

6. Г.И. Однокопылов, И.А. Розаев. Восстановление работоспособности
7. вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2014, №4, С.181-184.
8. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A. Formation of failure matrix and failure-free control algorithm for multi-sectioned Switched-reluctance drive (Article number 012035) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-7
9. Odnokopylov G.I., Bragin A.D. Fault tolerant vector control of induction motor drive (Article number 012015) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-6

Научный руководитель: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент, каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ В ВИБРОПРИВОДЕ

И.А. Розаев, Л.А. Паюк, Н.А. Воронина
Томский политехнический университет
ЭНИН ЭПЭО

В современной промышленности многие процессы изготовления, как готовой продукции, так и отдельных узлов электротехнического оборудования сопровождается промежуточным контролем качества изделий.

Самым распространенным методом контроля различного оборудования является вибродиагностика [6]. При использовании различных методов контроля можно выявить и оценить наличие дефектов контролируемых изделий [2]. Области применения вибрационного метода: контроль и мониторинг вращающегося оборудования; тестовая диагностика и центровка машин; балансировка машин на месте эксплуатации; диагностика подшипников качения, механических передач.

К вибрационной технике предъявляется ряд требований, которые необходимо выполнять неукоснительно, а именно: амплитуда колебаний, их частота, точность и т.д. [3,4]. При формировании колебаний вибродиагностической платформы можно воспользоваться генератором колебаний на базе МДП, который работает в колебательно-вращательном режиме. Особенностью реализации данного режима является то, что обмотки статора запитываются токами одной частоты, а обмотки ротора – токами разных частот [3].

В данной работе предложен способ формирования колебательно-вращательного режима работы на примере МДП (рис. 1) при различных включениях магнитных полей и проведен анализ влияния параметров нагрузки на динамические показатели исполнительного двигателя. Как известно, МДП универсальна и имеет высокие энергетические характеристики [1, 5].

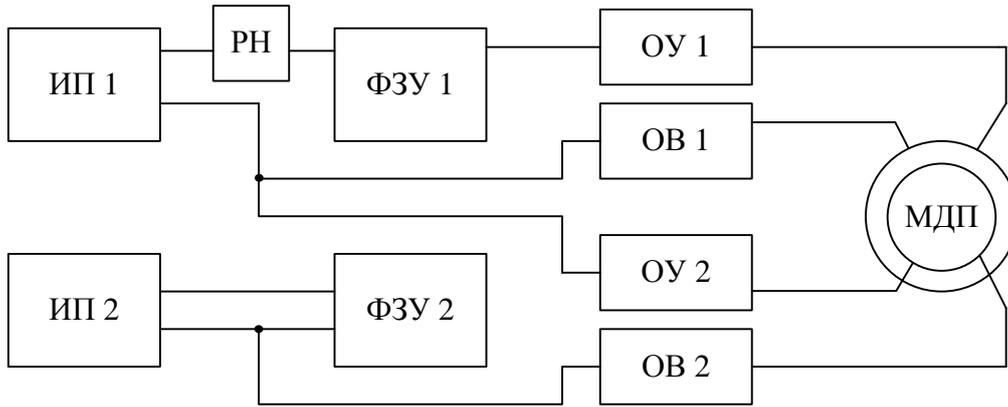


Рис. 1. Схема включения МДП при колебательно-вращательном режиме работы

От источников питания (ИП1, ИП2) сигнал поступает на фазосдвигающие устройства (ФЗУ1, ФЗУ2), которые задают разницу частот, либо в обмотках статора, либо – ротора. Далее сигнал разделяется на обмотки управления (ОУ1, ОУ2) и возбуждения (ОВ1, ОВ2) статора и ротора. При этом возникает вращающееся электромагнитное поле со стороны статора и качающееся электромагнитное поле со стороны ротора.

При колебательно-вращательном режиме работы МДП справедливы следующие утверждения: $\omega_1=\omega_2=\omega_3=\omega$, а $\omega_4=\omega'$, при следующем соотношении начальных фазовых сдвигов питающих токов (напряжений) $\alpha=\gamma=\varphi=0$, $\beta=\frac{\pi}{2}$.

Выражения для потокосцеплений статорных и роторных обмоток в преобразованной системе координат с учетом принятых допущений при колебательно-вращательном режиме работы МДП имеют вид:

$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha s} &= \Psi_{ms} \sin(\omega t); & \Psi_{\alpha r} &= \Psi_{mr} \sin(\omega t) \cos \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \sin \chi; \\ \Psi_{\beta s} &= \Psi_{ms} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); & \Psi_{\beta r} &= -\Psi_{mr} \sin(\omega t) \sin \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \cos \chi, \end{aligned} \quad (1)$$

где Ψ_{ms} , Ψ_{mr} – амплитудные значения фазных потокосцеплений обмоток статора и ротора; t – время; ω , ω' – угловые частоты вращения магнитных полей статора и ротора по осям α и β , причём $\omega \neq \omega'$; χ – закон движения подвижного элемента исполнительного двигателя.

Выражения для квадратов вещественной и мнимой части обобщенного вектора потокосцепления имеют вид:

$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha}^2 &= \left(\Psi_{ms} \sin(\omega t) + \left(\Psi_{mr} \sin(\omega t) \cos \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \sin \chi \right) \right)^2 = \\ &= \left(\Psi_{ms} \left(\sin(\omega t) + \mu (\sin(\omega t) \cos \chi + \sin(\omega' t) \sin \chi) \right) \right)^2, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{\beta}^2 &= \left(\Psi_{ms} \cos(\omega t) - \left(\Psi_{mr} \sin(\omega t) \sin \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \cos \chi \right) \right)^2 = \\ &= \left(\Psi_{ms} \left(\cos(\omega t) - \mu (\sin(\omega t) \sin \chi + \sin(\omega' t) \cos \chi) \right) \right)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mu = \Psi_{ar} / \Psi_{as}$ – соотношение между потокосцеплениями статора и ротора по оси α .

Выражение для значения модуля результирующего вектора потокосцепления, запишем в следующей форме:

$$\psi = \psi_{ms} \sqrt{(\sin(\omega t) + \mu(\sin(\omega t)\cos\chi + \sin(\omega t)\sin\chi))^2 + (\cos(\omega t) - \mu(\sin(\omega t)\sin\chi + \sin(\omega t)\cos\chi))^2}. \quad (4)$$

Выражение для закона перемещения пространственного вектора потокосцепления в воздушном зазоре имеет вид:

$$\chi_0 = \arctg\left(\frac{\cos(\omega t) - \mu(\sin(\omega t)\sin\chi + \sin(\omega t)\cos\chi)}{\sin(\omega t) + \mu(\sin(\omega t)\cos\chi + \sin(\omega t)\sin\chi)}\right). \quad (5)$$

Ниже представлены годографы результирующего вектора потокосцепления (рис.2) при питании обмоток статора и ротора от источника тока (рис.2,а) и источника напряжения (рис.2,б), при $\omega_1=\omega_2=\omega_3=1$; $\omega_4=1,1$. Годографы обобщенного результирующего вектора потокосцепления ψ_0 представляют собой колебания вращающегося магнитного поля около точки 0. Данный режим был реализован при создании вращающегося электромагнитного поля со стороны статора, а колебательного – со стороны ротора.

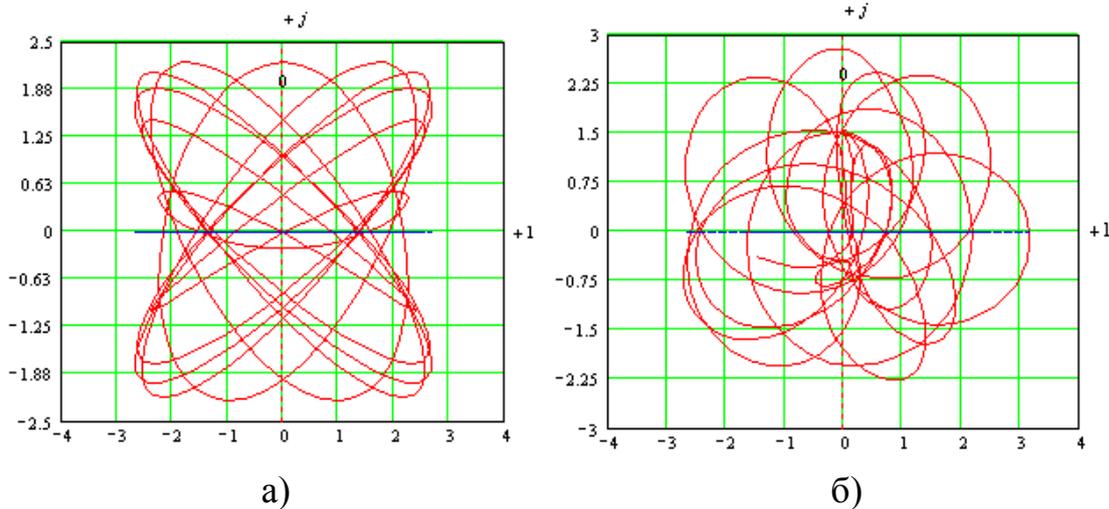


Рис. 2. Годографы векторов ψ_0 при питании обмоток статора и ротора

Колебательно-вращательный режим работы в МДП можно сформировать в двух случаях создания колебательного поля: 1 – со стороны ротора и 2 – статора, реализация и условия, получения которых описаны ниже.

1. Создание колебательного режима со стороны ротора: $\gamma_1=\gamma_2=1$; $\gamma_3=\gamma_4=1,225$; $\omega_1=\omega_2=\omega_3=1$; $\omega_4=1,1$; $\alpha=\gamma=\varphi=0$, $\beta=\frac{\pi}{2}$. Напряжения на клеммах обмоток статора и ротора в преобразованных осях $\alpha, \beta, 0$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} U_{\alpha s} &= U_{ms} \sin(\omega t); & U_{\alpha r} &= U_{mr} \sin(\omega t)\cos\chi + U_{mr} \sin(\omega t)\sin\chi; \\ U_{\beta s} &= U_{ms} \sin(\omega t + \beta); & U_{\beta r} &= -U_{mr} \sin(\omega t)\sin\chi + U_{mr} \sin(\omega t)\cos\chi. \end{aligned} \quad (6)$$

2. Создание колебательного режима со стороны статора – $\gamma_1=\gamma_2=1$; $\gamma_3=\gamma_4=1,225$; $\omega_1=\omega_3=\omega_4=1$; $\omega_2=1,1$; $\alpha=\beta=\gamma=0$, $\varphi=\frac{\pi}{2}$. Напряжения на клеммах об-

моток статора и ротора в преобразованных осях $\alpha, \beta, 0$ имеют аналогичный вид (6).

В основу математической модели МДП положены уравнения Габриэля Крона [1], описывающие преобразования энергии в электрической машине, представленные системой дифференциальных уравнений, состоящей из уравнений напряжений и уравнения движения подвижного элемента двигателя, при общепринятых допущениях для электроприводов колебательного движения [1].

На рис. 3 приведены зависимости времени переходного процесса ($\tau_{\text{пп}}$) от параметров нагрузки, характеристики 1 и 2 – создание колебательного поля со стороны ротора и стороны статора, соответственно. Для колебательно-вращательного режима работы в качестве изменяемых параметров нагрузки были определены: момент инерции нагрузки J_n (рис.3,а) и коэффициент демпфирующего момента нагрузки R_g (рис.3,б). В колебательно-вращательном режиме работы время переходного процесса $\tau_{\text{пп}}$ увеличивается на порядок. При изменении же коэффициента демпфирующего момента нагрузки время переходного процесса, как видно из рис. 3,б имеет резонансный пик в точках $R_{g1}=3,5$ и $R_{g2}=2,5$ при создании колебательного поля со стороны ротора и со стороны статора, соответственно.

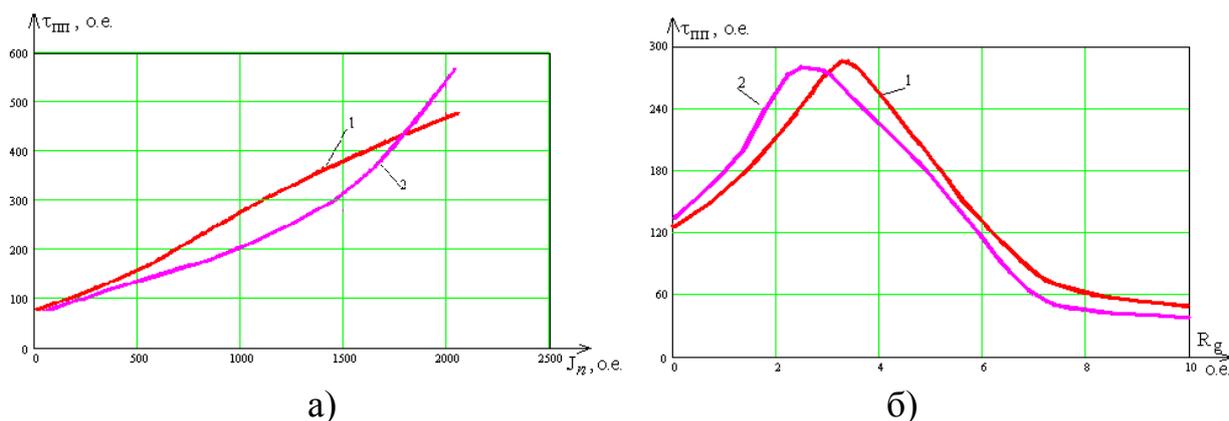


Рис. 3. Зависимости времени переходного процесса от параметров нагрузки

Изменение момента инерции нагрузки J_n ведет к увеличению времени переходного процесса $\tau_{\text{пп}}$ на порядок, что говорит о значительном влиянии данного параметра нагрузки на один из ключевых динамических показателей в виброприводах для диагностирования различных узлов и оборудования в целом.

Изменение коэффициента демпфирующего момента нагрузки R_g ведет к уменьшению $\tau_{\text{пп}}$ и наличию резонансного пика, при согласном включении электромагнитных полей в независимости от того с какой стороны идет формирование колебательного поля.

Практическое применение МДП в вибрационных электроприводах, при условии, что частота колебаний не превышает 10 Гц, а амплитуды питающих токов (напряжений) не должны отличаться более чем на 25%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.В. Аристов Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 176 с.

2. Анализ точности позиционирования двухфазного асинхронного двигателя в режиме прерывистого движения / А. В. Аристов, Н. А. Воронина // Известия ТПУ. – 2013. – Т. 322, № 4 : Энергетика. – [С. 116-120].
3. Патент на полезную модель №88874, МПК H02P 7/00. Устройство для управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме прерывистого движения / Аристов А.В., Воронина Н.А., ТПУ – № 2009125766/22, заявл. 06.07.2009. опубл. 20.11.2009, Бюл. №32
4. Патент 90277 (RU), Б.И. 2009. № 36.Электропривод колебательного движения / А. В. Аристов, Л. А. Паюк; ТПУ – № 2009 125765/22; заявл. 06.07.09; опубл. 27.12.09.
5. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 671 (1), 012044 DOI: 10.1088/1742-6596/671/1/012044.
6. ГОСТ Р ИСО 7919-1-99. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования.

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Ю.В. Крохта, Ю.Н. Дементьев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО

Электропривода с векторным управлением на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) все чаще используется в промышленности ввиду своих неоспоримых преимуществ. Актуальной является задача бездатчикового управления СДПМ, так как это позволяет удешевить конструкцию и уменьшить габариты привода [1].

В настоящее время существует множество алгоритмов управления СДПМ с датчиками положения ротора и без них на высоких и средних скоростях вращения вала двигателя. Но открытым остается вопрос об определении начального положения ротора двигателя при первом включении привода. Основная проблема в данном вопросе – это поиск алгоритма, который был бы достаточно быстрым и точным, но вместе с тем и простым для реализации в преобразователе частоты.

С точки зрения практической значимости, такой алгоритм может быть применен как в заново проектируемых электроприводах, так и при модификации уже существующих, имеющих в своей структуре преобразователь частоты [2].

Метод определения начального положения ротора основан на подаче серии импульсов напряжения специальной формы на обмотку статора двигателя [3]. При этом ротор должен быть механически зафиксирован. Например, для