ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ю.А. Рудченко

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

Научный руководитель Луковников В.И.

Эффективность применения безредукторного электропривода возвратно-вращательнго (колебательного) движения с мягким реверсом обусловлена тем, что он позволяет не только уменьшить металлоемкость и исключить электромеханические удары в рабочей машине, но и осуществить плавное оперативное регулирование частоты и амплитуды колебаний, облегчить интеграцию привода с рабочим инструментом, повысить динамические и энергетические показатели, а значит, в целом повысить производительность рабочей машины и качество выпускаемой продукции.

Цель работы заключается в создании математического обеспечения для анализа и синтеза условий возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебаний в однофазном и трехфазном электродвигателе, для его выбора в качестве силового элемента стенда испытания пружин.

Опуская предварительные математические преобразования, запишем обобщенное уравнение автоколебательного движения асинхронного электродвигателя (АД) с линейной пружиной на валу в канонической форме

$$\ddot{\varphi}+\varphi=-\mu_2 Sign\dot{\varphi}+\mu_3+(\mu_4-\mu_1)\dot{\varphi}+\mu_5\dot{\varphi}^2-\mu_6\dot{\varphi}^3, \qquad (1)$$

где φ, $\dot{\varphi}$, $\ddot{\varphi}$ – относительная угловая координата положения вала АД и ее первая (скорость) и вторая (ускорение) производные по относительному времени; μ_1, μ_2 – коэффициенты нагрузки жидким и сухим трением; μ_3, μ_4, μ_5, μ_6 – коэффициенты полиномиальной аппроксимации механической характеристики АД.

Это уравнение обобщенное, так как оно описывает автоколебательное движение трехфазного АД, а при $\mu_3 = 0$, $\mu_5 = 0$ и однофазного АД.

Поскольку в правой части уравнения (1) имеются постоянная составляющая (μ_3) и квадратичная зависимость ($\mu_5\dot{\varphi}^2$), то ожидается автоколебательное движение со смещением нейтрали колебаний. Далее будем ограничиваться в этом движении нулевой и первой гармоническими составляющими и в связи с этим упростим и запишем уравнение (1) в виде

$$\ddot{\varphi}+\varphi=(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)-\mu_2 Sign\dot{\varphi}+(\mu_4-\mu_1)\dot{\varphi}-\mu_6\dot{\varphi}^3. \qquad (2)$$

Представим уравнение (2) сначала в виде системы двух уравнений

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \nu, \\ \dot{\nu} = (\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)-\varphi-\mu_2 Sign\nu+(\mu_4-\mu_1)\nu-\mu_6\nu^3, \end{cases}$$

а затем делением второго уравнения на первое в виде дифференциального уравнения интегральных кривых

$$\frac{d\nu}{d\varphi}=\frac{1}{\nu}[(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)-\varphi-\mu_2 Sign\,\nu+(\mu_4-\mu_1)\nu-\mu_6\nu^3]. \quad (3)$$

Анализом уравнения (3) поставим условия возникновения, устойчивости и бифуркаций автоколебательного движения.

Проинтегрируем (3) для начальных условий φ_0, ν_0

$$\int_{\nu_0}^{\nu}\nu\,d\nu=\int_{\varphi_0}^{\varphi}[(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)-\varphi-\mu_2 Sign\,\nu+(\mu_4-\mu_1)\nu-\mu_6\nu^3]\,d\varphi,$$

и получим

$$(\nu^2-\nu_0^2)+(\varphi^2-\varphi_0^2)-2(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)\cdot(\varphi-\varphi_0)=\Omega(\varphi), \quad (4)$$

где интеграл, учитывающий влияние сил диссипации и подпитки равен

$$\Omega(\varphi)=2\int_{\varphi_0}^{\varphi}[-\mu_2 Sign\,\nu+(\mu_4-\mu_1)\nu-\mu_6\nu^3]\,d\varphi.$$

В установившемся режиме силы подпитки и диссипации компенсируют друг друга, тогда $\Omega(\varphi)=0$ и уравнение (4) сводится к системе уравнений

$$\begin{cases}(\nu^2-\nu_0^2)+(\varphi^2-\varphi_0^2)-2(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)\cdot(\varphi-\varphi_0)=0,\\ \int_{\varphi_0}^{\varphi}[-\mu_2 Sign\,\nu+(\mu_4-\mu_1)\nu-\mu_6\nu^3]\,d\varphi=0.\end{cases} \quad (5)$$

Первое уравнение описывает фазовые траектории свободного движения подпружиненной системы, представляющие собой окружности со смещенным центром в точку с координатами $\nu_ц=0$, $\varphi_ц=\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5$ и радиусом

$$\nu_m=\varphi_m=\sqrt{\nu_0^2+[\varphi_0-(\mu_3+\frac{1}{2}\mu_5)]^2}\,.$$

Они же справедливы и для установившегося движения АД с маятником на валу, нагруженного диссипативными силами, при условии их компенсации активным электромагнитным усилием «подкачки», когда выполняется второе уравнение системы (5).

Это уравнение по существу описывает условия возникновения предельных циклов автоколебаний и позволяет установить взаимосвязь между начальными условиями пуска (φ_0, ν_0), нагрузкой (μ_1, μ_2), параметрами АД и его электропитания ($\mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$), определяющую существование этих циклов.

Вид фазовой траектории говорит о том, что закон автоколебаний имеет вид

$$\varphi = (\mu_3 + \frac{1}{2}\mu_5) + \sqrt{\nu_0^2 + [\varphi_0 - (\mu_3 + \frac{1}{2}\mu_5)]^2} \cdot Sin(\tau + arctg\frac{\varphi_0}{\nu_0}). \quad (6)$$

Интеграл $\Omega(\varphi)$ будет равен нулю, поскольку при компенсации сил диссипации силами подпитки будет равна нулю подынтегральная функция.

Прямой подстановкой (6) во второе уравнение (5) получим на основе гармонического баланса по первой гармонике

$$-\frac{4}{\pi}\mu_2 + (\mu_4 - \mu_1)\varphi_m - \frac{3}{4}\mu_6\varphi_m{}^3 = 0. \quad (7)$$

Уравнение (7) точно совпадает с подобным уравнением, полученным в [1] методом Ван дер Поля. Это, во-первых, подтверждает правильность принятого в данной работе подхода, а во-вторых, позволяет непосредственно пользоваться бифуркационными диаграммами, найденными в [1], при анализе и синтезе условий возникновения, устойчивости и управляемости автоколебательного движения, как в однофазном, так и в трехфазном АД.

Преимущество предлагаемого нами метода решения обобщенного уравнения (1) над методом Ван дер Поля заключается в том, что он позволяет, как видно из (6), ввести в уравнения кроме связи параметров нагрузки, АД и его электропитания еще и начальные условия пуска (φ_0, ν_0), которые существенно влияют на получение устойчивого автоколебательного режима.

Литература

1. Луковников В.И., Веппер Л.В. Исследование автоколебательного движения однофазного асинхронного электродвигателя с линейной пружиной на валу //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2001. – № 2. – С. 33-42.

КОМПЛЕКСНЫЙ ДАТЧИК ПОТЕРИ ПИТАНИЯ СИНХРОННОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

А.Г. Баранов

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

Научный руководитель Курганов В.В.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке быстродействующего АВР (БАВР) синхронной двигательной нагрузки как наиболее эффективному способу обеспечения устойчивости синхронных двигателей (СД). Успешное срабатывание БАВР с учетом применения быстродействующих выключателей возможно при соблюдении следующих условий: 1) оперативное обнаружение потери питания (ПП) СД; 2) определение по начальным параметрам выбега эквивалентного СД (ЭСД) моментов времени, когда включение возбужденных СД на резервный источник питания безопасно по условию тока и электромагнитного момента включения.

Известные способы фиксации потери питания ЭСД предусматривают сравнение фаз, частот или амплитуд напряжений и токов двух взаимнорезервируемых секций шин. Недостатком этих способов [1, 4] является недопустимая для ответственных потребителей инерционность. Так, используемые в настоящее время в схемах РЗиА реле направления мощности типа РМ – 11 и РМ –12 имеют следующие общие недос-