

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Волгов Леонид Тихонович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ
НА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО
ТОКА

05-13-07 - Автоматическое управление,
регулирование, управление технологическими
процессами (промышленность)

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Челябинск - 1979

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук
доцент Левитов С.Д.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки
и техники РСФСР
доктор технических наук
профессор Лебедев С.П.;
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
Каретный О.Я.

Ведущая организация - Челябинское отделение ВНИИ
ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ.

Защита состоится 31 мая 1979 года, в 15 часов, на заседании специализированного совета К 053.13.04 при Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, город Челябинск, проспект имени В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Автореферат разослан ____ апреля 1979 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы . Современный этап развития техники характеризуется резким повышением требований к качеству работы автоматических систем. В реальных условиях на эти системы наряду с полезными управляющими сигналами действуют случайные возмущения. Кроме того, сами полезные сигналы в некоторых случаях имеют вероятностный характер, а параметры систем случайным образом изменяются с течением времени. Поэтому при исследовании автоматических систем широко применяются вероятностные (статистические) методы анализа и синтеза. Несмотря на успешное развитие статистических методов, при исследовании таких важных для народного хозяйства систем как автоматизированные электроприводы, в частности - вентильные электроприводы непрерывных прокатных станов (НПС), где требуется точное поддержание заданного значения скорости прокатных двигателей, и поныне используются преимущественно детерминированные методы. Основными возмущениями для САР вентильных электроприводов НПС, наряду с моментом статической нагрузки $M_{ст}(t)$, являются колебания напряжения силовой сети $V_1(t)$ и сети собственных нужд (с/н) $V_2(t)$. Они влияют на работу САР электропривода двояким образом: 1) действуют непосредственно на различные координаты САР, проходя по соответствующим каналам, 2) вызывают изменение параметров многих элементов САР электропривода и, прежде всего, - вентильного преобразователя (ВП). Поскольку $M_{ст}(t)$, $V_1(t)$ и $V_2(t)$ в общем случае являются случайными функциями времени, то детерминированные методы исследования таких систем не могут удовлетворять современным требованиям.

Таким образом, разработка вероятностных методов исследования САР вентильных электроприводов, является актуальной научной задачей.

Ц е л и и з а д а ч и р а б о т ы . Целью работы является обоснование и разработка методики анализа САР вентильных электроприводов постоянного тока. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение статистических закономерностей внешних возмущений, действующих на САР вентильных электроприводов НПС.
2. Исследование влияния внешних возмущений на работу ВП, параметры которых в большой степени зависят от этих возмущений.

3. Разработка удобной для инженерной практики методики вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов постоянного тока, как стохастических систем со случайными воздействиями.

4. Вероятностный анализ распространенных структур САР вентиляльных электроприводов с применением разработанной методики.

5. Применение разработанной методики для решения задач анализа конкретной САР вентиляльного электропривода НПС.

Методологическая основа решения задач. Изучение статистических закономерностей возмущений, действующих на САР вентиляльных электроприводов НПС, базируется на массовых экспериментальных исследованиях возмущений и обработке экспериментальных данных методами теории вероятностей и математической статистики. Анализ влияния внешних возмущений на работу ВП основан на экспериментальных исследованиях распространенных систем импульсно-фазового управления (СИФУ) и ВП в целом. Разработка методики вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов базируется на статистической теории автоматических систем и ее инженерных приложениях, развитых в работах советских ученых Пугачёва В.С., Солодовникова В.В., Черноруцкого Г.С. и др.

Научная новизна результатов исследования. Выявлены статистические закономерности внешних возмущений, действующих на САР вентиляльных электроприводов НПС. Предложены общие формулы для корреляционных функций и спектральных плотностей, пригодные для описания динамических свойств внешних возмущений и удобные при вероятностном анализе САР. Установлены закономерности влияния внешних возмущений на параметры ВП и получены математические соотношения, позволяющие оценить это влияние. Предложена удобная в инженерной практике методика вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов постоянного тока. Впервые проанализированы взаимные корреляционные связи случайных возмущений и влияние этих связей на параметры и динамическую точность САР вентиляльных электроприводов. Впервые введены в практику расчета автоматических систем единичные нормированные дисперсии, являющиеся универсальными динамическими характеристиками САР и позволяющие оценить ее динамическую точность как при вероятностном, так и при детерминированном анализе. Предложена методика определения минимально необходимого запаса по напряжению ВП с учетом влияния на САР электропривода случайных возмущений.

Практическая ценность работы.

Результатами работы являются рекомендации по выбору способа питания с нового блока и СИФУ ВП, по выбору схем СИФУ и струк-

тур САР вентиляльных электроприводов, по выбору требуемого запаса по напряжению ВП.

Разработанная методика позволяет анализировать влияние случайных возмущений на динамические свойства и точность работы САР вентиляльных электроприводов постоянного тока.

Р е а л и з а ц и я р а б о т ы . Разработанная методика вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов постоянного тока использована при исследовании и наладке САР вентиляльного электропривода 15 клетьевого среднесортного непрерывного прокатного стана 350/500 Златоустовского металлургического завода.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные результаты работы докладывались и обсуждались на

1. Конференции "Автоматизированный электропривод прокатных станков", Свердловск, 1978.

2. Конференции "Повышение надежности автоматизированного электропривода", Челябинск, 1978.

3. XXУП и XXУШ научно-технических конференциях ЧПИ, 1974, 1975 г.г.

4. Техническом совете Челябинского пуска-наладочного управления треста "Южуралэлектромонтаж", 1973.

С т р у к т у р а и о б ъ е м д и с с е р т а ц и о н н о й р а б о т ы . Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографии и приложений. Работа содержит 150 страниц текста, 135 рисунков, 22 таблицы, список литературы из 132 наименований, а также 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и охарактеризована сущность проблемы исследования и даны основные положения, которые выносятся на защиту.

П е р в а я г л а в а посвящена исследованию возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$. Анализ литературных источников показал, что колебания напряжения в электрических сетях металлургических заводов изучены недостаточно. Данные по динамическим свойствам возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$, а также степени их взаимной корреляционной связи практически отсутствуют. В связи с этим были проведены массовые экспериментальные исследования колебаний напряжения в электрических сетях Челябинского и Златоустовского металлургических заводов. Для этой цели было разработано и из-

готовлено специальное измерительное устройство, позволяющее подключать к электрическим сетям различные регистрирующие приборы [1].

В результате экспериментальных исследований были получены осциллограммы $V_1(t)$ и $V_2(t)$, которые рассматривались как реализации случайных процессов и обрабатывались вероятностными методами на ЦВМ "Минск-22".

Анализ полученных результатов показал, что исследуемые процессы, как правило, стационарны и обладают эргодическими свойствами [2]. Распределения вероятностей величин V_1 и V_2 близки к нормальному закону. Степень взаимной корреляционной связи случайных процессов зависит от способа питания трансформатора с/н. Если он подключен к шинам силовой сети, то степень взаимной корреляционной связи высокая, при подключении трансформатора с/н к другой линии подстанции корреляционная связь низкая. Корреляционные и взаимные корреляционные функции, как правило, имеют колебательный характер, а спектральные и взаимные спектральные плотности содержат явно выраженные гармоники, что обусловлено технологическими особенностями работы прокатных станков. Частоты этих гармоник невелики, — обычно доли Гц и только иногда достигают 10 Гц.

На рис. 1 в качестве примера приведены графики корреляционной функции (а) и спектральной плотности (б) одного из исследуемых процессов.

Корреляционные функции возмущений $V_1(t)$, $V_2(t)$, а также, как показали исследования, — и $M_{cr}(t)$, могут быть описаны функциональными рядами вида

$$R_q(\tau) = D_q \sum_{i=1}^m A_{qi} e^{-\alpha_{qi}|\tau|} \cos \beta_{qi} \tau, \quad (1)$$

а взаимные корреляционные функции функциональными рядами вида

$$R_{rs}(\tau) = D_{rs} \sum_{i=1}^m A_{ri} e^{-\alpha_{ri}|\tau|} \cos(\beta_{ri} \tau + \varphi_{ri}), \quad (2)$$

где D_q — дисперсии, а D_{rs} — взаимные дисперсии случайных процессов; A_{qi} , A_{ri} — коэффициенты при i -х составляющих функций $R_q(\tau)$, $R_{rs}(\tau)$; α_{qi} , α_{ri} — коэффициенты

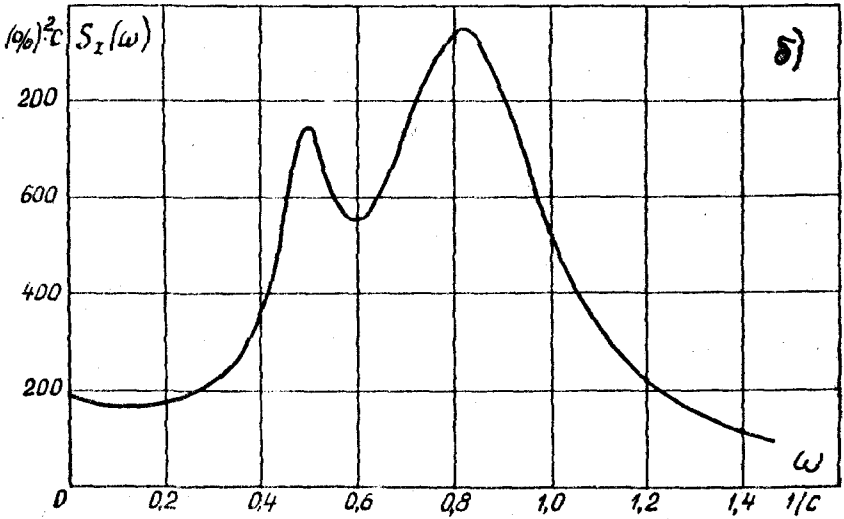
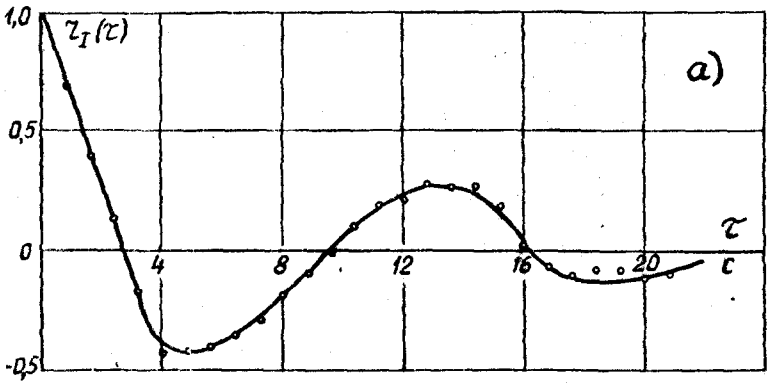


Рис. I

затухания i -х составляющих функций $R_q(\tau)$, $R_u(\tau)$; β_{qi} , β_{ui} - частоты выделяющихся i -й составляющих функций $R_q(\tau)$, $R_u(\tau)$; ψ_{qi} - сдвиг по фазе i -й составляющей функции $R_u(\tau)$ ($\psi_{12i} = -\psi_{21i}$).

Преобразование Фурье от функций $R_q(\tau)$ и $R_u(\tau)$ дает формулы для спектральных и взаимных спектральных плотностей в комплексной форме разложения:

$$S_q^*(\omega) = D_q \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m A_{qi} \left[\frac{\alpha_{qi}}{\alpha_{qi}^2 + (\omega + \beta_{qi})^2} + \frac{\alpha_{qi}}{\alpha_{qi}^2 + (\omega - \beta_{qi})^2} \right], \quad (3)$$

$$S_u^*(\omega) = D_u \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m A_{ui} \left\{ \cos \psi_{ui} \left[\frac{\alpha_{ui}}{\alpha_{ui}^2 + (\omega + \beta_{ui})^2} + \frac{\alpha_{ui}}{\alpha_{ui}^2 + (\omega - \beta_{ui})^2} \right] + \right. \\ \left. + j \sin \psi_{ui} \left[\frac{\alpha_{ui}}{\alpha_{ui}^2 + (\omega - \beta_{ui})^2} - \frac{\alpha_{ui}}{\alpha_{ui}^2 + (\omega + \beta_{ui})^2} \right] \right\}. \quad (4)$$

Как показали дальнейшие исследования, функциональные ряды (I)-(4) являются весьма удобной для анализа САР формой представления динамических свойств случайных возмущений, тем более, что число членов этих рядов, как правило, не превосходит четырех.

Во второй главе изложены результаты исследований влияния внешних возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$ на работу ВП. Экспериментальные исследования ряда широко распространенных СИФУ показали, что в большинстве случаев колебания напряжения в сети с/и $V_2(t)$ существенно влияют на угол регулирования СИФУ [3]. При этом, в зависимости от типа фазосдвигающего устройства СИФУ отклонения угла регулирования от заданного значения могут совпадать по знаку с отклонениями V_2 , а могут иметь и противоположный знак. В первом случае, если возмущения $V_1(t)$ и $V_2(t)$ имеют тесную положительную взаимную связь, СИФУ спо-

способствует уменьшению чувствительности ВП к колебаниям напряжения в силовой сети $V_1(t)$, т.е. наблюдается эффект внутренней автокомпенсации. В качестве примера на рис.2 приведены зависимости выходного напряжения тиристорного преобразователя типа ПТТ-230-100 от отклонений напряжения в силовой сети и сети с/н, когда $V_1 = V_2 = V$, при различных значениях управляющего напряжения U_y . Из графиков видно, что степень внутренней автокомпенсации существенно зависит от напряжения управления. Она тем выше, чем меньше значение U_y . В случае отрицательной взаимной связи возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$, рассматриваемая СИФУ усиливает чувствительность ВП к колебаниям напряжения $V_1(t)$. Существуют и такие СИФУ, у которых отклонения напряжения V_2 вызывают обратные по знаку отклонения угла регулирования. В этом случае влияние особенностей СИФУ на чувствительность ВП к колебаниям напряжения $V_1(t)$ имеет характер противоположный рассмотренному выше.

Под действием внешних возмущений изменяется наклон статических характеристик СИФУ и силового блока ВП. Поэтому параметры передаточных функций ВП не остаются постоянными. В качестве примера на рис.3 показаны частотные характеристики одного из исследуемых ВП, полученные экспериментально: 1 - при $V_1 = V_2 = 0$; 2 - при $V_1 = V_2 = -0,1$; 3 - при $V_1 = V_2 = 0,05$.

На основании проведенных исследований получены математические соотношения, позволяющие оценить влияние внешних возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$ как на угол регулирования и выходное напряжение ВП, так и на коэффициенты передачи ВП по каждому из возмущений.

Изложенные выше результаты исследований характеризуют влияние внешних возмущений на параметры ВП при работе последнего в разомкнутой САР. При работе ВП в замкнутой САР влияние внешних возмущений на параметры ВП увеличивается.

Таким образом, ВП представляет собой нелинейное нестационарное динамическое звено с параметрами, зависящими от внешних воздействий.

Третья глава посвящена разработке методики вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов при рассмотрении их как линейных систем с постоянными параметрами и применению этой методики для анализа распространенных структур САР вентиляльных электроприводов НПС.

На основании экспериментальных исследований внешне возмущения, действующие на САР вентиляльных электроприводов, рассматри-

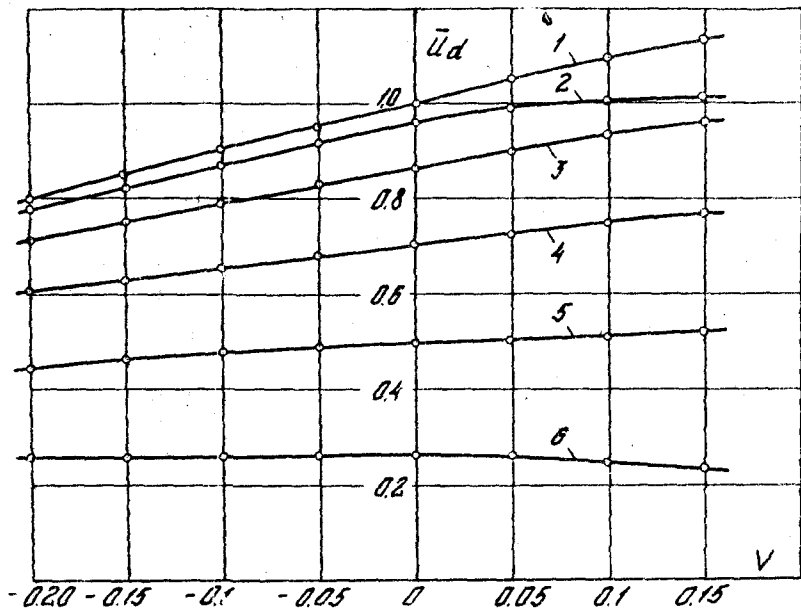


Рис.2

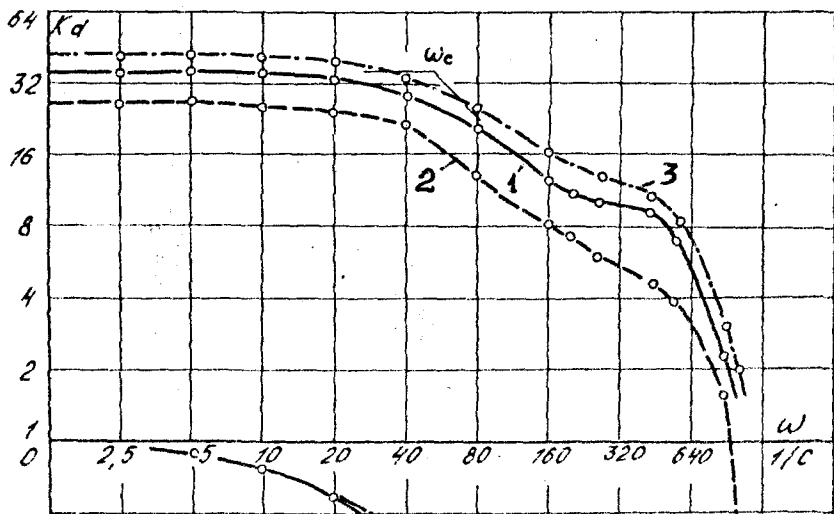


Рис.3

ваются как нормальные стационарные случайные процессы, обладающие эргодическими свойствами.

Проведенный обзор методов анализа автоматических систем со случайными воздействиями показал, что все они, как правило, сводятся к оценке динамической точности систем по средней квадратической ошибке (с.к.о.), для отыскания которой необходимо знать математическое ожидание и дисперсию ошибки. Если известны точные функции линейной САР электропривода $W_{MN}(p)$, $Y_1(p)$ и $Y_2(p)$, связывающие ошибку по скорости двигателя со стационарными случайными возмущениями соответственно $M_{cr}(t)$, $V_1(t)$ и $V_2(t)$, то математическое ожидание ошибки определяется из уравнения статики САР

$$M_{\epsilon n} = W'_{MN}(0) M_M + Y_1(0) M_1 + Y_2(0) M_2, \quad (5)$$

где M_M , M_1 и M_2 - математические ожидания возмущения, а дисперсия ошибки находится по формуле [4]

$$\begin{aligned} D_{\epsilon n} = & \int_{-\infty}^{\infty} |W_{MN}(j\omega)|^2 S_M^*(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} |Y_1(j\omega)|^2 S_1^*(\omega) d\omega + \\ & + \int_{-\infty}^{\infty} |Y_2(j\omega)|^2 S_2^*(\omega) d\omega + 2 \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} [Y_1(-j\omega) W_{MN}(j\omega) S_{1M}^*(\omega)] d\omega + \\ & + 2 \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} [Y_2(-j\omega) W_{MN}(j\omega) S_{2M}^*(\omega)] d\omega + 2 \int_{-\infty}^{\infty} \operatorname{Re} [Y_1(-j\omega) Y_2(j\omega) S_{12}^*(\omega)] d\omega = \\ = & D_{MN} + D_{1n} + D_{2n} + D_{1Mn} + D_{2Mn} + D_{12n}, \quad (6) \end{aligned}$$

где D_{MN} , D_{1n} и D_{2n} - дисперсии ошибки по скорости двигателя, вызванные каждым из возмущений в отдельности, а D_{1Mn} , D_{2Mn} и D_{12n} - обусловленные их взаимной корреляционной связью и в зависимости от характера этой связи могут быть как положительными, так и отрицательными.

Если пронормировать спектральные плотности (3) и (4) относительно дисперсий D_q и D_v , а также принять $A_{qi} = A_{vi} = 1$,

то при известных параметрах САР каждая из составляющих дисперсии (б) будет являться функцией параметров α и β , характеризующих динамические свойства случайных возмущений. На рис.4 в качестве примера приведены единичные нормированные поверхности среднеквадратического отклонения скорости двигателя, вызванного возмущением $V_1(t)$, при различных структурах САР электропривода: одноконтурных с П-регулятором (а) и ПИ-регулятором скорости (б); двухконтурных: с П-регуляторами тока и скорости (в), с П-регулятором тока и ПИ-регулятором скорости (г), с ПИ-регулятором тока и П-регулятором скорости (д), с ПИ-регуляторами тока и скорости (е). Общим условием при вычислении координат поверхностей принято равенство частот среза контуров регулирования скорости, а у двухконтурной САР, кроме того, и равенство частот среза контуров регулирования тока.

Особенностью введенных зависимостей является то, что в плоскости (α, β) они представляют собой амплитудные частотные характеристики САР по соответствующим каналам и, следовательно, могут быть использованы и при детерминированных расчетах.

В четвертой главе изложены результаты теоретических исследований влияния внешних возмущений на динамические свойства САР вентильных электроприводов, а также методы оценки динамической точности САР с учетом случайного изменения их параметров и определения минимально необходимого запаса по напряжению ВП - как функции внешних случайных возмущений.

Характерной особенностью работы ВП в замкнутой САР является то, что коэффициент передачи ВП изменяется не только под действием возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$, как в разомкнутой САР, но и под действием момента статической нагрузки $M_{ст}(t)$ из-за падения напряжения в силовой цепи вентильного электропривода. Кроме того, влияние возмущений $V_1(t)$ и $V_2(t)$ на коэффициент передачи ВП в данном случае усугубляется тем, что рабочие точки на нелинейных статических характеристиках силового блока ВП и СифУ (как правило, нелинейных) под действием замкнутой САР изменяют свое положение. В результате этого, САР вентильных электроприводов представляют собой нестационарные автоматические системы со случайными во времени параметрами. Исследование таких систем сопряжено с большими трудностями. Однако, учитывая то обстоятельство, что частоты внешних возмущений, как правило (см. выше), несоизмеримо малы по сравнению с собственными частото-

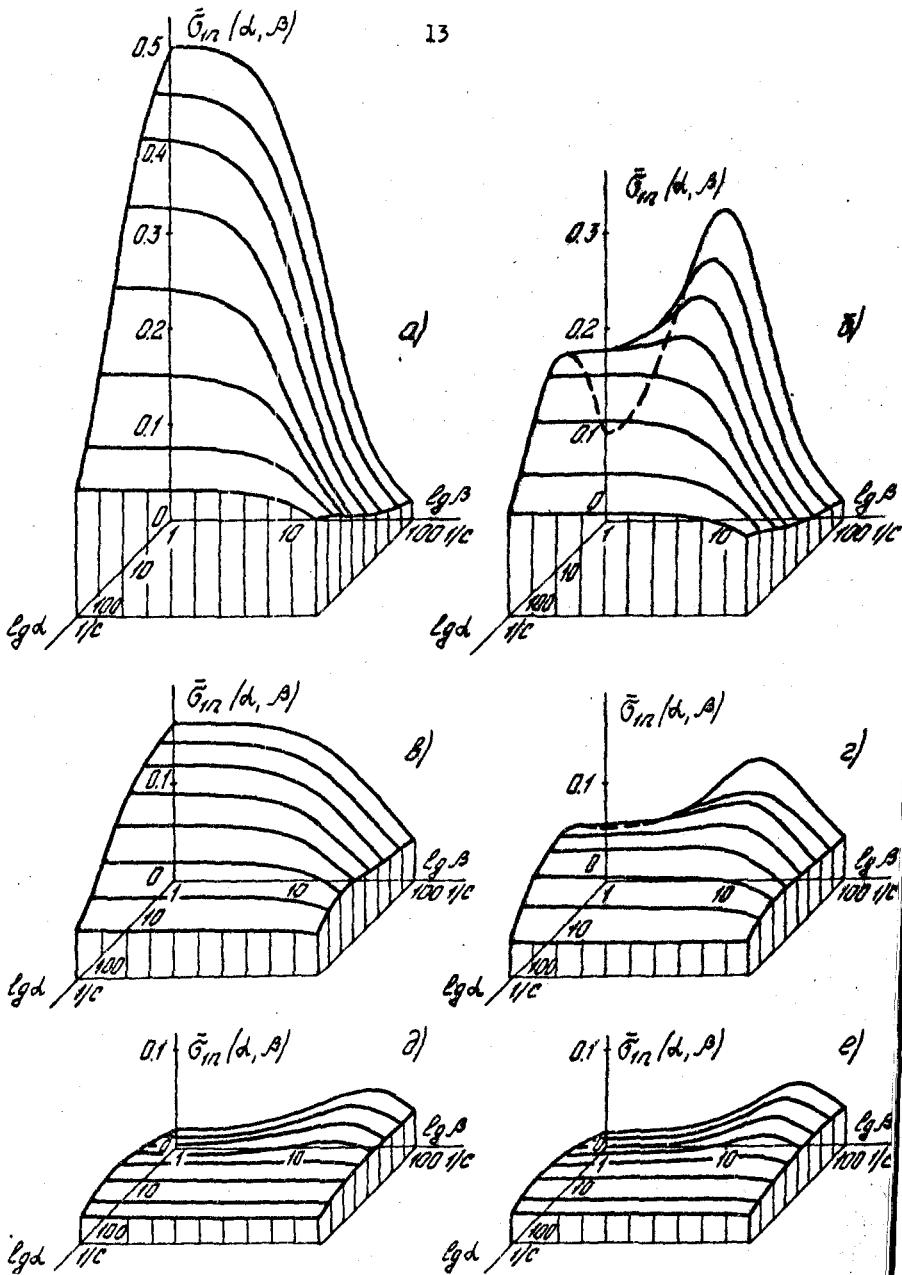


Рис. 4

тами САР вентиляльных электроприводов и придерживаясь классификации стохастических систем, предложенной профессором Г.С.Черноруцким, САР вентиляльных электроприводов можно считать стационарными системами, параметры которых являются случайными величинами. Такой подход существенно упрощает расчеты.

Коэффициент передачи силового блока ВП, нормированный относительно E_0 - максимального значения выпрямленной э.д.с. ВП при номинальном напряжении силовой сети, определяется как функция двух случайных аргументов [5]

$$K_1(V_1, V_3) = \begin{cases} \sqrt{(1+V_1)^2 - (E_g + V_3)^2}, & \text{если } V_3 - V_1 \leq 1 - E_g, \\ 0, & \text{если } V_3 - V_1 \geq 1 - E_g, \end{cases} \quad (7)$$

где E_g - заданное значение э.д.с. двигателя, а V_3 - падение напряжения в силовой цепи электропривода, вызванное током (моментом) нагрузки двигателя.

Выведенные формулы позволяют рассчитать функцию $F(K_1)$ и плотность $f(K_1)$ распределения коэффициента передачи K_1 . В качестве примера на рис.5 показан график функции $f(K_1)$, рассчитанный для числовых характеристик случайных величин V_1 и V_3 , имеющих место на практике. Как видим, значения коэффициента K_1 имеют существенный дрейф.

Предложены также формулы для оценки распределения значений коэффициента передачи ВП в совокупности с СИФУ как функции трех случайных аргументов $K(V_1, V_2, V_3)$.

Дрейф коэффициента передачи ВП вызывает изменение динамических свойств САР вентиляльного электропривода. В качестве примера на рис.6 приведены логарифмические амплитудные частотные характеристики одноконтурной САР вентиляльного электропривода с ПИ-регулятором скорости, рассчитанные с учетом дрейфа коэффициента передачи K_1 (см.рис.5). Как видим, частота среза контура регулирования скорости уменьшается по отношению к заданному значению более, чем в 6 раз. Чувствительность к внешним возмущениям при этом увеличивается, аналогично изменяются и другие динамические показатели.

При оценке динамической точности САР вентиляльных электроприводов предлагается использовать частотные характеристики и передаточные функции САР, соответствующие математическому ожиданию коэффициента передачи ВП, что дает достаточную для практики точность.

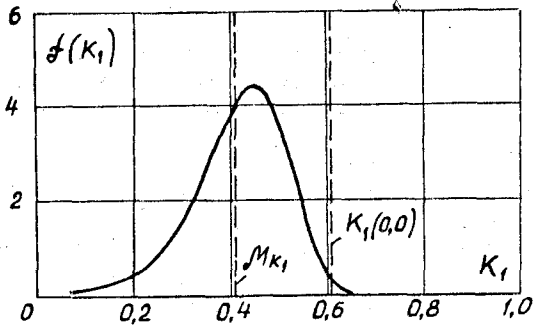


Рис.5

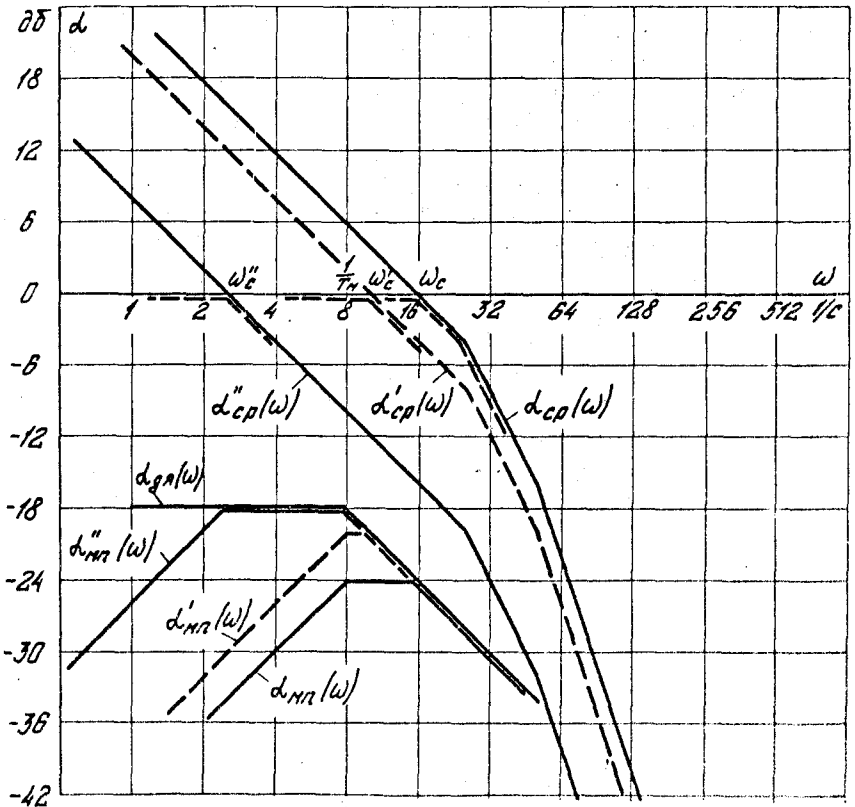


Рис.6

0195165

Предложено уравнение для определения запаса по напряжению ВП ΔE с учетом влияния на САР вентиляционного электропривода случайных возмущений [6]:

$$\int_{K_1}^1 \int_{V_3'}^{V_3''} \frac{K_1}{2\sigma_1 \sigma_3 \sqrt{1-\tau_{13}^2} \sqrt{K_1^2 + (1-\Delta E + V_3)^2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\tau_{13}^2)} \times \right. \\ \times \left[\frac{(\sqrt{K_1^2 + (1-\Delta E + V_3)^2} - 1 - M_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(V_3 - M_3)^2}{\sigma_3^2} - \right. \\ \left. \left. - \frac{2\tau_{13}(\sqrt{K_1^2 + (1-\Delta E + V_3)^2} - 1 - M_1)(V_3 - M_3)}{\sigma_1 \sigma_3} \right] \right\} dV_3 dK_1 = \\ = 0,997, \quad (8)$$

где M_1 , σ_1 и M_3 , σ_3 - числовые характеристики распределений случайных величин V_1 и V_3 , а τ_{13} - коэффициент корреляции между ними; внутренний интеграл - есть плотность распределения коэффициента передачи K_1 ; пределы интегрирования V_3' и V_3'' находятся из распределения величины V_3 ; 0,997 - доверительная вероятность. Решение (8) возможно только численными методами. Поскольку интегрирование начинается со значения $K_1 = \hat{K}_1$, то получаемое значение ΔE удовлетворяет нижней границе значений коэффициента передачи ВП, т.е. \hat{K}_1 . Коэффициент мощности ВП в данном случае будет зависеть от выбранного минимального значения коэффициента передачи ВП \hat{K}_1 . Задаваясь минимальным значением \hat{K}_1 с точки зрения сохранения заданных динамических свойств САР и решая (8), получим ΔE соответствующее максимальному для данных условий коэффициенту мощности ВП.

В пятой главе приведены результаты применения разработанных методов к анализу САР вентиляционного электропривода НПС 350/500.

Наряду с возмущениями $V_1(t)$ и $V_2(t)$ на данном объекте исследовались ток $I(t)$ и колебания скорости $\delta n(t)$ прокатного двигателя. В результате были определены статистические закономерности указанных процессов. С учетом характеристик внешних

возмущений подобраны и установлены при наладке параметры регуляторов САР и запас по напряжению ВП.

Проведенный анализ динамической точности САР вентильного электропривода показал достаточно близкое совпадение расчёта с экспериментом. Расчетное значение с.к.о. по скорости отличается от экспериментального значения менее, чем на 10%.

В приложении даны: описание устройства для регистрации колебаний напряжения в сети, методика статистической обработки экспериментальных данных, краткая характеристика объектов исследования, описание наиболее распространенных СИФУ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Внешние возмущения, действующие на САР вентильных электроприводов НПС, близки к стационарным гауссовым процессам, обладающим эргодическими свойствами. Корреляционные и взаимные корреляционные функции, а также спектральные и взаимные спектральные плотности возмущений могут быть достаточно точно описаны формулами (1), (2), (3) и (4). Степень взаимной корреляционной связи колебаний напряжения в силовой сети и в сети с/н зависит от способа питания трансформатора с/н.

2. Внешние возмущения существенно влияют на выходное напряжение ВП и на его параметры. Чувствительность ВП к возмущениям $V_1(t)$ и $V_2(t)$ зависит от особенностей применяемой СИФУ, от способа питания СИФУ и силового блока ВП, а также от степени взаимной корреляционной связи возмущений. При работе ВП в замкнутой системе влияние внешних возмущений на параметры ВП усиливается. Наряду с колебаниями напряжения $V_1(t)$ и $V_2(t)$ на параметры ВП в данном случае оказывает влияние момент статической нагрузки. Таким образом, ВП является нелинейным нестационарным динамическим звеном с параметрами, зависящими от случайных возмущений.

3. Ввиду несоизмеримо малых частот внешних возмущений по сравнению с собственными частотами САР вентильных электроприводов, последние целесообразно рассматривать как стационарные системы, параметры которых являются случайными величинами. Это существенно упрощает расчеты.

4. Анализ динамических показателей САР вентильных электроприводов необходимо проводить с учетом дрейфа коэффициента передачи ВП, а оценку динамической точности при этом целесообразно осуществлять с использованием его математического ожидания.

5. Для сохранения заданных динамических свойств САР вентиляционного электропривода и исключения ее размыкания необходимо выбрать запас по напряжению ВП с учетом характеристик случайных возмущений по предложенной в работе методике.

6. Введенные единичные нормированные поверхности являются универсальными динамическими характеристиками САР. Они могут быть использованы как при детерминированном анализе, так и при отыскании дисперсии выходной координаты или ее ошибки.

7. Вероятностный анализ САР вентиляционного электропривода НПС 350/500 подтвердил правильность предложенной методики и ее эффективность.

К основным результатам работы необходимо отнести следующие.

1. Выявлены статистические закономерности основных возмущений, действующих на САР вентиляльных электроприводов НПС.

2. Выявлены основные закономерности влияния внешних возмущений на параметры ВП и САР вентиляльного электропривода в целом. Предложены методы отыскания области рассеяния динамических свойств САР вентиляльных электроприводов.

3. Предложена методика вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов.

4. Выполнен анализ распространенных структур САР вентиляльных электроприводов с использованием разработанной методики.

5. Предложена методика определения запаса по напряжению ВП с учетом влияния на САР вентиляльного электропривода случайных возмущений.

6. Предложенные методы расчета внедрены в практику.

Таким образом, основная цель диссертации — обоснование и разработка методики вероятностного анализа САР вентиляльных электроприводов постоянного тока при рассмотрении их как стохастических систем со случайными воздействиями достигнута. Хотя большая часть вопросов рассматривается применительно к анализу САР вентиляльных электроприводов, многие выводы, полученные в диссертации, могут быть использованы и при решении задач синтеза.

П у б л и к а ц и и п о т е м е д и с с е р т а -
ц и и .

1. Волков Л.Т. Устройство для подключения к электрическим сетям приборов регистрации колебаний напряжения. Челябинский политехнический институт. Челябинск, 1975. (Рукопись депонирована в ОВНИИЭМ 28 мая 1975 г., №776-Д).

2. Левинтов С.Д., Волков Л.Т. Колебания напряжения в электрических сетях металлургического завода. Челябинский политехнический институт. Челябинск, 1974. (Рукопись депонирована в ОВНИИЭМ 22 окт. 1974 г., №612-Д).

3. Волков Л.Т., Левинтов С.Д. Исследование влияния изменений напряжения сети на статические характеристики вентильного преобразователя.-В сб.: Приборы и устройства автоматики, №146, ЧПИ, Челябинск, 1974.

4. Волков Л.Т.; Левинтов С.Д. Методика расчета влияния колебаний напряжения сети на работу вентильного электропривода постоянного тока.-В сб.: Исследование автоматизированных электроприводов, электрических машин и вентильных преобразователей, №158, ЧПИ, Челябинск, 1975.

5. Волков Л.Т., Левинтов С.Д. Оценка динамических показателей вентильного электропривода постоянного тока со случайными параметрами.-В сб.: Исследование автоматизированных электроприводов, электрических машин и вентильных преобразователей, №176, ЧПИ, Челябинск, 1976.

6. Волков Л.Т. Выбор запаса по напряжению вентильного преобразователя с учетом влияния на электропривод случайных возмущений. Челябинский политехнический институт. Челябинск, 1979. (Рукопись депонирована в ОВНИИЭМ 17 янв. 1979 г., №33-Д/79).

7. Волков Л.Т. Вероятностный подход к анализу систем вентильного электропривода постоянного тока. Конференция "Повышение надежности автоматизированного электропривода", Челябинск, 1978.