

№ 401887

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ И
ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
им. Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Мялкина Валентина Яковлевна

№ 46

ДВУХРЕЖИМНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВИБРАТОРЫ ДЛЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СВЯЗНЫМИ ГОЛОВКАМИ

(Специальность 05.13.05 - Элементы и устрой-
ства вычислительной техники и систем управления)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 1982 г.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Трудового Красного знамени и ордена Октябрьской революции высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент НИТУСОВ Ю.Б.

Официальные оппоненты- доктор технических наук,
профессор ЛЬВОВ Е.Л.
- кандидат технических наук
МРАЧКОВСКИЙ Н.Н.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного совета.

Защита диссертации состоится " 5 " апреля 1982 г.
на заседании специализированного совета "Автоматические приводы и системы управления" Московского высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Ваши отзывы в двух экземплярах
сыла высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться
Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан".

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СИРОВАННОГО СОВЕ
К.

с.с. 401887

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Интенсификация промышленного производства, повышение его эффективности являются одной из задач промышленности на XI пятилетку. В решениях XXVI съезда КПСС подчеркивается, что одним из важнейших направлений в работе по повышению производительности труда и ускорению научно-технического прогресса в отраслях народного хозяйства является комплексная механизация и автоматизация производства на основе широкого применения роботомеханических комплексов. Применение такого рода механизмов позволяет автоматизировать и сборочные работы, занимающие большой объем во многих отраслях промышленности. В сборочных комплексах широко используется явление вибрации, создаваемой специальными возбудителями на базе электромеханических вибраторов, которые функционируют в системах управления таких комплексов в качестве виброприводов. Однако для целей собственно сборки необходима разработка специализированных, в частности многорежимных, электромагнитных вибраторов для применения их в системах управления комплексов, обеспечивающих автоматическое слежение за взаимным расположением собираемых деталей. Такой вибратор, становясь элементом этой системы управления, должен обладать достаточной управляемостью и иметь необходимые свойства (в частности, многорежимность) для обеспечения соответствующих этапов процесса сборки, что способствует интенсификации и повышению качества этого процесса. Внедрение многорежимных вибраторов в значительной мере сдерживается отсутствием разработанных методов их проектирования особенно с учетом условий функционирования в системе управления при смене режимов вибрации, что и определяет актуальность данной работы. При его разработке были получены решения, позволяющие улучшить обеспечение вибровозбудителями устройств, использующих низкие механические частоты.

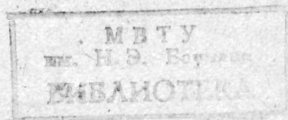
ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью данной работы является разработка электромагнитного вибратора при его функционировании в системе управления сборочной головки в качестве двухрежимного привода, обеспечивающего вибрационное перемещение рабочего органа головки в двух диапазонах частот, с автоматической сменой частот и амплитуд колебаний в зависимости от условий протекания процесса сборки и выявление способов определения его оптимальных параметров, законов управления им и выработка на этой основе системы сменок его рационального использования.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1401887

Мялкина В. Я. Двухрежимные



МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. При решении поставленных задач применялись методы теории электрических цепей. Получение решения рационализированной системы нелинейных уравнений осуществлялось методом последовательных приближений. Основные теоретические результаты сопоставлялись с результатами цифрового моделирования и данными экспериментальных исследований.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В диссертации получены следующие результаты, отличающиеся новизной:

1. Доказана возможность обеспечения двух режимов колебаний в различных диапазонах с перестройкой частоты в процессе работы при использовании электромагнитного вибратора с двумя обмотками, питаемыми от источников переменного напряжения с различными, но близкими частотами.

2. Выявлено существование области в пространстве параметров, принадлежность к которой обеспечивает возникновение колебаний в обоих режимах и позволяет провести оптимизацию параметров электрической и механической частей вибратора.

3. Доказательно определено соотношение между величинами питающих напряжений при работе вибратора в диапазоне нижних частот.

4. Выявлена закономерность, формализованная в виде степенного ряда, позволяющая при использовании метода последовательных приближений для решения системы нелинейных уравнений получить конечное решение без проведения большого числа приближений.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. На основе материалов проведенных исследований разработан двухрежимный электромагнитный вибратор и метод его проектирования. Разработан алгоритм работы двухрежимного вибратора, определяющий последовательность переключения вибратора с одной частоты колебаний на другую в соответствии с изменяющимися условиями работы устройства и системы управления, реализующих данный алгоритм. Даны рекомендации по рациональному проектированию и использованию многорежимных электромагнитных вибраторов.

РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований использовались: при разработке вибрационной сборочной головки промышленного робота ожидаемый экономический эффект от внедрения - 30 тыс.

руб.); при разработке низкочастотного электромагнитного вибратора для введения уровня смешанных вибрационных помех при проведении научно-исследовательских работ по определению точности обработки на токарных станках с ЧПУ на кафедре Технологии механо-оборочного производства ИВТУ им. Н.Э.Баумана.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы докладывались и обсуждались на Республиканских семинарах при АН УССР "Производство и применение полупроводниковых приборов для преобразовательной техники" (1977, 1978, г.Запорожье), Всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении" (1980 г., г.Москва) и VI научно-технической конференции НТО РЭС им. А.С.Попова (1980 г., г.Калуга).

ПУБЛИКАЦИИ. По результатам выполненных исследований опубликовано 5 статей и получено положительное решение по заявке на изобретение.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, в которых изложены основные научно-технические результаты работы и общие выводы (147 с.), перечня использованной литературы (99 наименований), приложений (18 с.), иллюстраций (31 с.), таблиц (8 с.).

Во введении анализируется актуальность поставленной задачи.

ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВИБРАТОРЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ. ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ДВУХРЕЖИМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА.

В главе рассматриваются особенности функционирования в системе управления оборудованием электромагнитных вибраторов различных типов как виброприводов и предъявляемые к ним требования.

На примере рассмотрения процесса сборки деталей вибрационной сборочной головкой доказана необходимость разработки много-режимных электромагнитных вибраторов (в частном случае - двух-режимных). Переход в ней от однорежимного вибропривода, выполненного на базе электромагнитного вибратора, работающего на частоте 100 Гц, к двухрежимному с перестройкой частот колебаний в зависимости от условий сборки, существенно повышает быстродействие головки и позволяет осуществить сборку деталей с меньшими допусками. При этом диапазон колебаний вибратора на верхних частотах (200-500 Гц) используется на этапе поиска контуров

собираемых деталей, диапазон нижних частот ($10+50$ Гц) — на этапе соединения деталей.

Показано, что система управления сборочной головки с таким вибратором является системой автоматического управления дискретного типа, цикл работы которой определяется скоростью протекания процесса сборки с учетом времени смены режимов.

Проведена классификация задач, решаемых вибраторами, по условиям их применения в качестве вибропривода системы управления и показано, что существующие типы вибраторов не способны обеспечить расширение функциональных возможностей различных устройств в части обеспечения нескольких режимов колебаний с различными частотами и амплитудами.

Анализ опубликованных литературных источников по вопросам проектирования электромагнитных вибраторов показывает, что существующие методы не обеспечивают возможность разработки многорежимных вибраторов из-за недостаточной изученности законов формирования частот колебаний в вибраторах и отсутствия общего метода анализа динамических процессов в них с учетом функционирования в системе управления. Это связано с существенно нелинейной зависимостью между токами обмоток, амплитудой колебаний якоря, величиной воздушного зазора и скоростью изменения этих параметров, влияющих на функционирование вибраторов в системах управления.

Поэтому для разработки методов проектирования многорежимных электромагнитных вибраторов необходимо было решить следующие задачи:

1. Определить законы формирования частот колебаний якоря вибратора с учетом числа используемых обмоток и частот источников питания. На их основе определить принципы построения двухрежимного электромагнитного вибратора.
2. Разработать рациональный метод решения системы нелинейных уравнений и провести на основе этого решения анализ динамических процессов при различных условиях функционирования двухрежимного вибратора в качестве привода в системе управления. Разработать систему оценок для определения возможностей его оптимального использования в различных устройствах и рекомендации по проектированию.
3. Доказательно выбрать конструктивную схему двухрежимного электромагнитного вибратора и с учетом связей между его электрической и механической частями изучить процессы в рабочих режимах.

ГЛАВА 2. ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ДВУХРЕЖИМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА.

Рассматриваются уравнения движения электромагнитных вибраторов, частотный состав тягового усилия и определяются принципы построения двухрежимного электромагнитного вибратора.

Вывод уравнений движения вибратора основывается на использовании закона сохранения энергии и принципа возможных перемещений, а также законов Кирхгофа для электрической цепи вибратора. Возникновение и существование колебаний в этом случае рассматривается как процесс передачи энергии источника (или источников) тока (или напряжения) механической системе. При этом полная энергия, запасенная в магнитном поле катушек и механической системе вибратора, может быть вычислена так:

$$W = \int_{\psi_1, \dots, \psi_n; x_1, \dots, x_m}^{\psi_1', \dots, \psi_n'; x_1', \dots, x_m'} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [i_i'(\psi_1', \dots, \psi_n'; x_1', \dots, x_m') d\psi_i' + f_j(\psi_1', \dots, \psi_n'; x_1', \dots, x_m') dx_j'] = W_m + W_f \quad (1)$$

где переменные связаны уравнениями связи:

$$\left. \begin{aligned} i_i &= i_i(\psi_1, \dots, \psi_n; x_1, \dots, x_m) \\ f_j &= f_j(\psi_1, \dots, \psi_n; x_1, \dots, x_m) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В соответствии с законом сохранения энергии сумма подводимой энергии должна равняться изменению запасенной, т.е.

$$dW_m + (f_m)_k dx_k = \sum_i^n u_i i_i dt \quad (3)$$

или

$$(f_m)_k = \frac{1}{dx_k} \left(\sum_i^n u_i i_i dt - dW_m \right)$$

Вычисление $(f_m)_k$ дает

$$(f_m)_k = \pm \frac{1}{2} \frac{d}{dx_k} \left(\sum_i^n \sum_j^m L_{ki} i_k i_j \right) \quad (4)$$

Таким образом, сила, действующая на якорь вибратора зависит не только от величины индуктивности обмоток и протекающих в них токов, но и от величины воздушного зазора и скорости его изменения.

Учитывая уравнения для электрической и механической частей, получаем систему уравнений, которая описывает электро-механические процессы в электромагнитных вибраторах любого типа:

$$R_k i_k = e_k - c w_k \bar{k}_k (\delta_0 \pm x; i_1, \dots, i_n) \frac{d}{dt} \Phi_{\Sigma} (\delta_0 \pm x; i_1, \dots, i_n) \quad 5$$

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + c x &= (f_M)_k \\ (f_M)_k &= \pm \frac{1}{2} \frac{d}{dx} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n L_{ki} i_k i_i \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь функция $\bar{K}_k(\delta, \pm x, i_1, \dots, i_n)$ учитывает влияние потоков рассеяния и выпучивания, а $\bar{C}$ — принятую систему единиц.

Система уравнений (5) является наиболее общей, т.к. учитывает как наличие нескольких источников питания, так и любое число обмоток возбуждения, любую форму колебаний, а также потери и нелинейные явления в электромагнитной системе вибратора.

Так как собственная частота механической части любого вибратора определяется жесткостью упругой системы C и массой m , которые можно изменять в любых пределах в соответствии с требованиями, то возможность возникновения колебаний якоря вибратора на требуемых частотах целиком определяется спектральным составом электромагнитного усилия f_M . Проведенные исследования показывают, что последний формируется составляющими двух видов: первые — составляющие типа $L_{ik} i_k i_k$, вторые — составляющие вида $L_{ik} i_k i_k x$. Так как составляющие первого вида не зависят от перемещения x , а определяются только взаимодействием двух разноименных токов и коэффициентом взаимной индукции питаемых этими токами обмоток, то именно они определяют спектральный состав усилия f_M . Составляющие второго типа отличаются от первых только наличием дополнительной модуляции частотой колебаний якоря, близкой к собственной частоте механической части вибратора.

Показано, что в результате взаимодействия магнитных потоков, образующихся при протекании через обмотки соответствующих токов, формируется постоянная составляющая электромагнитного усилия и составляющие на частотах $\omega_i - \omega_j$; $\omega_i + \omega_j$; $2\omega_i$; $2\omega_j$; $2(\omega_i - \omega_j)$; $2(\omega_i + \omega_j)$; $2(2\omega_i - \omega_j)$; $2(\omega_i - 2\omega_j)$; $3\omega_i - \omega_j$; $\omega_i - 3\omega_j$.

Тот факт, что составляющие электромагнитного усилия образуются при взаимодействии только одного или двух разноименных токов, позволяет сделать вывод о нецелесообразности использования как в двухрежимном, так и многорежимном вибраторе более двух обмоток и двух источников питания, т.к. такого их числа достаточно для получения всего спектра частот в электромагнитном усилии и увеличение числа обмоток и источников не приводит к расширению этого спектра. При этом диапазон нижних частот колебаний в двух-

режимном вибраторе обеспечивается использованием составляющей усилия на разностной частоте источников питания $\omega_1 - \omega_2$, а режим верхних частот — составляющей на частоте $2\omega_1$ или $2\omega_2$. Получение требуемых частот колебаний в каждом из режимов достигается рациональным выбором частот источников питания, а т.к. диапазон нижних частот лежит в пределах $10 \div 50$ Гц, то вместо двух источников можно использовать один, выполнив его двухканальным, с расстройкой одного канала относительно другого на требуемую величину.

Попутно отмечается, что анализ спектрального состава электромагнитного усилия f_m наиболее часто используемых типов вибраторов показывает возможность в них колебаний якоря на частотах, кратных частоте источника питания или кратных его удвоенной частоте.

Проведенные исследования позволили доказательно сформулировать условие, выполнение которого обеспечивает получение составляющих усилия в диапазоне нижних частот и облегчает выбор конструктивных схем двухрежимного электромагнитного вибратора. Оно заключается в том, что составляющие электромагнитного усилия на разностной частоте (обеспечивающей работу устройства в диапазоне нижних частот) возникают только тогда, когда $L_{ik} \neq 0$.

Проведены вычисления величин L_{ik} для различных конструктивных схем двухрежимного вибратора и показано, что наибольшее значение электромагнитного усилия в диапазоне нижних частот достигается при равенстве чисел витков обмоток и их расположении пеликом на среднем стержне Ш-образного магнитопровода или по одной обмотке на стержнях П-образного. В этих случаях обеспечивается максимальное значение коэффициента взаимной индукции.

Для определения количественных значений составляющих электромагнитного усилия или амплитуды колебаний якоря вибратора на любой требуемой частоте и оптимизации параметров вибратора необходимо иметь решение системы уравнений (5) в аналитической форме. С целью сокращения числа уравнений и упрощения вычислений при решении этой системы, подстановкой $J = \frac{(i_1 + ni_2)R}{(1+y)U_m}$ она сводится к системе нелинейных уравнений в безразмерных величинах:

$$\left. \begin{aligned} \sin \tau + N \cos(\beta \tau + \theta_0) &= Q J + (1+y) J \\ \ddot{y} + 2\rho \dot{y} + \xi y &= -\lambda J^2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Полученная система уравнений (6), также как и исходная (5), справедлива для любого типа вибраторов, индивидуальные особенности которых учитываются в значениях параметров Q, J, N, β и λ . Это позволяет ожидать, что полученные в процессе решения результаты для более общего случая электромагнитного вибратора с двумя обмотками и двумя источниками питания с различными частотами, будут пригодны для анализа вибраторов других типов без непосредственного решения исходных уравнений.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДВУХРЕЖИМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА.

В главе рассматриваются вопросы существования рабочей точки в пространстве параметров решения системы нелинейных уравнений и проводятся исследования свойств вибратора.

Наличие необходимых составляющих в электромагнитном усилителе и правильный выбор конструкции вибратора еще не гарантируют возникновения колебаний якоря на требуемых частотах. Они возникают лишь тогда, когда между параметрами электрической и механической частей вибратора выполняются определенные соотношения, т.к. когда эти параметры принадлежат рабочей области в пространстве параметров. Показано, что эта область, принадлежность к которой обеспечивает существование рабочей точки (РТ), задается условием:

$$c(D - X_0) > \frac{2L_0(I_{01} + nI_{02})^2}{\delta_0 + X_0} \quad (7)$$

Здесь c — жесткость пружин (пластин) механической части вибратора,

D — величина воздушного зазора в РТ,

X_0 — величина перемещения якоря вибратора,

δ_0 — первоначальный воздушный зазор.

Данное условие получено для наиболее общего случая, когда используются две обмотки и два источника питания и из него можно получить аналогичные условия для любого типа электромагнитных вибраторов.

Из условия (7), после введения в него реальных параметров вибратора, получено выражение, также определяющее область в пространстве параметров, обеспечивающую существование РТ:

$$L_0 > \frac{2U_{im}^2}{m \xi^2 \delta_0^2 \omega_1^2 \Delta \omega^2} \quad (8)$$

Так как параметры $m, \omega, \Delta\omega, \xi^2$ для любого разрабатываемого вибратора являются величинами заданными, то область в пространстве параметров, обеспечивающая существование РТ, формируется величинами L_0, U_0 и δ_0 , соотношение между которыми должно удовлетворять условию (8).

Изменение воздушного зазора в процессе колебаний якоря вибратора приводит к изменению индуктивностей обмоток, и, следовательно, токов, протекающих в них. Это в свою очередь ведет к изменению составляющих электромагнитного усилия и амплитуды колебаний якоря вибратора, что выражается наличием в f_m составляющих вида $L_{ik} i_k x$. Степень влияния изменения воздушного зазора на токи обмоток оценена с помощью коэффициента модуляции. Он равен:

$$m_i = \frac{I^{t(max)} - I^{t(min)}}{I_m^0}$$

Вычисления показывают, что коэффициент модуляции растет с уменьшением индуктивностей обмоток и увеличением отношения амплитуды колебаний якоря к постоянной составляющей перемещения и может достигать (25+30)%. Большое значение коэффициента модуляции указывает на значительную связь между электрической и механической частями вибратора в процессе его колебаний и требует ее учета при решении системы уравнений (6) для обеспечения соответствия полученного решения реальным процессам в электромагнитном вибраторе.

Проведен анализ аналитических методов решения системы нелинейных уравнений (6), описывающих электромеханические процессы в вибраторе и показано, что наиболее приемлемым является метод последовательных приближений, позволяющий учесть связь между электрической и механической частями вибратора в процессе колебаний и получить решение с любой степенью точности.

В ходе проведенного решения, подробное изложение которого дано в приложении П.1, выражение для амплитуды колебаний якоря вибратора получено в виде суммы некоторого степенного ряда, члены которого, начиная со второго, отражают влияние изменения в процессе колебаний воздушного зазора на амплитуду колебаний якоря и служат тем самым мерой этого влияния. Члены этого ряда для режима нижних частот определяются выражениями:

$$Y_{oi} = - \frac{\lambda(1+N^2)}{2\xi^2(1+Q^2)} \sum_{l=1}^n \left[\frac{\lambda(1+N^2)}{\xi^2(1+Q^2)^2} \right]^{l-1} \Bigg\}$$

$$Y_{mi} = -\frac{\lambda MN}{1+Q^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{2Y_{oi}}{1+Q^2} - \frac{Q Y_{mi}(N^2-1)}{2N(1+Q^2)} \right] i^{-1} \quad (10)$$

а его сумма равна:

$$y = Y_o + Y_m \sin[(1-\beta)\tau - \psi] = -\frac{\lambda(1+N^2)}{2\xi^2(1+Q^2)} \left[1 + \frac{\lambda(1+N^2)}{\xi^2(1+Q^2)^2} \right] - \frac{\lambda MN}{1+Q^2} \left[1 + \frac{\lambda(1+N^2)}{\xi^2(1+Q^2)^2} - \frac{\lambda Q M(N^2-1)}{2(1+Q^2)^2} \right] \sin[(1-\beta)\tau - \psi] \quad (11)$$

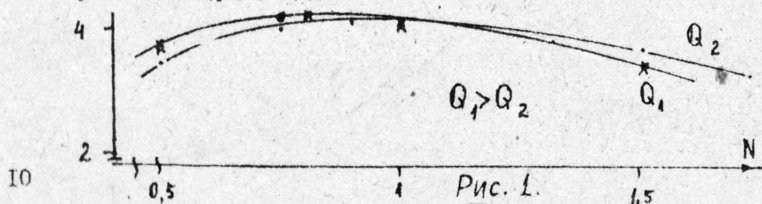
Для режима верхних частот величина перемещения определяется так:

$$y' = -\frac{\lambda'}{2\xi^2(1+Q'^2)} \left[1 + \frac{\lambda'}{\xi^2(1+Q'^2)^2} - \frac{\lambda' Q' M'}{2(1+Q'^2)^2} \right] + \frac{\lambda' M'}{2(1+Q'^2)} \left[1 - \frac{\lambda'}{\xi^2(1+Q'^2)^2} - \frac{\lambda' Q' M'}{2(1+Q'^2)^2} \right] \cos(2\tau - 2\psi' - \psi') \quad (12)$$

Сравнение результатов решения системы уравнений (6), полученного в виде ряда (II) с результатами решения другими методами показывает, что погрешность вычислений без учета влияния изменения индуктивностей обмоток в процессе колебаний якоря, т.е. ограничение решения только первым приближением, может достигать (25+30)%. Для оценки точности решения выбранным методом проведено решение системы уравнений (6) численными методами на ЭВМ. Оно показывает, что погрешность метода не превышает (10+12)% и говорит о его высокой точности.

В силу общности системы нелинейных уравнений (6) для всех типов электромагнитных вибраторов и выражения, полученные при их решении, являются общими, позволяющими записать их для конкретного типа вибратора, не проводя самого решения. Это достигается заменой параметров, входящих в выражение (12) на соответствующие параметры данного типа вибратора.

Полученное аналитическое решение системы нелинейных уравнений движения позволяет провести исследование свойств двухрежимного вибратора в обоих режимах. Показано, что максимальное значение амплитуды колебаний в режиме нижних частот достигается при равенстве величин питающих напряжений обоих источников, т.е. при $N=1$. (рис. 1).



Введение естественного ограничения $|Y_0| + |Y_m| < 1$, называемого условием безударной работы, приводит к определенным ограничениям на величины параметров вибратора. Показано, что амплитуда колебаний не может превышать величину $M\zeta^2\delta_0(1+M\zeta^2)^{-1}$ (I3), а значения параметров ограничены неравенством

$$L_0 \geq \frac{1+M\zeta^2}{8\zeta^2} \cdot \frac{U_{im}^2}{m\delta_0^2\omega_1^2\Delta\omega^2} \quad (I4)$$

совпадающим с условием существования РТ (6).

Условия (I3) и (I4) обеспечивают получение оптимальных значений параметров вибратора, а их нарушение приводит либо к срыву колебаний, либо к появлению соударений якоря с сердечником.

Амплитуда колебаний якоря вибратора увеличивается с ростом параметра λ (что соответствует увеличению напряжения источника питания) (рис.2) и уменьшается с ростом параметра Q (что соответствует росту индуктивностей обмоток). (рис.3).

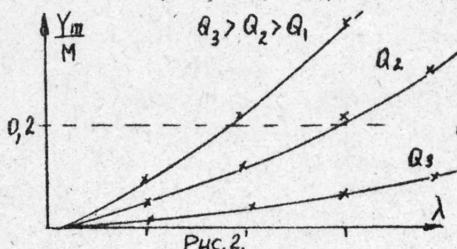


Рис. 2.

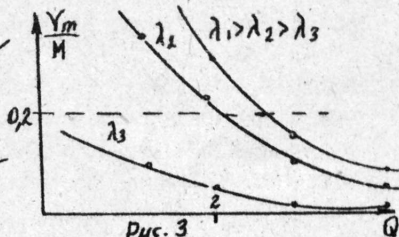


Рис. 3

Наибольшее влияние на амплитуду колебаний якоря вибратора оказывает изменение величины напряжения питания и его частоты, что и обеспечивает возможность регулировок в процессе работы двухрежимного электромагнитного вибратора.

ГЛАВА 4. ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ДВУХРЕЖИМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СБОРОЧНЫМИ ГОЛОВКАМИ.

В данной главе рассматривается алгоритм работы двухрежимного вибратора в системе управления, определяются основные параметры вибратора с учетом требований системы управления.

Для сборочной головки промышленного робота разработаны алгоритмы его работы и переключения при смене режимов в зависимости от хода выполнения операции сборки. Указанные алгоритмы ре-

ализуются специальной системой управления, обеспечивающей, за счет использования специальных датчиков, учет изменения условий сборки и перестройку в соответствии с этим режимов работы вибратора.

Исходя из требуемых амплитуд и частот колебаний якоря, определяемых технологией сборки и циклом работы системы управления, получены выражения для основных параметров электрической системы двухрежимного электромагнитного вибратора. В частности, показано, что число витков обмоток в режиме нижних частот следует определять из выражения:

$$w_1^2 = 0,6 U_{1m}^2 (\mu_0 S_{np} \omega_1^2)^{-1} [F_{TP}^{-1} + (2\delta_0 m_0 \omega_1^2)^{-1}] \quad (15)$$

а в режиме верхних частот — из выражения

$$w_1^2 = 1,2 U_{1m}^2 (\mu_0 S_{np} \omega_1^2)^{-1} [(F'_{TP})^{-1} - 0,125(M^2 - 2)(m\delta_0 \omega_1^2)^{-1}] \quad (16)$$

Второе слагаемое в выражениях (15) и (16) отражает влияние изменения индуктивностей обмоток из-за изменения воздушного зазора в процессе колебаний и составляет величину порядка (10+30)%, что еще раз подтверждает необходимость учета этого влияния.

Для проверки основных теоретических положений, полученных во второй и третьей главах и исследования свойств двухрежимного электромагнитного вибратора были проведены экспериментальные исследования. Показано, что погрешность расчетных значений амплитуд колебаний якоря по сравнению с экспериментальными составляет величину порядка (10+15)%; время смены режимов колебаний с учетом переходных процессов при релаксации и перестройке упругой системы на другую частоту не превосходит 0,1 сек.; регулировка амплитуды колебаний быстро и эффективно осуществляется изменением величины и частоты питающих напряжений с глубокой регулировкой в (8+10) раз, величина коэффициента модуляции токов достигает 30%.

Проведенные исследования и полученные результаты свидетельствуют, что теоретический подход к исследованию двухрежимного электромагнитного вибратора и особенностям его функционирования в системе управления выбраны правильно.

В конце главы рассматриваются особенности проектирования двухрежимного электромагнитного вибратора и даются рекомендации по его применению с учетом многофункциональности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

При решении поставленных в работе задач были выполнены и приведены исследования и получены следующие основные резуль-

таты:

1. Исследованы особенности функционирования электромагнитных вибраторов в различных устройствах и проведена классификация по условиям их применения в СУ в качестве привода вибрационных машин и механизмов. Показано, что существующие типы электромагнитных вибраторов не способны обеспечить новые требования, предъявляемые к ним автоматизированными промышленными комплексами в части обеспечения нескольких режимов колебаний с различными частотами и амплитудами.

2. Проанализированы процессы образования частотных составляющих электромагнитного усилия в вибраторах и найдено, что в результате взаимодействия в воздушном зазоре вибратора магнитных потоков, созданных при прохождении токов по обмоткам, формируется широкий спектр составляющих этого усилия, число которых зависит от числа используемых обмоток и питающих их токов.

Изменение воздушного зазора в процессе колебаний якоря вибратора приводит к дополнительному расширению спектрального состава электромагнитного усилия за счет модуляции частотой колебаний.

3. Доказана достаточность использования в электромагнитном вибраторе для обеспечения двух режимов колебаний всего двух обмоток, питаемых от источников переменного напряжения с различными, но близкими частотами. Величины этих частот выбираются, исходя из требуемых частот колебаний в каждом из режимов и не меняются в процессе работы вибратора.

При этом режим нижних частот обеспечивается наличием в электромагнитном усилии составляющей на разностной частоте, а режим верхних частот — использованием составляющей на любой из частот.

4. Сформулировано условие возникновения колебаний на разностной частоте в двухрежимном электромагнитном вибраторе (режим нижних частот). Выполнение этого условия обеспечивает достижение максимального значения амплитуды колебаний. Это позволяет рационально выбрать конструктивную схему двухрежимного вибратора.

5. Получены уравнения движения для двухрежимного электромагнитного вибратора в безразмерных величинах (6). Они являются удобной модификацией исходной системы нелинейных уравнений вибратора, дают возможность получить решение в аналитической форме

и провести исследование свойств вибратора.

6. Проведено решение полученных уравнений, которое выражается суммой членов некоторого степенного ряда (I0). Члены этого ряда, начиная со второго, отражают влияние изменения воздушного зазора на амплитуду колебаний якоря и являются оценкой этого влияния.

Сравнение результатов проведенного решения с результатами расчета на ЭВМ показывает, что погрешность расчетов в первом случае не превышает $(I0+I2)\%$.

7. Показано, что между параметрами электрической цепи и механической системы вибратора существуют определенные соотношения, формирующие область в пространстве параметров. Существование требуемых колебаний в любом из режимов возможно только тогда, когда параметры вибратора принадлежат этой области, а их совокупность задается условиями (7), (8). Определенные ограничения на значения параметров вибратора накладывает полученное условие безударной работы, нарушение которого ведет к срыву колебаний*.

8. Установлено, что для режима нижних частот соотношение величин напряжений, подаваемых на разные обмотки, должно быть равно единице. В этом случае обеспечивается максимальное значение отношения амплитуды колебаний к постоянной составляющей перемещения якоря вибратора. С учетом этого соотношения получены выражения (I3), (I4), обеспечивающие оптимальные значения параметров вибратора.

9. Получены регулировочные характеристики вибратора, которые позволяют оценить влияние величины и частоты питающего напряжения на амплитуду колебаний его якоря в обоих режимах.

10. Разработаны конструкция двухрежимного электромагнитного вибратора, алгоритм его работы и система управления, реализующая этот алгоритм с учетом изменяющихся условий сборки.

11. Исследованы особенности проектирования двухрежимных электромагнитных вибраторов, обеспечивающие заданное перемещение рабочего органа и его функционирование в системе управления различных устройств.

12. Результаты проведенных исследований приняты для практической реализации в разрабатываемых установках кафедрой Тех-

нологии механосборочного производства МВТУ им.Н.Э.Баумана.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Мялкина В.Я. К вопросу исследования электромеханических процессов в одноконтном электромагнитном вибраторе. - Труды/МХТИ, 1975, вып. 84, с.260-269.

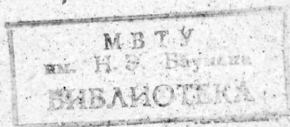
2. Нитусов Ю.Е., Мялкина В.Я. Применение метода последовательных приближений для уточнения решения уравнений электромагнитного вибратора двойного питания. - М, 1979. - 9 с. - Рукопись представлена МВТУ им.Н.Э.Баумана. Деп. в ВИНТИ 22 окт. 1979, №8 (94).

3. Мялкина В.Я. Регулировочные характеристики электромагнитного вибратора двойного питания. - Труды/МВТУ, 1980, №320, с.96-105.

4. Нитусов Ю.Е., Кошубинский А.И., Гоцеридзе Р.М., Кулиев З.А., Мялкина В.Я. Теоретико-цепное моделирование механизмов и вопросы их оптимизации. - В кн.: Тезисы докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении": Секция факультета ОТ.-М, 1980, с.98-100.

5. Корольков Б.А., Мешеряков Р.К., Мялкина В.Я., Нитусов Ю.Е., Чернишова Е.Я. Исследование чувствительности технологической схемы к переменному силовому воздействию. - В кн.: Доклады УИ НТО РЭС им. А.С.Попова, посвященной 110 годовщине со дня рождения В.И.Ленина, Калуга, 1980, с.162-164.

6. Мялкин Ю.К., Курцасов Д.А., Мялкина В.Я., Нитусов Ю.Е. Устройство для вибрационной сборки деталей. Заявка № 2918464/25-08 на изобретение. Положительное решение от 28.10.80.



Заказ 310

Объём I п.л.

Тираж 100 экз.

Д-85649 От 18.02.82 г.

Типография МВТУ