

Е. Н. Гаврилов

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЗАРЕЗОНАНСНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН

Ключевые слова: пусковой и тормозной режим, дебалансный асинхронный вибродвигатель, форсированного пуск и конденсаторное торможение.

Рассматривается возможность форсированного пуска и конденсаторного торможения асинхронного дебалансного вибродвигателя зарезонансных вибрационных машин с помощью последовательно подключенных к обмоткам статора конденсаторов. Приводятся результаты математического моделирования режимов прямого и форсированного пуска, режимов выбега и конденсаторного торможения асинхронного вибродвигателя.

Keywords: a starting mode, asynchronous unbalanced vibratory motor, startup and braking mode by capacitors.

The capacity of the forced startup and braking-up asynchronous unbalanced vibratory motor of above resonance vibrating machines by means of capacitors connected sequentially with stator windings is considered. Results of mathematical modelling of direct startup mode and startup mode by capacitors, braking mode and braking mode by capacitors of asynchronous unbalanced electric motor are given.

Введение

Недостатком вибрационных машин зарезонансного типа является резкое увеличение амплитуд колебаний при прохождении зоны резонанса в процессе пуска и выбега, резонансные амплитуды могут значительно превосходить амплитуды колебаний при установившемся режиме работы, что является недопустимым с точки зрения нормальной эксплуатации. Резонансные раскочки сопровождаются сильным шумом, соударением витков пружин и вызывают значительные динамические нагрузки на поддерживающие конструкции и электропривод.

Для снижения уровня колебаний во время прохождения через резонанс применяется ряд способов. В числе этих способов отметим использование вибровозбудителей с автоматически или вручную регулируемым статическим моментом дебалансов (при прохождении через резонанс статический момент уменьшается); использование двигателей с повышенным пусковым моментом; управляемое изменение жесткости упругих элементов; торможение противовключением и способом динамического торможения [1].

Для уменьшения амплитуды резонансных колебаний, в данной статье рассматривается способ форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения асинхронных дебалансных вибродвигателей (АДВД) в составе вибрационной системы с двумя степенями свободы, характерной для большинства промышленных вибрационных механизмов. Учитывая вышесказанное, задача описания и исследования процесса форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения АДВД вибрационных машин с учетом вибрационного момента нагрузки и момента сопротивления вызванного вращающимися дебалансными массами является актуальной.

Математическое описание вибрационной системы с АДВД

Рассмотрим поведение АДВД, в процессе пуска и торможения, на примере динамической одномассовой вибрационной системы направленных

колебаний с двумя вибродвигателями представленной на рисунке 1.

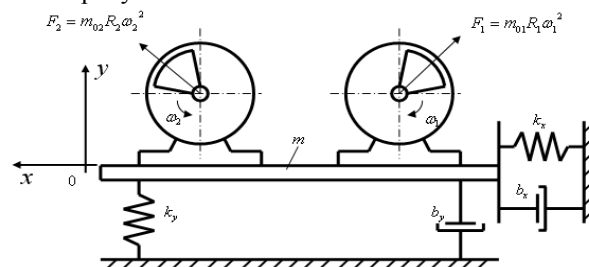


Рис. 1 - Одномассовая вибрационная система направленных колебаний

Уравнения движения представленной на рисунке 1 вибрационной системы имеют вид[2]:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b_y \frac{dy}{dt} + k_y y = \sum_{i=1}^2 m_{0i} R_i \omega_i^2 \cos \omega_i t, \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b_x \frac{dx}{dt} + k_x x = \sum_{i=1}^2 m_{0i} R_i \omega_i^2 \sin \omega_i t \quad (2)$$

$$J_i \frac{d\omega_i}{dt} = M_{ЭМ_i} - M_{ВИБР_i} - m_{0i} R_i g \sin \omega_i t - M_{МЕХ_i}, \quad (3)$$

где m – масса виброплатформы с грузом; y и x – смещение виброплатформы по осям Y и X ; b_y и b_x – коэффициенты сопротивления системы по осям Y и X ; k_y и k_x – жесткости упругих связей по осям Y и X ; m_{0i} – масса i -го дебаланса; R_i – эксцентриситет i -го дебаланса; g – ускорение свободного падения; J_i – приведенный момент инерции i -го электродвигателя; $M_{ЭМ_i}$ – электромагнитный момент на валу i -го электродвигателя; $M_{МЕХ_i}$ – момент сопротивления на валу i -го электродвигателя, обусловленный механическими потерями; $M_{ВИБР_i}$ – вибрационный момент на валу i -го электродвигателя; ω_i – скорость вращения вала i -го электродвигателя.

Уравнения (1) и (2) описывают движение виброплатформы согласно второму закону Ньютона в проекциях на оси X и Y соответственно, а уравнение (3) – равновесие моментов на валу i -го двигателя соответственно.

Вибрационный момент i -го вибродвигателя имеет две составляющие:

1. $M_{ВИБР_iY} = F_{Xi} \cdot y$ – составляющая, обусловленная наличием смещения системы по оси Y и проек-

ции центробежной силы i -го АДВД на оси X , где F_{Xi} определяется по формуле:

$$F_{Xi} = m_{0i} R_i \omega_i^2 \sin \omega_i t \quad (4)$$

2. $M_{ВИБРix} = F_{Yi} \cdot x$ – составляющая, обусловленная наличием смещения системы по оси X и проекции центробежной силы i -го АДВД на оси Y , где F_{Yi} определяется по формуле:

$$F_{Yi} = m_{0i} R_i \omega_i^2 \cos \omega_i t. \quad (5)$$

3. Результирующее значение вибрационного момента, приложенного к валу i -го АДВД, определяется формулой:

$$M_{ВИБРi} = F_{Xi} \cdot y + F_{Yi} \cdot x \quad (6)$$

Схема, обеспечивающая форсированный пуск и конденсаторное торможение имеет последовательно включаемые с обмотками статора конденсаторы, отключаемые после завершения процесса пуска и торможения АДВД.

При пуске электромагнитные процессы в каждом АДВД описываются по выражениям:

$$\begin{cases} u_A = R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt} + u_{CA}; \\ u_B = R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt} + u_{CB}; \\ u_C = R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt} + u_{CC}; \\ 0 = R_a i_a + \frac{d\psi_a}{dt}; \\ 0 = R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt}; \\ 0 = R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt}; \end{cases} \quad (7)$$

Здесь u_A, u_B, u_C – значения фазных напряжений статора, в процессе торможения соответствующие напряжения равны нулю; $R_A, R_B, R_C, R_a, R_b, R_c$ – активные сопротивления обмоток статора и приведенные активные сопротивления обмоток ротора; $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ – фазные токи статора и ротора; $\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b, \psi_c$ – потокосцепления статорных и роторных обмоток; u_{CA}, u_{CB}, u_{CC} – падение напряжения на конденсаторах в фазах двигателя.

Потокосцепление АДВД определяется выражением в матричной форме:

$$[\psi] = [F \bullet M] \times [i], \quad (8)$$

где $[\psi] = [\psi_A, \psi_B, \psi_C, \psi_a, \psi_b, \psi_c]$ – матрица-столбец потокосцеплений; $[i] = [i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c]$ – матрица-столбец токов; $[M]$ – матрица индуктивностей, F – коэффициент, относительной частоты самовозбуждения АДВД в процессе торможения, при пуске $F=1$.

Коэффициент относительной частоты самовозбуждения АДВД определяется выражением:

$$F = \frac{1}{2\pi f \sqrt{CL}}, \quad (9)$$

где f – частота питающего напряжения, C – емкость тормозных конденсаторов, L – эквивалентная индуктивность машины.

В связи с тем, что электрические машины в различные моменты времени (особенно это касается переходных режимов) работают на различных участках кривой намагничивания $B=f(H)$, в математической модели учитывается изменение степени насыщения машины при различных режимах работы.

Учет насыщения по цепи основного магнитного потока в модели определяется изменением индуктивностей, величина которых состоит из независящей от насыщения составляющей M_{0i} , и переменной составляющей – ΔM_i :

$$M_i = M_{0i} - \Delta M_i, \quad (10)$$

где переменная составляющая индуктивностей достаточно точно определяется квадратичной зависимостью от результирующего вектора потокосцепления Ψ_m [3]:

$$\Delta M_i = k \psi_m^2, \quad (11)$$

причем коэффициент k зависит от марки электро-технической стали.

Падение напряжения на пусковых и тормозных конденсаторах в фазах двигателя определяется из выражений:

$$\begin{cases} u_{CA} = \frac{1}{C \cdot F} \int i_A dt, \\ u_{CB} = \frac{1}{C \cdot F} \int i_B dt, \\ u_{CC} = \frac{1}{C \cdot F} \int i_C dt; \end{cases} \quad (12)$$

где C – эквивалентная емкость пусковых или тормозных конденсаторов.

Уравнение электромагнитного момента с учетом вышесказанного определяется:

$$M_{ЭМ} = \frac{\sqrt{3}}{2} p M [(i_A i_c + i_B i_a + i_C i_b) - (i_A i_b + i_B i_c + i_C i_a)] \quad (14)$$

где M – взаимная индуктивность; p – число пар полюсов АДВД.

Методика исследования

Представленная система нелинейных дифференциальных уравнений эффективно решается с помощью вычислительной техники с использованием численных методов интегрирования и дифференцирования. Для этих целей была создана математическая модель рассматриваемой вибрационной системы и асинхронного дебалансного электродвигателя с конденсаторами в программной среде МВТУ 3.7, проведены исследования пуско-тормозных режимов работы машины.

Результаты математического моделирования

Основные параметры вибротранспортера: $m=56$ кг, $b_y=b_x=1150$ Н/м, $k_y=k_x=316000$ кг·м/с². Тип вибродвигателя ИВ – 105 – 2 на базе АДВД с параметрами: $P_H=1,1$ кВт, $n_H=1450$ об/мин, $R_1=9,53$ Ом, $L_1=0,037$ Гн, $R_2=5,619$ Ом, $L_2=0,029$ Гн, $L_m=0,447$ Гн, $J_d=0,0026$ кг/м², $m_0=1,5$ кг, $r_0=0,05$ м.

На рисунке 2 представлены расчетные осциллограммы изменения частоты вращения АДВД и

амплитуды колебаний резонансной вибрационной системы при прямом пуске и выбеге. Из осциллограмм можно заключить, что в процессе разгона имеющиеся максимальные амплитуды переходного процесса существенно зависят от пускового электромагнитного момента АДВД, а при выбеге – определяются конструктивными особенностями машины и величиной сил сопротивления.

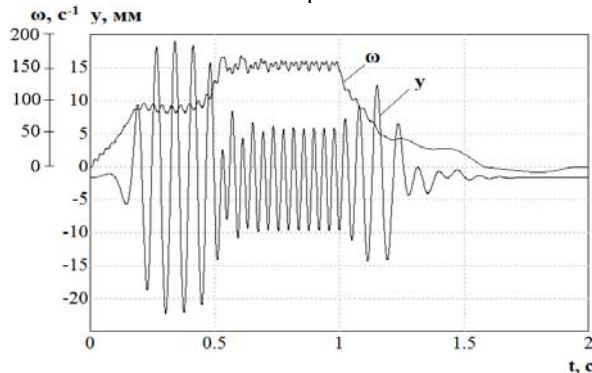


Рис. 2- Частота вращения АДВД и смещение системы по оси Y при прямом пуске и выбеге

На рисунке 3 представлены характеристики изменения частоты вращения АДВД и амплитуды колебаний системы при форсированном пуске с помощью конденсаторов и конденсаторном торможении. Очевидно, что наибольший пусковой момент достигается при равенстве сопротивления конденсаторов и индуктивного сопротивления АДВД в пусковом режиме. Для рассматриваемого вибропривода $C_n = 170$ мкФ. Определено, что оптимальный тормозной момент, для данной резонансной частоте вибрационной системы, достигается при минимальной тормозной емкости $C_T = 200$ мкФ.

В ходе исследований было установлено, что использование конденсаторов последовательно подключаемых к обмоткам статора АДВД во время пуска существенно повышает пусковой электромагнитный момент двигателя и позволяет уменьшить за счет быстрого прохождения вибрационной системой зоны резонанса значения резонансных амплитуд колебаний. Кроме того, анализ результатов исследования режимов конденсаторного торможения позволяет заключить, что полученный тормозной момент АДВД ведет к ускоренному прохождению механической системы области резонансных частот. Это обстоятельство также приводит к уменьшению соответствующих резонансных амплитуд колебаний вибрационной системы, наблюдаемые в процессе торможения выбегом. Следовательно, уменьшение указанных амплитуд может позволить существенно увеличить период межремонтного пробега вибрационных систем и узлов в них входящих.

Предполагается, что использование форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения возможно для любых типов и мощностей асинхронных дебалансных вибродвигателей. Следует отметить, что с увеличением мощности АДВД будет возрастать величина значений емкости пусковых и тормозных конденсаторов.

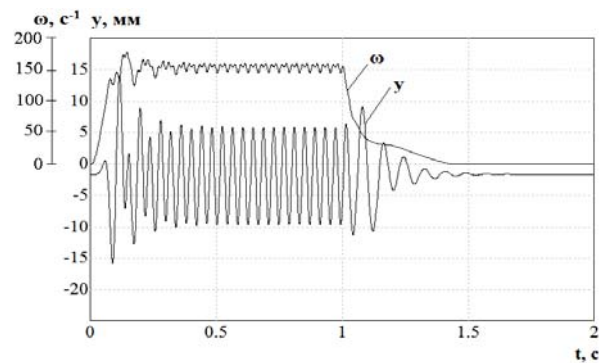


Рис. 3- Частота вращения АДВД и смещение системы по оси Y при конденсаторном пуске и конденсаторном торможении

Опытный образец рассматриваемого вибропривода был внедрен в 2010 году при модернизации линии резиносмещения в подготовительном производстве ОАО «Нижекамскшина». Результаты промышленных испытаний и успешный опыт эксплуатации подтвердили теоретические и расчетные данные.

Выводы

1. Анализ результатов исследований показывает, что форсированный пуск с помощью конденсаторов и конденсаторное торможение позволяют добиться надежного прохождения АДВД резонансной области в переходных процессах, исключив тем самым критические режимы работы вибрационной машины.

2. Предполагается, что использование форсированного пуска с помощью конденсаторов и конденсаторного торможения возможно для любых типов и мощностей асинхронных дебалансных вибродвигателей.

3. Представленная математическая модель позволяет с необходимой точностью проводить исследования переходных установившихся процессов электропривода при различных параметрах АДВД, вибрационной системы, пусковых и тормозных конденсаторов.

Литература

1. Дмитриев, В.Н. Исследование пусковых режимов асинхронного дебалансного вибродвигателя / В.Н. Дмитриев, А. А. Горбунов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1-2. – с. 119–122.
2. Дмитриев, В. Н. Электромеханические устройства перемещения ленточных носителей информации специализированных вычислительных комплексов: дис. док. техн. наук: 05.13.05, 05.09.01 / Дмитриев Владимир Николаевич. – Ульяновск, 2003. – 400 с.
3. Тумаева Е.В. Подобие оптимальных зависимостей токов в синхронном двигателе с электромагнитным возбуждением на базе теории обобщенной машины. – Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 158-159.
4. Амирова С.С. Абдурагимов Р.А., Исаев А.А. Совершенствование управления энергосбережением цеха 2104 завода «Этилен». - Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 180-181.