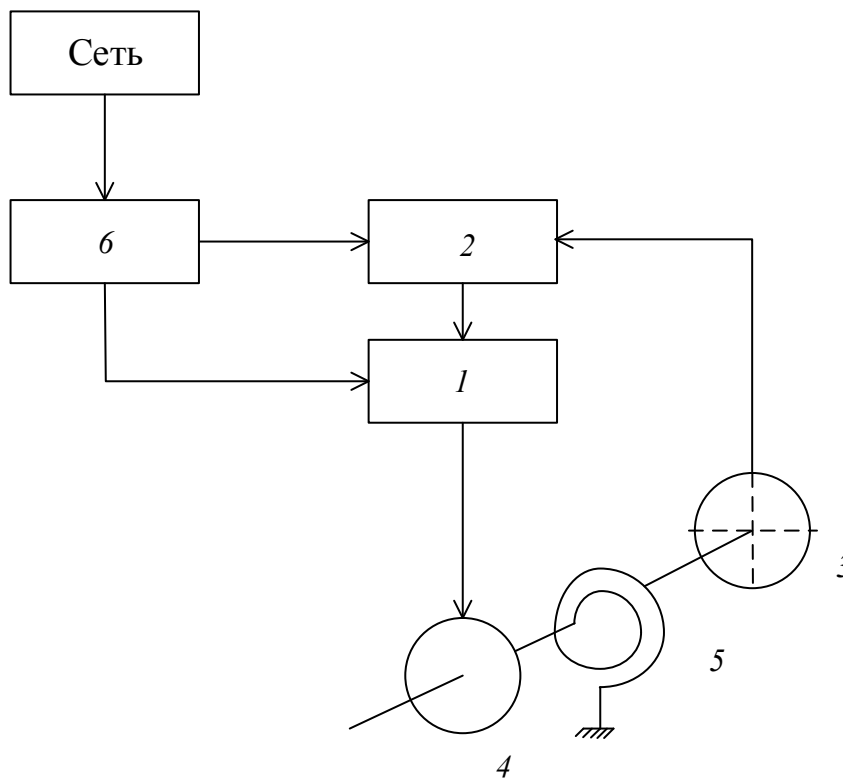


Рис. 2. Блок-схема колебательного привода

Колебательный электропривод включает (рис. 2): частотный преобразователь 1, коммутационное устройство 2, датчик скорости (угловой частоты) вращения вала двигателя 3, асинхронный электродвигатель 4, упругий элемент 5, переключатель 6.

Способ управления осуществляют следующим образом. Предварительно, исходя из механических показателей колебательного движения  $\omega_p(t)$ ,  $W_k$  и условия  $S_{cp} = S_{ном}$ , рассчитывают и устанавливают в частотном преобразователе 1 частоту и величину напряжения переменного тока, а в коммутационном устройстве 2 – задаваемую угловую частоту (скорость) коммутации источника питания  $\omega_{p,зад}(n_{p,зад})$  в виде эквивалентного напряжения задания  $U_{зад}$ . Пуск автоколебательного электропривода производится традиционным способом, для чего переключатель 6 устанавливают в положения питания двигателя от сети. При достижении номинального режима переключатель 6 устанавливают в другое положение и напряжение на обмотку электродвигателя 4 подается в каждом полупериоде колебательного движения только в интервал времени, когда угловая частота вращения вала больше заданной  $\omega_{p,зад}$ , т. е. напряжение на датчике скорости 3 по абсолютной величине превышает заданное значение  $U_{зад}$  [5].

### Заключение

Данный способ управления электрическими машинами может быть использован в приводах колебательного движения, содержащих механический упругий элемент, например, сельскохозяйственных машин, дробилок и др. При таком способе управления появляется возможность поддерживать КПД двигателя равным или близким к номинальному значению при изменении нагрузки и (или) частоты колебаний.

### Литература

1. Способ управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме колебательного движения : а. с. 1415400А1, СССР, МПК Н02Р7/62 / В. И. Луковников, В. В. Тодарев, С. А. Грачев. – № 4179356 ; заявл. 08.04.88 ; опубл. 07.08.88, Бюл. № 29.
2. Грачев, С. А. Безредукторный электромашинный привод периодического движения / С. А. Грачев, В. И. Луковников. – Минск : Выш. шк., 1991. – 160 с.
3. Способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем : а. с. 1631689А1, СССР, МПК Н02Р7/62 / В. И. Луковников, В. В. Тодарев, М. Н. Погуляев. – № 4651139 ; заявл. 13.02.89 ; опубл. 28.02.91, Бюл. № 8.
4. Беликова, А. И. Определение длительности импульса питания автоколебательного асинхронного электропривода / А. И. Беликова, А. А. Мигдаленок // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко [и др.]. – Гомель, 2017. – С. 224.
5. Способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем : пат. 22642 Респ. Беларусь, МПК Н02Р 27/02 / В. В. Тодарев, В. В. Логвин, А. С. Зайцев, А. И. Беликова ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № а 20170496 ; заявл. 26.12.2017 ; опубл. 30.08.2019.

Получено 01.10.2019 г.