

6
A67

3261

7

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

НИКИТИН В.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ УГЛА
НА ПОВОРОТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Специальность 230 - Электрические машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
- 1970 -

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Никитин В.М.

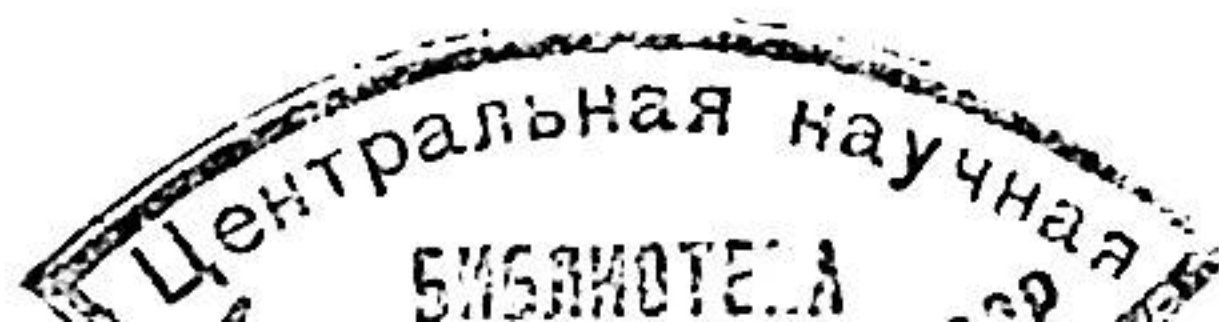
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ УГЛА
НА ПОВОРОТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Специальность 230 - Электрические машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград
- 1970 -



УДК 62.503.53:621.314.214.2

Работа выполнена на кафедре электромеханических устройств автоматики и вычислительной техники Ленинградского института авиационного приборостроения.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор В.В.ХРУЩЕВ.

Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор Д.В.СВЕЧАРИК;
кандидат технических наук
А.И.МИЛЮКОВ.

Автореферат разослан " _____ " 1970 г.

Защита диссертации состоится "11" сентября 1971 г.

На заседании объединенного Ученого совета факультетов авиационных приборов и автоматов и электромеханических систем летательных аппаратов Ленинградского института авиационного приборостроения ^{по адресу} Ленинград, Центр, ул.Герцена, 67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

3.

Системы передачи угла на поворотных трансформаторах (ПТ) получили широкое распространение в устройствах современной автоматики. Практика таких систем выдвигает в качестве основного требования — высокую точность передачи угла. Выполнение этого требования может быть достигнуто путем создания двухканальных систем с электрической редукцией и путем уменьшения ошибок одноканальных систем на двухполюсных ПТ. При использовании электрической редукции ожидается создание систем с ошибкой, не превышающей единиц секунд.

Однако во многих устройствах допустима ошибка передачи угла $\pm(30' + 40'')$. Для них по-прежнему перспективны малогабаритные, надежные, простые в устройстве и настройке одноканальные системы на двухполюсных ПТ, имеющие большую крутизну выходного сигнала. В настоящее время ошибка систем на двухполюсных ПТ составляет не менее $\pm(1,5' + 3,0')$. Поэтому для таких систем нужно разработать способы уменьшения ошибки.

Проблема повышения точности одноканальных систем передачи угла может решаться в двух направлениях: во-первых, по пути разработки обоснованных рекомендаций по выбору датчика (Д) и приемника (П); во-вторых, по пути изыскания способов компенсации ошибки системы.

Принятые в настоящее время величины, характеризующие точность ПТ, не позволяют непосредственно оценить ошибку системы передачи угла на ПТ. Имеющийся в литературе материал о влиянии различных факторов на точность системы передачи угла с ПТ трудно использовать на практике, так как каждый из факторов в выполненной машине трудно или невозможно измерить, и тем более невозможно учесть их взаимное влияние.

Задача обоснования характеристик, отражающих ошибку от ПТ в системе, решалась в диссертации Э.Н.Асиновского. Им обоснованы параметры точности ПТ для систем с замкнутой накоротко квадратурной обмоткой датчика. Однако замыкание накоротко квадратурной обмотки датчика не всегда приводит к уменьшению ошибки системы. Поэтому есть необходимость обосновать единую для Д и П простую при экспериментальном определении характеристики, отражающую совокупность наиболее важных несовершенств ПТ, которая позволила бы оценить ошибку для любого углового положения, а также при различных сопротивлениях контура квадратурной обмотки датчика.

Компенсация ошибки системы может быть выполнена двояко: или за счет компенсации суммарной ошибки на выходе системы, или путем обеспечения взаимной компенсации составляющих ошибки системы.

Компенсация ошибки извне может осуществляться за счет включения на выход системы устройства, моделирующего кривую, находящуюся в противофазе с кривой статической ошибки системы. Таким устройством является описанный А.А.Ахметжановым индукционный корректор.

Ошибка системы определяется совокупностью несовершенств Д, П и линий связи. Составляющие статической ошибки, вызванные различными причинами, складываются с учетом возможной взаимной компенсации. Величины составляющих ошибки, а следовательно, степень их взаимной компенсации и в итоге величину ошибки системы можно изменять за счет изменения параметров замкнутых контуров системы.

Вопросу влияния параметров контуров системы на ее ошибку посвящен ряд исследований А.А.Ахметжанова и Р.К.Памфилова. Особое место у авторов занимает исследование влияния на ошибку системы параметров цепи квадратурной обмотки датчика. Однако результаты этих исследований трудно использовать на практике, так как они отражают влияние параметров цепи квадратурной обмотки датчика на ошибку отдельных несовершенств системы без учета их взаимного влияния. Поэтому вопрос влияния параметров замкнутых контуров на ошибку системы нуждается в дополнительном исследовании.

Получить уравнение погрешности системы передачи угла на ПТ, отражающее в непосредственном виде многочисленные факторы, весьма сложно. Можно учесть наиболее существенную часть несовершенств Д и П, используя для исследования системы физическую модель неявнополюсной четырехобмоточной электрической машины с малой электромагнитной асимметрией, представленную в работах В.В.Хрущева.

В соответствии с этой физической моделью количество параметров, определяющих ошибку ПТ, сокращается до четырех:

$\Delta \lambda_d$ и $\Delta \lambda_q$ — относительное изменение магнитной проводимости соответственно по осям d и q ;

$\Delta \lambda_{dq}$ — относительная магнитная проводимость взаимной индукции по осям d и q ; обусловленная асимметрией магнитопровода;

$\Delta \chi_2 = \chi_\beta - \chi_\alpha$ — величина, характеризующая асимметрию в параметрах вторичных обмоток, выраженная в относительных единицах, т.е. в отношении к индуктивному сопротивлению взаимной индукции jX_m .

Каждый из этих параметров при необходимости может быть определен экспериментально для собранной машины.

При использовании модели неявнополюсной четырехобмоточной электрической машины с малой электромагнитной асимметрией проведено исследование погрешности системы передачи угла на ПТ, результаты которого представлены в диссертации.

Реферируемая работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

Во введении обоснованы и сформулированы основные задачи исследования одноканальных систем передачи угла на ПТ:

1) получить уравнение системы передачи угла, отражающее связь всех электрических параметров системы с учетом малой электромагнитной асимметрии Д и П;

2) получить уравнения погрешности системы в виде зависимости от угла поворота дополнений по току управления (ΔI_y) или по углу поворота ($\Delta \alpha$), вызванных электромагнитной асимметрией Д и П;

3) обосновать единую для Д и П характеристику, определяющую точность системы, и методику ее экспериментального определения. Разработать методику определения ошибки системы по известным характеристикам для Д и П. Сформулировать требования к этим характеристикам при подборе пар поворотных трансформаторов и схемы их соединения для получения наименьшей ошибки системы;

4) исследовать влияние несинусоидальности взаимоиндукции между обмотками статора и ротора на ошибку системы при разных схемах соединения;

5) исследовать влияние на ошибку системы параметров

замкнутых контуров и возможности повышения точности за счет подбора этих параметров.

Во введении приведено описание экспериментальной установки для исследования систем передачи угла. Для измерения углов поворота роторов Д и П использовались теодолиты Т-2, имеющие угловую ошибку не более $1''$,5. Конструкция угломерного устройства позволяет с высокой точностью устанавливать соосность валов ПТ и теодолита. Ошибка передачи угла от вала ПТ к валу теодолита при несоосности 0,001 мм составляет $1''$. Погрешность при снятии на установке кривых статической ошибки системы не превышала $10''$.

Для экспериментальных исследований использовались 18 серийных ПТ типа ВТ-5 классов точности 0 и Б.

В первой главе получены уравнения системы передачи угла на ПТ. Использован метод соединения, предложенный Г.Кроном.

1. Исходными являются электрические схемы (рис. I-I) и уравнения Д и П

$$\begin{aligned} \bar{Z}_D \cdot \bar{I}_D &= \bar{U}_D \\ \bar{Z}_P \cdot \bar{I}_P &= \bar{U}_P \end{aligned} \quad (I)$$

где $\bar{Z}_D$, $\bar{Z}_P$, $\bar{I}_D$, $\bar{I}_P$, $\bar{U}_D$, $\bar{U}_P$ — матрицы соответственно сопротивлений, токов, напряжений Д и П.

Электрические схемы датчика и приемника в совокупности представляют собой электрическую схему разобранной системы. Ей соответствует уравнение

8.

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}_A & 0 \\ 0 & \bar{Z}_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \bar{I}_A \\ \bar{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{U}_A \\ \bar{U}_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. Электрическая схема системы передачи угла (рис. I-2) отражает электрическую связь Д и П.

3. Составляется матрица соединения $\bar{C}$, отражающая связь токов соединенной системы с токами разобранной системы.

$$\bar{C} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \dot{I}_f & \dot{I}_K & \dot{I}_{a'} & \dot{I}_{f'} & \dot{I}_y \end{matrix} \\ \begin{matrix} \dot{I}_f \\ \dot{I}_K \\ \dot{I}_{a'} \\ \dot{I}_{f'} \\ \dot{I}_y \\ \dot{I}_{a''} \\ \dot{I}_{f''} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

4. Определяются с помощью матрицы соединения $\bar{C}$ и транспонированной матрицы $\bar{C}_T$ матрица сопротивлений системы

$$\bar{Z}_c = \bar{C}_r \times \begin{array}{|c|c|} \hline \bar{Z}_A & 0 \\ \hline 0 & \bar{Z}_n \\ \hline \end{array} \times \bar{C} \quad , \quad (4)$$

матрица токов системы

$$\begin{array}{|c|} \hline \bar{I}_A \\ \hline \bar{I}_n \\ \hline \end{array} = \bar{C} \times \bar{I}_c, \quad (5)$$

матрица напряжений системы

$$\bar{U}_c = \bar{C}_z \times \begin{array}{|c|} \hline \bar{U}_A \\ \hline \bar{U}_n \\ \hline \end{array} \quad (6)$$

5. Записывается уравнение системы передачи угла

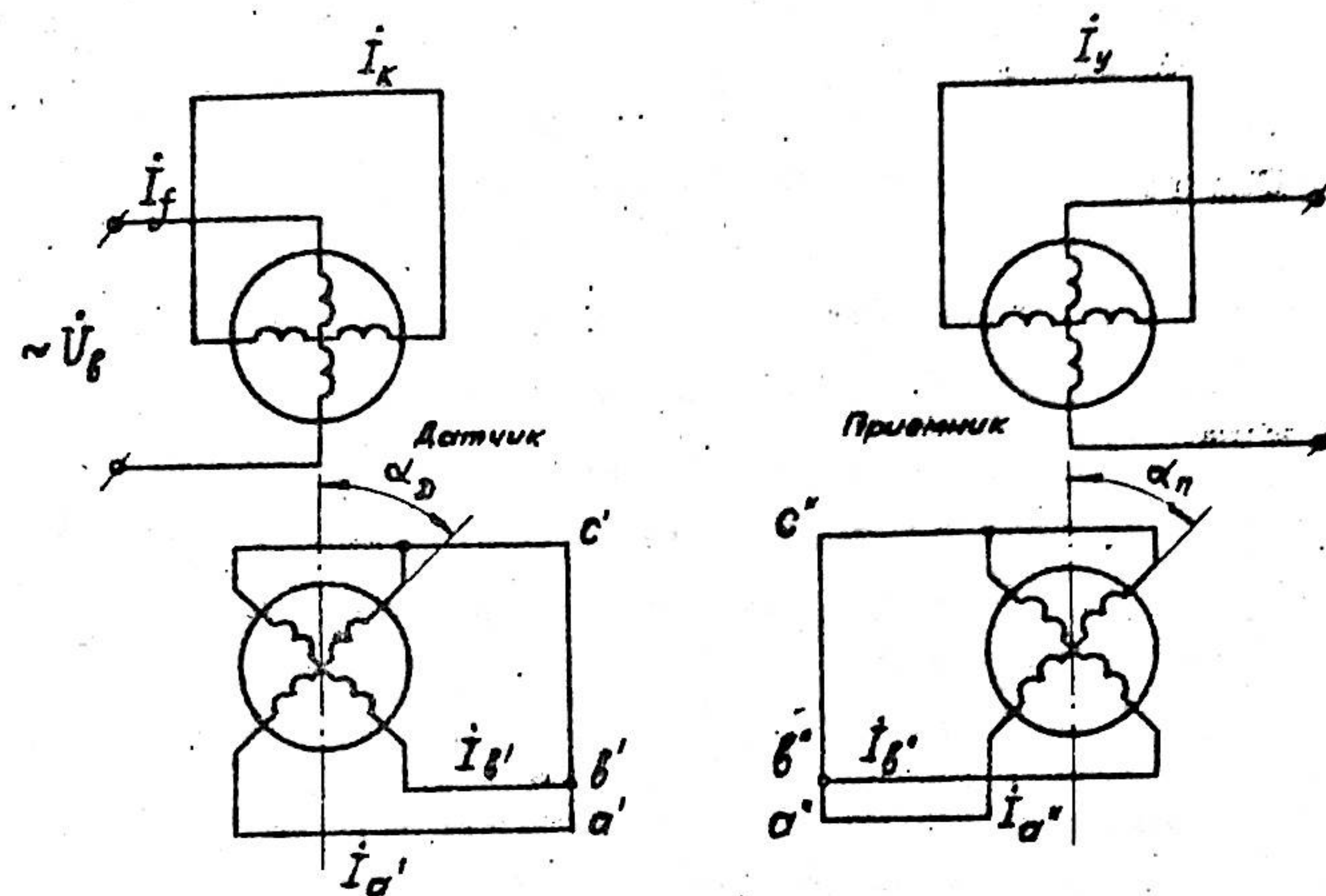


Рис. 1-1. Схема разобценой системы.

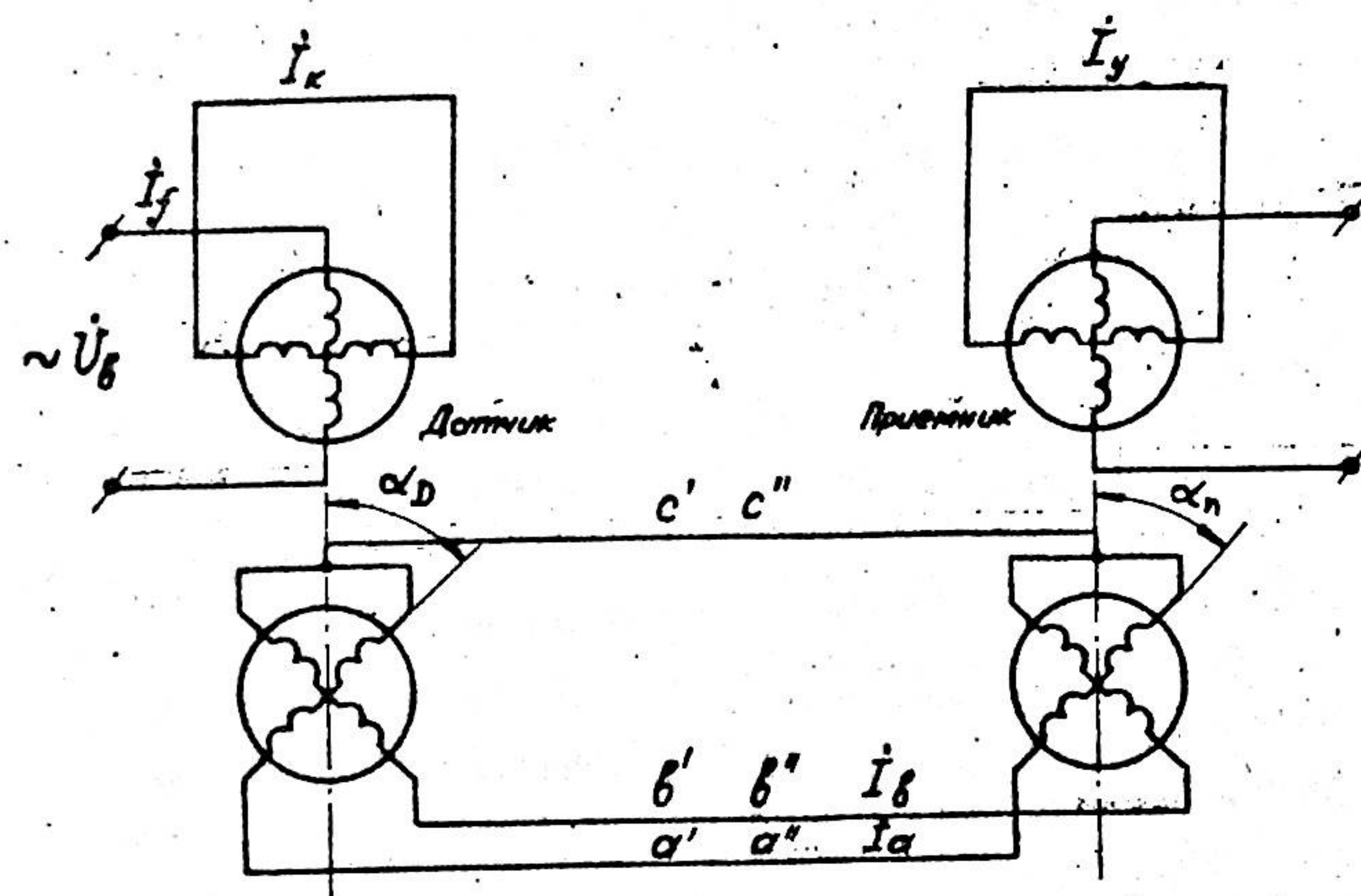


Рис. 1-2. Схема соединенной системы.

$$\bar{Z}_c \times \bar{I}_c = \bar{U}_c \quad (7)$$

При использовании этой методики и модели идеализированной четырехобмоточной электрической машины, представленной в работах В.В.Хрущева, для системы на идеализированных ПТ получается уравнение

$$\bar{Z}_{oc} \times \bar{I}_{oc} = \bar{U}_{oc} \quad (8)$$

Определена обратная матрица сопротивлений системы на идеализированных ПТ $\bar{Z}_{oc}^{-1}$.

Из уравнения системы

$$\bar{I}_{oc} = \bar{Z}_{oc}^{-1} \times \bar{U}_{oc} \quad (9)$$

может быть определено выражение для тока любого контура системы. В частности, для тока управления системы с идеализированными ПТ это выражение принимает вид

$$\dot{I}_{oy} = \frac{(jX_m)^4 \cdot \dot{U}_B [2(\gamma_K + 1)(\gamma_A + 1) - 1] \cdot \sin(\alpha_A - \alpha_n)}{\Delta_o} \quad (10)$$

Здесь Δ_o — главный определитель матрицы сопротивлений системы на идеализированных ПТ.

При использовании модели неявнополюсной четырехобмоточной электрической машины с малой асимметрией магнитопровода на основании уравнения (4) получена матрица сопротивлений от электромагнитной асимметрии магнитопроводов Д и П и электрической асимметрии цепей синхронизации $\Delta \bar{Z}_c$.

Уравнение системы передачи угла на ПТ с малой электро-

магнитной асимметрией записано так

$$(\bar{Z}_{oc} + \Delta \bar{Z}_c)(\bar{I}_{oc} - \Delta \bar{I}_c) = \bar{U}_c \quad (11)$$

Здесь $\Delta \bar{I}_c$ — матрица токов системы, появившихся вследствие электромагнитной асимметрии.

Из уравнения (11) после несложных преобразований получается

$$\Delta \bar{I}_c = \bar{Z}_{oc}^{-1} \cdot \Delta \bar{Z}_c \cdot \bar{Z}_{oc}^{-1} \cdot \bar{U}_{oc} \quad (12)$$

Уравнение (12) позволяет получить выражение для приращения тока управления системы от электромагнитной асимметрии Д и П.

$$\Delta \dot{I}_y = \frac{(jX_m)^4 \cdot \dot{U}_B}{\Delta} \left[\Delta \gamma_{2c} (\gamma_K + 1) \cdot \sin 2\alpha + \Delta \lambda_{dqA} \left(\frac{A}{\Delta} - \gamma_K \right) + \Delta \lambda_{dqB} \cdot B \right] \quad (13)$$

Здесь Δ — главный определитель матрицы сопротивлений системы на идеализированных ПТ при $\alpha_A - \alpha_n = 0$;

A, B — коэффициенты, определяемые параметрами датчика и приемника;

$\Delta \gamma_{2c}$ — неравенство сопротивлений контуров синусной и косинусной обмоток в относительных единицах;

α — угловое положение согласованных роторов датчика и приемника;

γ_K — сопротивление контура квадратурной обмотки в относительных единицах, т.е. в отношении к jX_m .

Получено выражение для погрешности системы в угловых ве-

личинах, которые при замкнутой цепи квадратурной обмотки датчика и бесконечном сопротивлении нагрузки имеет вид

$$(\Delta\alpha)_{\min} = 3,44 \cdot 10^3 \cdot \operatorname{Re} \left[\frac{\Delta\lambda_{2c}(\gamma_k+1) \cdot \sin 2\alpha + \Delta\lambda_{dqA}(\mathcal{D}-\gamma_k) + \Delta\lambda_{dqH} \cdot B}{2(\gamma_k+1)(\gamma_a+1) - 1} \right] \quad (14)$$

$$[\gamma_H = \infty]$$

Здесь

$$\mathcal{D} = \left(\frac{A}{\Delta} \right) = \frac{2(\gamma_f+1)(\gamma_a+1)[2(\gamma_k+1)(\gamma_a+1)+1][2(\gamma_k+1)(\gamma_a+1)-2(\gamma_a+1)-\frac{\gamma_k}{\gamma_f+1}]}{4(\gamma_f+1)(\gamma_k+1)(\gamma_a+1)^2-2(\gamma_f+1)(\gamma_a+1)-2(\gamma_k+1)(\gamma_a+1)+1} ; \quad (15)$$

$$[\gamma_H = \infty]$$

$$B = 2 \gamma_a(\gamma_k+1) + \gamma_k ; \quad (16)$$

γ_f и γ_a — сопротивления соответствующих контуров в относительных единицах.

Выражение для погрешности системы при разомкнутой цепи квадратурной обмотки датчика и сопротивлении нагрузки, равном бесконечности, имеет вид

$$(\Delta\alpha)_{\min} = 3,44 \cdot 10^3 \cdot \operatorname{Re} \left[\frac{\Delta\lambda_{2c} \cdot \sin 2\alpha + (2\gamma_a+1) \cdot \Delta\lambda_{dqA} + (2\gamma_a+1) \cdot \Delta\lambda_{dqH}}{2(\gamma_a+1)} \right] \quad (17)$$

$$[\gamma_H = \infty]$$

Ошибка системы в общем случае определяется тремя составляющими:

- а) ошибкой от неравенства сопротивлений цепей синхронизации ($\Delta\lambda_{2c}$), которая имеет характер второй гармоники;
- б) ошибкой от электромагнитной асимметрии магнитопровода датчика, которая определяется параметрами контуров системы и изменением комплексной магнитной проводимости ($\Delta\lambda_{dqA}$) между

взаимноперпендикулярными осями, одна из которых есть ось обмотки возбуждения;

в) ошибкой от электромагнитной асимметрии магнитопровода приемника, которая определяется параметрами контуров системы и изменением комплексной магнитной проводимости ($\Delta\lambda_{dqH}$) между взаимноперпендикулярными осями, одна из которых есть ось обмотки управления.

Во второй главе приводится анализ влияния на ошибку системы электромагнитной асимметрии Д и П и параметров контура цепи квадратурной обмотки датчика.

Ошибка от неравенства сопротивлений цепей синхронизации изменяется по закону второй гармоники, начальная фаза которой совпадает с нулевым положением оиотемы или с положением 90° . Амплитуда ее определяется параметрами поворотных трансформаторов, величиной и характером неравенства сопротивлений цепей синхронизации. В системах на ПТ с синусными концентрическими обмотками и малым допуском на неравенство омических сопротивлений обмоток одного статора или ротора при одинаковых сопротивлениях проводов линии ошибка от неравенства сопротивлений цепей синхронизации не является определяющей. В таких системах ошибка определяется в основном асимметрией магнитопроводов Д и П.

Асимметрия магнитопровода ПТ характеризуется изменением магнитной проводимости между продольной и поперечной осями и проявляется в изменении амплитуды и фазы эдс квадратурной обмотки (E_{KB}).

Известно соотношение

$$\Delta\lambda_{dq} = - \frac{1+\gamma_f}{U_B} \cdot E_{KB} \quad (18)$$

Характер $\Delta \lambda_{dq}$ ПТ в зависимости от угла поворота ротора может быть установлен по результатам анализа кривых $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$, построенных с учетом фазового сдвига ($\varphi_{\dot{E}_{\kappa\beta}}$) вектора $\dot{E}_{\kappa\beta}$ относительно $\dot{U}_{\beta}$. Для снятия кривых $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$ и $\varphi_{\dot{E}_{\kappa\beta}} = f(\alpha)$ используется компенсационная схема. Для удобства кривые изображаются, начиная с нулевого положения ПТ.

Для построения кривой $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$ с учетом сдвига по фазе $\dot{E}_{\kappa\beta}$ относительно $\dot{U}_{\beta}$ при $-90^\circ < \varphi_{\dot{E}_{\kappa\beta}} < +90^\circ$ знак $\dot{E}_{\kappa\beta}$ считается отрицательным.

Экспериментальные кривые исследуемой партии ПТ при питании с ротора и статора представлены в приложении к диссертации.

Кривые $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$, построенные с учетом сдвига по фазе $\dot{E}_{\kappa\beta}$ относительно $\dot{U}_{\beta}$, в общем случае содержат:

- постоянную составляющую;
- вторую гармоническую составляющую;
- высшие гармонические составляющие, определяемые зубцовой зоной.

Амплитуды этих составляющих и сдвиг по фазе относительно нулевого положения у различных ПТ, а также у одного ПТ при питании с ротора и статора, различны. В частности, у ПТ, оси обмоток которых совмещены с осями эллиптичностей магнитопроводов ротора и статора, начальная фаза второй гармоники близка к нулевому положению или положению 90° . Амплитуды вторых гармоник кривых $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$ различных ПТ существенно различаются, причем ПТ более высокого класса точности не отличаются меньшими их величинами. Зубцовые гармоники в кривых $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$

у различных ПТ выражены по-разному, причем амплитуды их не зависят от порядка гармоник.

Используя кривые $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$, построенные с учетом фазового сдвига $\dot{E}_{\kappa\beta}$ относительно $\dot{U}_{\beta}$, и соотношение (18), сосчитаны составляющие ошибки системы от асимметрии магнитопроводов Д и П. Кривая ошибки системы от электромагнитной асимметрии Д и П есть результат сложения соответствующих кривых $\dot{E}_{\kappa\beta\Delta} = f(\alpha)$ и $\dot{E}_{\kappa\beta\Pi} = f(\alpha)$ с учетом масштабных коэффициентов и фазового сдвига. Расчетные кривые несущественно отличаются от экспериментально определенных кривых статической ошибки системы на тех же ПТ.

Исходя из этого, сформулированы требования к подбору пар ПТ для получения наименьшей ошибки в системе.

Для получения наименьшей ошибки в системе от Д и П при разомкнутой цепи квадратурной обмотки желательно иметь Д и П такими, чтобы их соответствующие кривые $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$ снятые при одном напряжении возбуждения, имели одинаковые по амплитуде, но находящиеся в противофазе переменные составляющие одного порядка.

Так как ошибка системы характеризуется совокупностью кривых $\dot{E}_{\kappa\beta\Delta} = f(\alpha)$, снятой при питании с обмотки возбуждения и $\dot{E}_{\kappa\beta\Pi} = f(\alpha)$, снятой при питании с обмотки управления, а у одного ПТ кривые $\dot{E}_{\kappa\beta} = f(\alpha)$ различны при питании с ротора и статора, то кривые статической ошибки системы на избранной паре ПТ существенно различаются в зависимости от того, как соединены их обмотки.

При вращении роторов Д и П в одну сторону возможны 4 варианта схем соединения (р-с-с-р, с-р-р-с, р-с-р-с, с-р-с-р). В диссертации представлены расчетные кривые ошибки системы от асимметрии магнитопроводов на паре ПТ при четырех вариантах схем соединения и экспериментальные кривые статической ошибки для этих схем, которые различаются не существенно. По кривым $E_{\kappa\theta} = f(\alpha)$, снятым при питании с ротора и статора, можно для пары ПТ подобрать схему соединения, обеспечивающую наименьшую ошибку.

В итоге при наличии кривых $E_{\kappa\theta} = f(\alpha)$, снятых при питании с ротора и статора, можно подобрать пару ПТ и схему соединения их обмоток для получения наименьшей ошибки системы. Большой успех в подборе обеспечивают поворотные трансформаторы, у которых оси обмоток совмещены с осями эллиптичности магнитопроводов. Путем подбора пар из партии исследуемых ПТ типа ВТ-5 получен ряд систем с ошибкой не более $\pm(30 \div 40)^\circ$.

Уравнение (14) после выделения действительной части сложно для анализа. Поэтому для исследования влияния параметров цепи квадратурной обмотки на точность системы передачи угла использовано уравнение

$$(\Delta\alpha)_{\min} = \frac{3,44 \cdot 10^3 [\Delta Y_{2c} (\gamma_K + 1) \sin 2\alpha + \Delta \lambda_{dq_d} (1 - \gamma_K) + \Delta \lambda_{dq_n} B]}{2(\gamma_K + 1)(\gamma_a + 1) - 1}, \quad (19)$$

$[\gamma_K = \infty]$

результаты исследования которого хорошо подтверждаются экспериментом. В уравнении (19) γ_K — комплексное сопротивление контура квадратурной обмотки, входит в коэффициенты при $\Delta Y_{2c} \sin 2\alpha$, $\Delta \lambda_{dq_d}$ и $\Delta \lambda_{dq_n}$, соответственно обозначенные K_I , K_{II} и K_{III} . Проанализировано изменение коэффициентов

K_I , K_{II} и K_{III} в зависимости от γ_K . Законы изменения коэффициентов различны. При $\gamma_K > 1$ и $\gamma_K < -1$ коэффициенты меняются незначительно, при $-1 < \gamma_K < 1$ изменение их весьма существенно. При $\gamma_K = \frac{1}{2(\gamma_a + 1)} - 1 = \gamma_{K_{кр}}$ (критическое),

K_I и K_{III} весьма велики, что приводит к значительному увеличению ошибки. При $\gamma_a < 1$ $\gamma_{K_{кр}} \approx -0,5$, т.е. ошибка системы сильно возрастает при включении в цепь квадратурной обмотки емкости с сопротивлением, близким $0,5 X_m$.

При определенных значениях γ_K каждый из коэффициентов становится равным нулю.

Кривая статической ошибки системы в общем случае есть совокупность второй гармоники от неравенства сопротивлений цепи синхронизации, группы гармоник от асимметрии магнитопровода датчика и группы гармоник от асимметрии магнитопровода приемника. Законы изменения коэффициентов K_I , K_{II} и K_{III} отражают характер изменения амплитуд соответствующих составляющих в зависимости от параметров контура квадратурной обмотки датчика. В итоге при изменении γ_K имеется весьма сложная картина изменения структуры кривой статической ошибки системы.

Практически важный частный случай — режим замкнутой накоротко квадратурной обмотки. При этом в сравнении с режимом разомкнутой цепи квадратурной обмотки K_I несколько возрастает, но K_{II} и K_{III} уменьшаются существенно. Это в большинстве случаев приводит к уменьшению ошибки системы при замыкании накоротко квадратурной обмотки. Но это справедливо не всегда. Если одинаковые гармоники ошибки системы от Д и П находятся в противофазе и имеют соответственно одинаковые ампли-

угле рассогласования не кратном $\frac{2\pi}{nZ}$.

В четвертой главе рассматриваются пути повышения точности систем передачи угла на ПТ за счет взаимной компенсации составляющих статической ошибки.

На основании исследований, представленных во II главе, можно заключить, что степень взаимной компенсации составляющих статической ошибки, а следовательно, и величину ошибки можно существенно менять изменением параметров замкнутых контуров системы.

Так, вторая гармоника статической ошибки системы, начальная фаза которой совпадает с нулевым положением системы или положением 90° , может быть успешно скомпенсирована подбором добавочного активного или реактивного сопротивления, включенного в тот или иной контур цепи синхронизации. Для конкретной системы по виду соответствующих кривых $\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$ для Д и П можно установить, какой элемент и в какой контур включить для повышения точности системы. Способ весьма эффективен в системах на ПТ, у которых оси обмоток совмещены с осями эллиптичности магнитопроводов.

В таких системах также эффективен способ повышения точности за счет подбора параметров цепи квадратурной обмотки датчика. Причем по соответствующим кривым $\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$ для Д и П для конкретной системы можно заранее установить, какой элемент нужно включить в цепь квадратурной обмотки датчика для повышения точности системы. Так, если соответствующие кривые

$\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$ для Д и П совпадают по фазе, то для уменьшения ошибки в цепи квадратурной обмотки нужно подбирать емкость с сопротивлением не больше $0,5 X_m$. Если соответствующие кривые $\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$ для Д и П находятся в противофазе и

имеют разные амплитуды, то для уменьшения ошибки системы в цепи квадратурной обмотки нужно подбирать дополнительное активное сопротивление.

Способы повышения точности за счет подбора добавочных сопротивлений в цепи синхронизации и в цепи квадратурной обмотки могут быть успешно применены в совокупности, о чем также можно судить из анализа кривых $\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$.

Ошибка системы складывается, в основном, из ошибок от электромагнитной асимметрии Д и П, отражающих характер соответствующих кривых $\dot{E}_{\kappa\theta} = f(\alpha)$. Порядок гармоник составляющих ошибки от Д и П у однотипных ПТ одинаков, но гармоники одного порядка в общем случае смещены друг относительно друга по фазе.

Предложен способ компенсации одинаковых гармоник ошибки системы от Д и П, заключающийся в следующем. Начальным поворотом ротора датчика (или приемника) на некоторый угол и компенсацией электрического сигнала рассогласования в цепи управления (для этого в цепь управления включается компенсирующее устройство) получают согласование роторов Д и П при смещенном роторе датчика (или приемника) относительно нулевого положения. При этом смещаются относительно друг друга и гармонические составляющие ошибки системы от Д и П. Может быть установлен такой угол начального смещения, при котором одинаковые гармонические составляющие ошибки от Д и П компенсируют друг друга. Способ может быть использован для компенсации вторых и зубцовых гармоник, может быть использован в совокупности с выше-названными способами.

Практически названные способы на серийных ПТ позволяют создать системы передачи угла с ошибкой не больше $\pm(30 \div 40)''$.

Основные результаты проделанной работы сводятся к следующему:

1. Использованная модель асимметричной неявнополусной четырехобмоточной электрической машины и избранный математический метод позволили получить компактные уравнения погрешности системы, которые содержат небольшое количество удобных для исследования параметров ($\Delta \lambda_{dqD}$, $\Delta \lambda_{dqH}$, $\Delta \lambda'_{2c}$), обобщающих многочисленные технологические и конструктивные несовершенства Д и П.

2. Составляющая ошибки системы от электромагнитной асимметрии Д и П характеризуется совокупностью кривых: $\dot{E}_{KB_A} = f(\alpha)$, снятой при питании с обмотки возбуждения, и $\dot{E}_{KB_H} = f(\alpha)$, снятой при питании с обмотки управления, построенных с учетом сдвига по фазе $\dot{E}_{KB}$ относительно U_B . Разработаны методика определения кривых $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ с учетом фазы и методика расчета по ним ошибки системы от электромагнитной асимметрии магнитопроводов Д и П.

3. Сформулированы требования к подбору по кривым $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ пар ПТ и схемы соединения их обмоток для получения наименьшей ошибки системы.

4. Вторая гармоническая составляющая ошибки системы от неравенства сопротивлений контуров цепи синхронизации имеет начальную фазу, совпадающую с нулевым положением системы или с положением 90° в зависимости от того, параметры контура синусных или косинусных обмоток больше. Амплитуда ее определяется параметрами системы, величиной и характером неравенства сопротивлений контуров цепи синхронизации.

5. В зависимости от сопротивления контура цепи квадратурной обмотки по различным законам изменяются амплитуды составляющих статической ошибки от неравенства сопротивлений цепей синхронизации и от электромагнитной асимметрии Д и П. Из анализа кривых $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ может быть с учетом названных законов сделан вывод о том, какой режим включения квадратурной обмотки обеспечивает наименьшую ошибку.

6. Изменение параметров контуров цепи синхронизации и квадратурной обмотки позволяет изменять в различной мере составляющие статической ошибки. Из анализа кривых $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ можно установить, включение каких дополнительных элементов и в какие контуры приведет к повышению точности системы. Кривые $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ позволяют определить угол рассогласования роторов Д и П, обеспечивающий уменьшение ошибки по предложенному в диссертации способу.

7. Все полученные в диссертации теоретические выводы подтверждены результатами экспериментальных исследований. Разработанная методика подбора по кривым $\dot{E}_{KB} = f(\alpha)$ пар ПТ и схемы соединения их обмоток, в равной мере как применение способов взаимной компенсации составляющих ошибки, позволили на серийных двухполюсных ПТ типа ВТ-5 создать системы с ошибкой не более $\pm(30'' + 40'')$.

По материалам диссертации были сделаны доклады на XXII научно-технической конференции ЛИАП (с публикацией тезисов), на юбилейной конференции факультета автоматических систем Томского политехнического института, на техническом семинаре кафедры.

Отдельные вопросы диссертации отражены в работах:

1. В.М.Никитин. Уравнения одноканальной системы передачи угла на четырехобмоточных поворотных трансформаторах с малой электромагнитной асимметрией. Труды ЛИАП, вып.65, 1970.

2. В.В.Хрущев, О.А.Павлов, В.Н.Левицкий, М.А.Волохов, В.М.Никитин. Одноканальная трансформаторная система дистанционной передачи угла повышенной точности. Положительное решение по заявке № 1313124/18-24.

Подписано к печати 22-12-70

М-12596

Тираж 150 экз.

Бесплатно

Объем 1 печ. лист

Заказ № 391

Ретанпринт Ленингипрохим