

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИМПУЛЬСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А. А. Толстенков

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. А. Савельев

Существует множество технических систем различных конструкций и назначений, работа которых направлена на совершение колебательных движений. Однако все эти системы имеют множество недостатков, обусловленных их конструктивным исполнением (низкое КПД, высокое потребление энергии, плохая управляемость, узкая направленность использования и т. д.).

Одним из наиболее распространенных классов колебательных механизмов являются электромеханические системы, использующие упругие элементы (пружины, эластомеры, гидравлические и пневматические упругие конструкции) и другие системы механического возвратного действия. В их конструкции в основном используются механические передачи (редукторы) для преобразования энергии движения и передачи ее от исполнительного устройства (электродвигатель, гидромотор) к рабочему органу, совершающему колебания. Подобный подход ведет к увеличению габаритных показателей системы, уменьшению ее надежности и снижению КПД. Исходя из вышеизложенного, применение систем прямого действия (безредукторные) значительно повышает качественный уровень механизма. К таким решениям относятся автоколебательные синхронные и асинхронные АЭП, но их применение ограничено условиями устойчивости автоколебаний.

Таким образом, наиболее рациональным решением будет применение АЭП импульсного управления на основе асинхронного трехфазного двигателя с короткозамкнутым ротором, так как данная система не имеет в своем составе редуктора и работает по принципу вынужденных колебаний.

В качестве примера рассмотрим принцип действия колебательной системы «асинхронный двигатель с импульсным управлением – маятник», функциональная схема которого приведена на рис. 1.

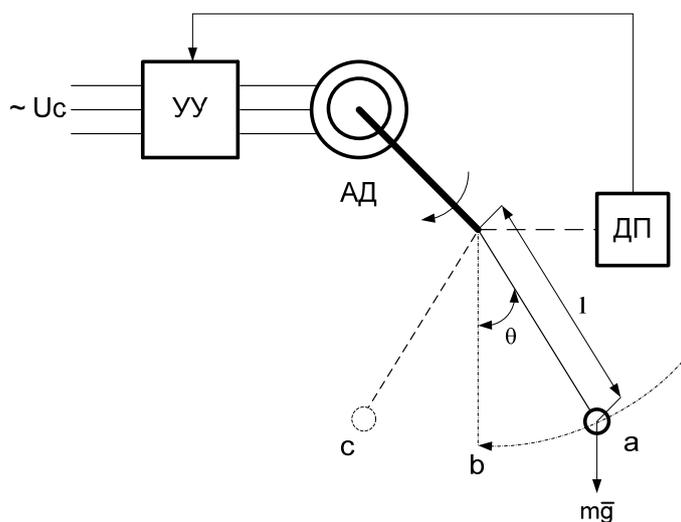


Рис. 1. Функциональная схема системы «асинхронный двигатель с импульсным управлением – маятник»: АД – асинхронный двигатель; УУ – устройство управления; ДП – датчик положения; U_c – трехфазное переменное напряжение; θ – угол отклонения маятника от оси равновесия; l – длина жесткого подвеса маятника; mg – вектор силы тяжести

Сущность классического импульсного способа управления скоростью вращения электродвигателей состоит в том, что изменение скорости достигается не за счет изменения мощности, непрерывно подводимой к электродвигателю, а путем изменения времени, в течение которого к электродвигателю подводится максимальная мощность. Иначе говоря, при импульсном управлении к электродвигателю подводится последовательность импульсов неизменного напряжения U_n , в результате чего его работа состоит из чередующихся периодов разгона и торможения. Если эти периоды T , как показано на рис. 2, малы по сравнению с электромеханической постоянной времени электропривода и скорость двигателя n не успевает к концу каждого периода достигать установившихся значений, то установится некоторая средняя скорость n_{cp} , величина которой при неизменных моменте нагрузки и напряжении питания будет однозначно определяться относительной продолжительностью включения $\tau = t_n/T$, где t_n – длительность импульса. Чтобы скорость вращения двигателя однозначно определялась величиной τ , необходимо, чтобы в период отключения питания двигатель тормозил. Если это условие не будет выполняться, то скорость двигателя будет непрерывно увеличиваться (пока не достигнет скорости холостого хода), так как при прохождении импульса скорость будет возрастать, а во время паузы оставаться неизменной. Также n_{cp} будет зависеть от величины момента нагрузки M_n и величины питающего напряжения U_n .

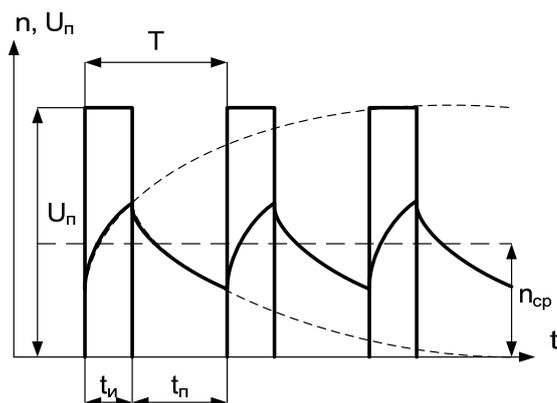


Рис. 2. Изменение скорости вращения двигателя при импульсном управлении

В нашем случае нет необходимости в поддержании постоянной средней скорости вращения двигателя, так как АД рассматривается как источник вынуждающего воздействия при вынужденных колебаниях механической части системы. Также нет необходимости в режиме принудительного торможения, так как упругий элемент сообщает на вал двигателя момент нагрузки, который и затормаживает двигатель при снятии питающего импульса.

Для более наглядного описания принципа работы системы идеализируем модель маятника. Пусть суммарная сила натяжения и периодическими деформациями в жестком подвесе маятника, сила сопротивления воздуха, действием сил трения в точке подвеса, в нашем случае сила трения в подшипниках двигателя равна $\sum F_c$.

При данных условиях маятник, отклоненный на некоторый угол θ от состояния равновесия, будет совершать колебательные движения под действием силы тяжести:

$$F = -m \cdot g \cdot \sin \theta. \quad (1)$$

Знак « \rightarrow » в правой части уравнения обозначает, что F направлен в сторону уменьшения угла.

Тогда момент сил и сообщаемое им угловое ускорение:

$$M = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta + \sum M_c; \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{d^2\theta}{dt^2} = M \cdot J. \quad (3)$$

С учетом этого получается дифференциальное уравнение

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = -m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta + \sum M_c. \quad (4)$$

Разделив правую и левую части последнего уравнения на момент инерции тела, найдем уравнение движения маятника

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \cdot \theta - \frac{\sum M_c}{J} = 0, \quad (5)$$

из которого следует, что под действием сил $\sum F_C$ колебания будут затухать (рис. 3).

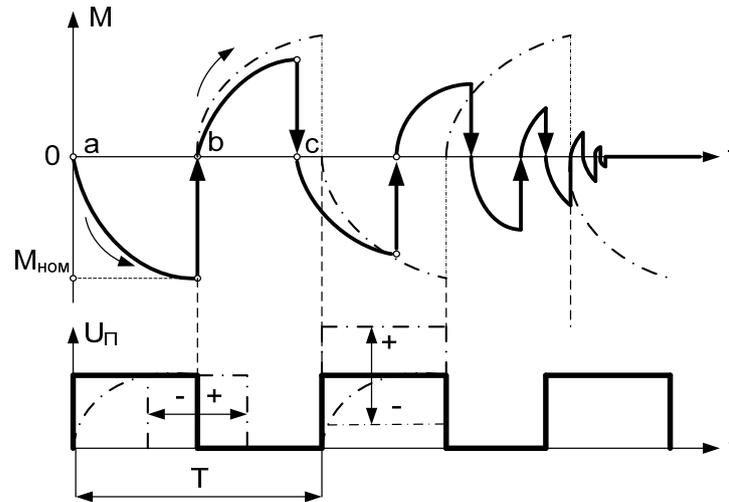


Рис. 3. График изменения момента маятника во времени

Таким образом, для поддержания параметров колебания (период и амплитуда) на заданном уровне, необходимо подавать импульсы питания в момент времени, когда собственный момент маятника естественно нарастает по модулю, как бы подталкиваем его. То есть под действием данного импульса двигатель должен развивать момент противодействующий $\sum F_C$, в этом случае колебания маятника будут незатухающими.

Соответственно параметрами колебания можно управлять в широких пределах, изменяя форму, длительность следования и амплитуду импульсов питающего напряжения.

В итоге мы получаем систему колебательного движения, обладающую рядом преимуществ:

- минимизация потерь за счет импульсного управления двигателем;
- система подходит для двигателей любых мощностей;
- широкий диапазон управления параметрами колебаний;
- универсальность, так как не требует применения специальных двигателей.