

6
А-52

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Куйбышевский политехнический институт
имени В.В.Куйбышева

=====

На правах рукописи

МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВ Виталий Перчевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ НА ЭЛЕМЕНТАХ ХОЛЛА ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ УГЛОВ

Специальность № 05.11.16 : Информационно-измеритель-
ные системы в машинострое-
нии).

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Куйбышев - 1973

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Куйбышевский политехнический институт
им. В. В. Куйбышева

На правах рукописи

МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВ Виталий Первович

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
НА ЭЛЕМЕНТАХ ХОЛЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕН-
НЫХ УГЛОВ

Специальность № 05.11.16 -- (Информационно-
измерительные системы в машиностроении).

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени канди-
дата технических наук

Куйбышев - 1973.

621.8
A 52
Работа выполнена на кафедре информационно-измерительной техники Куйбышевского политехнического института имени В.В.Куйбышева.

Научный руководитель - заслуженный деятель науки и техники РСФСР доктор технических наук профессор КУЛИКОВСКИЙ Л.Ф.

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент И.И.Волков.

Официальные оппоненты:

Академик АН АзССР, доктор технических наук, профессор ЭФЕНДИЗАДЕ А.А.

кандидат технических наук, доцент ГРИГОРОВСКИЙ Б.К.

Ведущее предприятие - Государственный институт "ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ" (г.Куйбышев).

Автореферат разослан " 7 " сентября 1973 года

Защита диссертации состоится " 9 " октября 1973 года

в 10 часов на заседании Ученого совета факультета автоматики и измерительной техники Куйбышевского политехнического института им.В.В.Куйбышева по адресу: ул.Галактионовская, 141, ауд. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института (ул. Первомайская, 18).

Ученый секретарь совета
к.т.н., доцент

(Корганова О.Г.)



В настоящее время, в связи с бурным развитием техники автоматического управления движущимися объектами, проблема построения устройств управления двумерными системами, к которым относится большинство устройств пространственного слежения и стабилизации, является очень актуальной.

В следящих системах для целей навигации используются, в основном, гироскопические, радиотехнические и магнитные устройства; в бурении - потенциометрические датчики в сочетании с магнитными стрелками или буссолями. Контактный съём показаний с таких датчиков сопряжен с определенными неудобствами и влечет за собой увеличение погрешности.

В последнее время, в связи с все более широким внедрением новейших достижений физики полупроводников в информационно-измерительную технику, в навигации стали применяться устройства ориентации на элементах Холла. Причинами, привлекающими внимание к ним, являются их малые габариты, линейность характеристики, большая чувствительность, виброустойчивость и высокое быстродействие.

Огромное значение имеет унификация устройств, которые могли бы применяться для различных целей, например, в навигации, бурении, машиностроении. Наличие искусственного вектора магнитного поля, совпадающего по направлению с местной вертикалью, позволяет создать устройство, служащее для определения отклонения оси какого-либо объекта от вертикали.

На кафедре "Информационно-измерительная техника" Куйбышевского политехнического института разработана информационно-измерительная система на элементах Холла для определения угловых перемещений с двумя степенями свободы.

Первичным преобразователем отклонения оси объекта от вертикали в электрический сигнал служит преобразователь угловых перемещений с двумя степенями свободы на элементах Холла.

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию и разработке информационно-измерительных устройств с двухступенными преобразователями угловых перемещений на элементах Холла.

В первой главе приводится обзор существующих двухступенных преобразователей угловых перемещений, служащих для определения направления некоторого объекта. Показано, что все они являются довольно сложными по одной из двух причин:

1) из-за необходимости создания вращающегося магнитного поля;

2) из-за необходимости в вычислительном устройстве для дальнейшей математической обработки полученных сигналов.

Кроме того их общим недостатком является невозможность непосредственных измерений.

Рассматривается возможность определения направления объекта с помощью преобразователей на элементах Холла. Дана конструкция устройства, которая в различных схемных исполнениях может быть использована для измерения углов, определяющих направление объекта в различных системах координат.

Вторая глава - посвящена исследованию элемента Холла как преобразователя магнитной индукции в электрический сигнал. Показано, что применяемые для анализа элемента Холла эквивалентные схемы не всесторонне характеризуют его, так как не учитывают всех эффектов, имеющих в нем место и влияющих на результат измерений.

Предложена эквивалентная схема элемента Холла, синтезированная на основе уравнений Курта, с учетом источников дополнительных э.д.с. и искажения внешнего магнитного поля, являющихся причинами искажения э.д.с. Холла (рис.1).

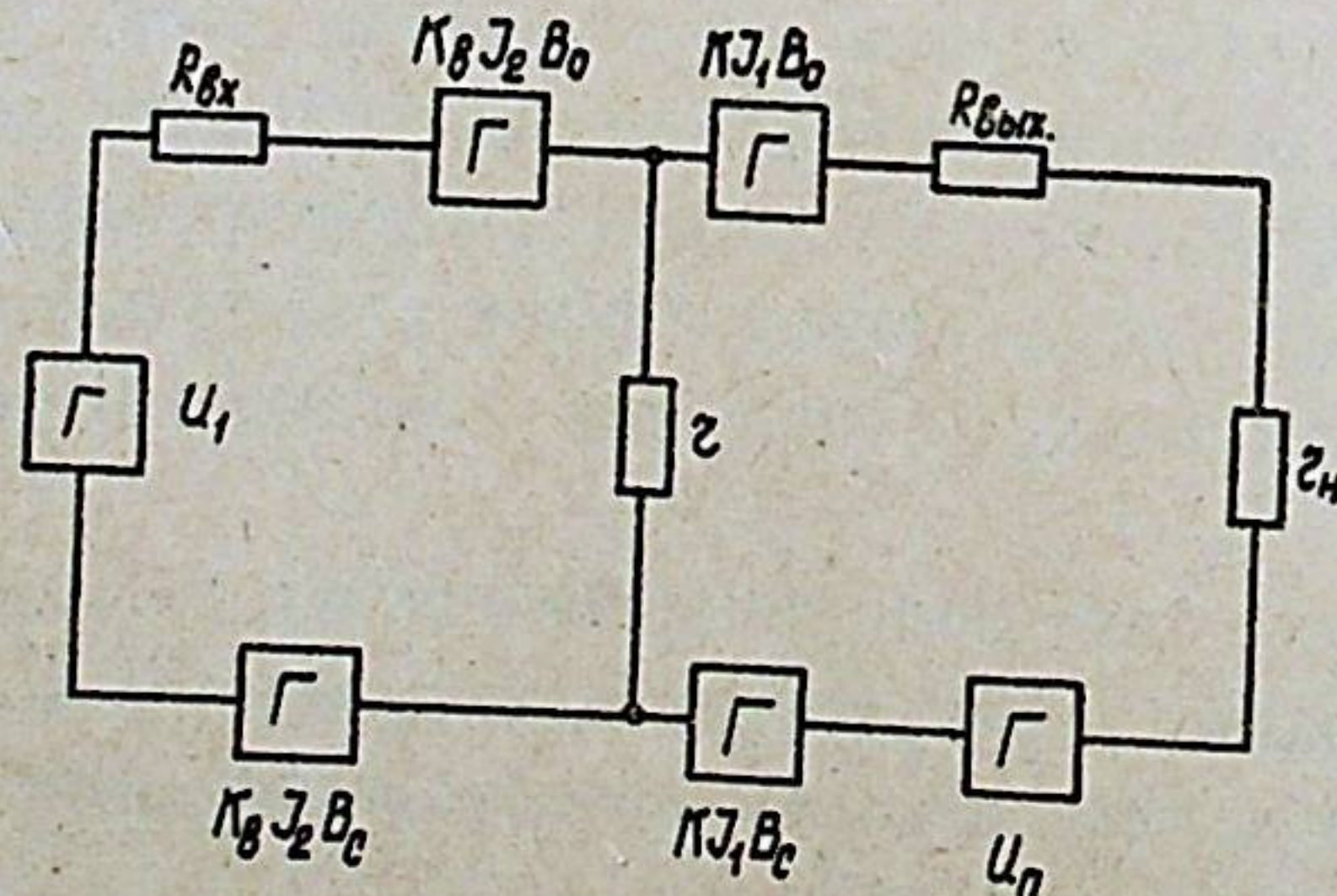


Рис.1.

В ней элемент Холла представляется четырехполюсником, описываемым следующим матричным уравнением

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{вх} - R_0 & K_B B_p + R_0 \\ K(B_p + B_c) - R_0 + K_n & R_{вых} + R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где U_1, J_1, U_2, J_2 - действующие значения входных и выходных напряжений и токов;

K - чувствительность элемента Холла;

K_B - чувствительность элемента Холла, соответствующая вторичному эффекту Холла;

B_c - индукция магнитного поля, вызываемого собственным эффектом Холла;

U_n - составляющая выходного напряжения элемента Холла, вызываемая планарным эффектом;

где $U_n = K_n J_1$

B_p - составляющая вектора магнитной индукции, перпендикулярная плоскости элемента Холла.

Источниками искажающих влияний являются:

1. Собственный эффект Холла, вызываемый взаимодействием тока элемента Холла с магнитным полем, создаваемым им самим.

2. Планарный эффект Холла, учитывающий тот факт, что элемент Холла не является идеально плоским, а имеет некоторую конечную толщину.

3. Размагничивающее действие элемента Холла, вызванное тем, что последний обладает определенной магнитной восприимчивостью и при помещении в магнитное поле, создает свое поле, искажающее внешнее как по величине, так и по направлению. Величина искажающей э.д.с., вызываемой собственным эффектом Холла, определяется не только величиной тока питания, но и соотношением его геометрических размеров

$$E_c = \frac{K M_0 J_1^2}{48} \left(2 \arctg \frac{b}{l} + \frac{2bl}{b^2 + l^2} \right) \quad (2)$$

где l — длина элемента Холла;
 b — ширина элемента Холла
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$

Планарный эффект вызывается тем обстоятельством, что элемент Холла представляет собой, по существу, параллелепипед. Поэтому при неперпендикулярности вектора магнитной индукции к рабочей поверхности элемента Холла между верхней и нижней его гранями появляется электрическое поле, искажающее траекторию носителей заряда и, следовательно, э.д.с. Холла.

Величина дополнительной э.д.с. $U_{\text{п}}$, вызываемой планарным эффектом, определяется выражением

$$U_{\text{п}} = \frac{I_1}{\sigma_0 d} \cdot \frac{\mu_0^2 B^2 [(1-A) - A\mu_0^2 B^2]}{(1 + \mu_0^2 B^2) \cdot (1 + A\mu_0^2 B^2)} \sin \theta_z \sin 2\alpha_z \dots (3)$$

где I_1 — ток питания элемента Холла;
 σ_0 — электрическая проводимость материала элемента Холла;
 μ_0 — подвижность носителей заряда;
 B — индукция магнитного поля;
 θ_z и α_z — углы, определяющие направление вектора магнитной индукции;
 A — эмпирический коэффициент, зависящий от соотношения геометрических размеров элемента Холла и изменяющийся от 0 до 1.

Размагничивающее действие элемента Холла искажает внешнее магнитное поле как по величине, так и по направлению. Результирующее магнитное поле внутри пластины зависит не только от магнитной восприимчивости материала пластины χ , но и от размагничивающего фактора N , который, в свою очередь, зависит от соотношения ее геометрических размеров.

Известно, что в однородном магнитном поле равномерно намагничиваются лишь тела, ограниченные поверхностью второго порядка, т.е. имеющие форму эллипсоида, большая ось которого совпадает по направлению с полем. При ином расположении эллипсоида составляющие размагничивающего фактора по трем осям эллипсоида определяются из выражения

$$\sum_{i=1}^3 N_i = 1 \dots (4)$$

Для нахождения размагничивающих факторов элемента Холла последний представлен в виде эллипсоида, сжатого в направлении толщины.

Вектор результирующего магнитного поля внутри элемента Холла

$$\bar{B}_0 = \bar{B} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{\cos^2 \xi_i}{(1 + N_i \chi)^2}} \cdot e^{j\Delta\xi} \dots (5)$$

Угол между векторами \bar{B} и \bar{B}_0

$$\Delta\xi = \arccos \sqrt{b_1 c_1 \cos^2 \xi_x + a_1 c_1 \cos^2 \xi_y + a_1 b_1 \cos^2 \xi_z} \dots (6)$$

где $a_i = 1 + N_x \chi$, $b_i = 1 + N_y \chi$, $c_i = 1 + N_z \chi$

ξ — угол между вектором \bar{B} и соответствующей осью эллипсоида.

Обоснован выбор материала Холла. Поскольку, в конечном счете, первичный преобразователь системы служит для измерения индукции магнитного поля, необходимо, чтобы его чувствительность не зависела от величины индукции.

Наиболее подходящим для этой цели признан InPAs . Зависимость его выходной э.д.с. от величины магнитного поля и температуры из-за большой ширины запрещенной зоны очень слабая. Поэтому при изменении направления вектора магнитной индукции чувствительность элемента Холла сохраняется практически неизменной.

Рассмотрены режимы работы элемента Холла и признан более целесообразным выбор режима заданного тока. Показано, что при этом погрешность от нелинейности значительно меньше, чем в режиме заданного напряжения.

В третьей главе рассматривается возможность определения направления объекта с помощью элементов Холла в геомагнитной системе координат. Определено минимальное число элементов Холла, достаточное для определения направления вектора магнитной индукции \bar{B} , характеризующего объект в заданной системе координат. Показано, что для однозначного

определения направления необходимо наличие трех элементов Холла, расположенных в ортогональных плоскостях. Однако, когда направление вектора совпадает с направлением вектора земного тяготения, достаточно всего двух элементов Холла.

Поскольку для определения направления объекта необходима информация об относительном расположении вектора \vec{B} и элементов Холла, то направив его вдоль местной вертикали, являющейся одной из осей триэдра геомагнитной системы координат, а элементы Холла связав с триэдром XUZ , характеризующим объект, можно определить ориентацию объекта. Поворот вектора \vec{B} в некоторое новое положение \vec{B}_g рассматривается как поворот соответствующего триэдра вокруг некоторой оси на угол конечного поворота.

Согласно теореме Эйлера-Шалю, с помощью одного конечного поворота можно осуществить совмещение двух триэдров.

При этом взаимное положение векторов определяется формулой Родрига

$$\vec{B}_g = \vec{B} + \frac{1}{1 + \frac{1}{4} \Phi_m^2} \vec{\Phi} \times (\vec{B} + \frac{1}{2} \vec{\Phi} \times \vec{B}) \quad (7)$$

где $\vec{\Phi} = 2\vec{m} \cdot \text{tg} \frac{\Phi}{2}$ - вектор конечного поворота;
 \vec{m} - единичный вектор, определяющий направление оси конечного поворота.

Положение триэдра, связанного с вектором, неопределенно, так как две другие его ортогональные оси могут занимать произвольное положение, оставаясь в плоскости, перпендикулярной вектору \vec{B} .

Данный конечный поворот можно рассматривать как последовательность конечных поворотов: $\vec{\Phi}_1$ - на угол $\Delta\alpha_z$ вокруг оси Z и $\vec{\Phi}_2$ - на угол $\Delta\theta_z$ вокруг нового положения U' оси U , возникшего после первого поворота. Таким образом, будет иметь место некоторое линейное преобразование $B_g = MB$, равное произведению двух последовательных линейных преобразований: $B'_g = M_1 B$ и $B_g = M_2 B'_g$

$$M = \begin{bmatrix} \cos \Delta\alpha_z \cos \Delta\theta_z & -\sin \Delta\alpha_z & \cos \Delta\alpha_z \sin \Delta\theta_z \\ \sin \Delta\alpha_z \cos \Delta\theta_z & \cos \Delta\alpha_z & \sin \Delta\alpha_z \sin \Delta\theta_z \\ -\sin \Delta\theta_z & 0 & \cos \Delta\theta_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

Из равенства матриц вращения, определяющих один конечный поворот, и, следовательно, равенства их следов $Sp \Phi = Sp M$ вытекает соотношение

$$\Phi = \Delta\theta = \arccos \left[\frac{(\cos \Delta\alpha_z + 1)(\cos \Delta\theta_z + 1)}{2} - 1 \right] \quad (9)$$

При наличии трех элементов Холла, расположенных в трех ортогональных плоскостях, угол конечного поворота определяется соотношением:

$$\Delta\theta = \arccos \left[\frac{1}{(K_i \gamma_i B_i)^2} \sum_{i=1}^3 E_i E_i'' \right] \quad (10)$$

где K_i - чувствительность соответствующего элемента Холла;
 γ_i - ток питания элемента Холла;
 B_i - магнитная индукция.

На практике направление вектора может быть охарактеризовано различными углами, определяющими соответствующую систему координат. В зависимости от заданной системы координат может быть применена одна из следующих схем измерительных преобразователей.

Первая схема (рис.2) предназначена для измерения пространственных углов θ_i , образуемых вектором \vec{B} с осями триэдра, характеризующего объект. При этом два элемента Холла, расположенные в ортогональных плоскостях UOZ и ZOX , определяют два конуса, осями вращения которых являются оси X и U , а углами при вершинах - измеряемые пространственные углы. Вторая схема (рис.3) предназначена для измерения углов α_x и α_y поворотов вектора \vec{B} вокруг осей X и U . Она является более подходящей для применения в системах автоматического управления

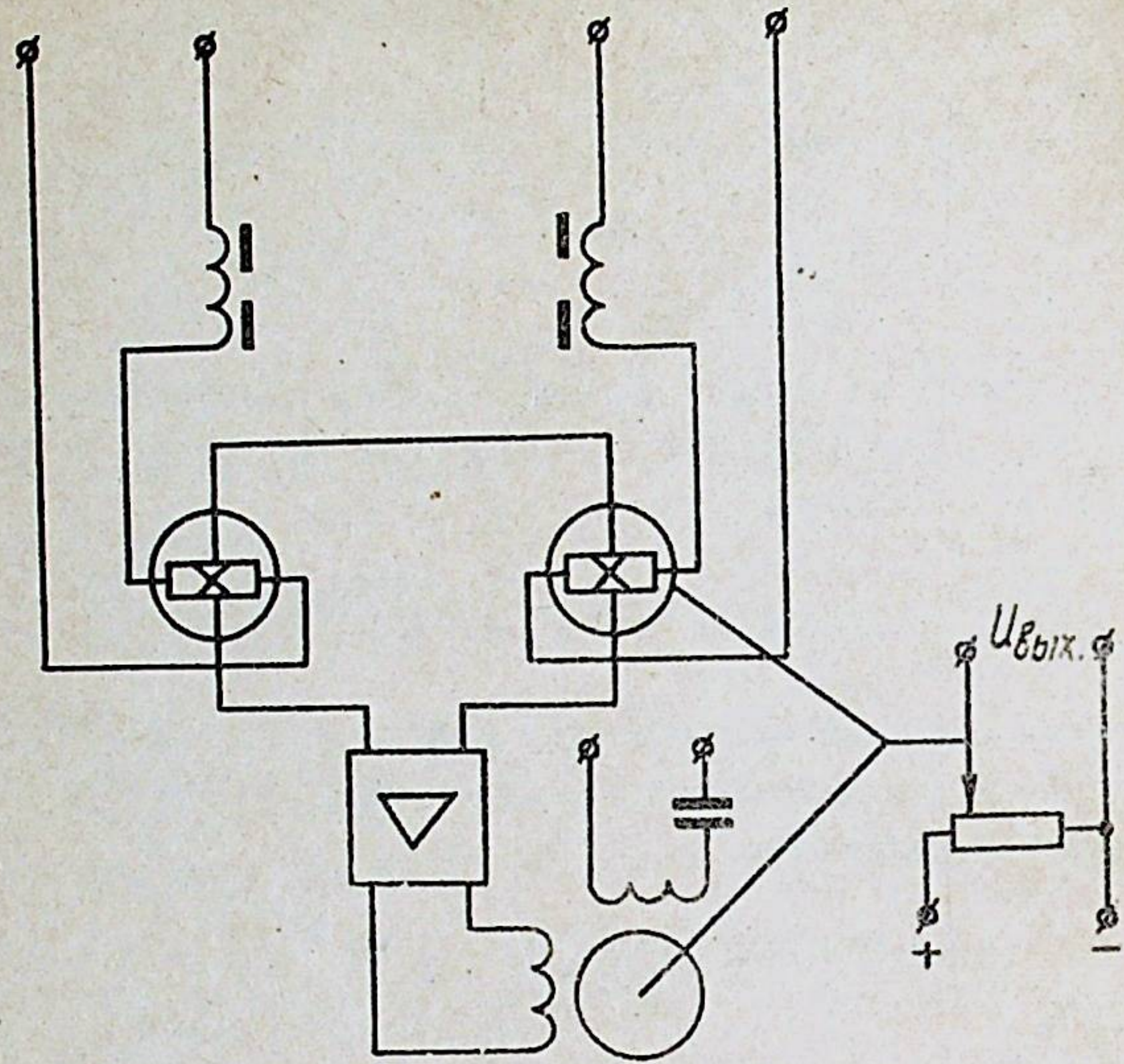


Рис. 2

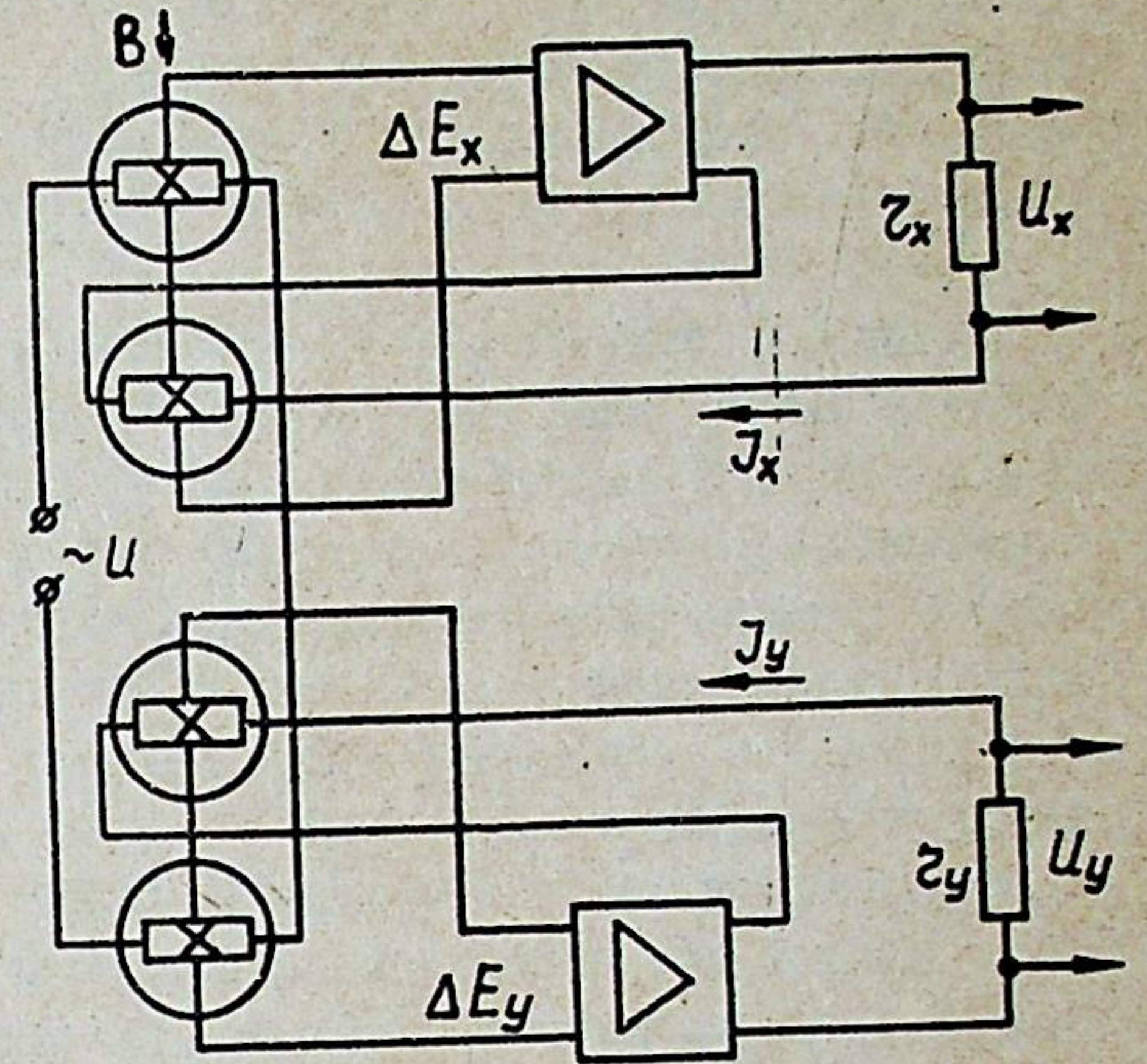


Рис. 3

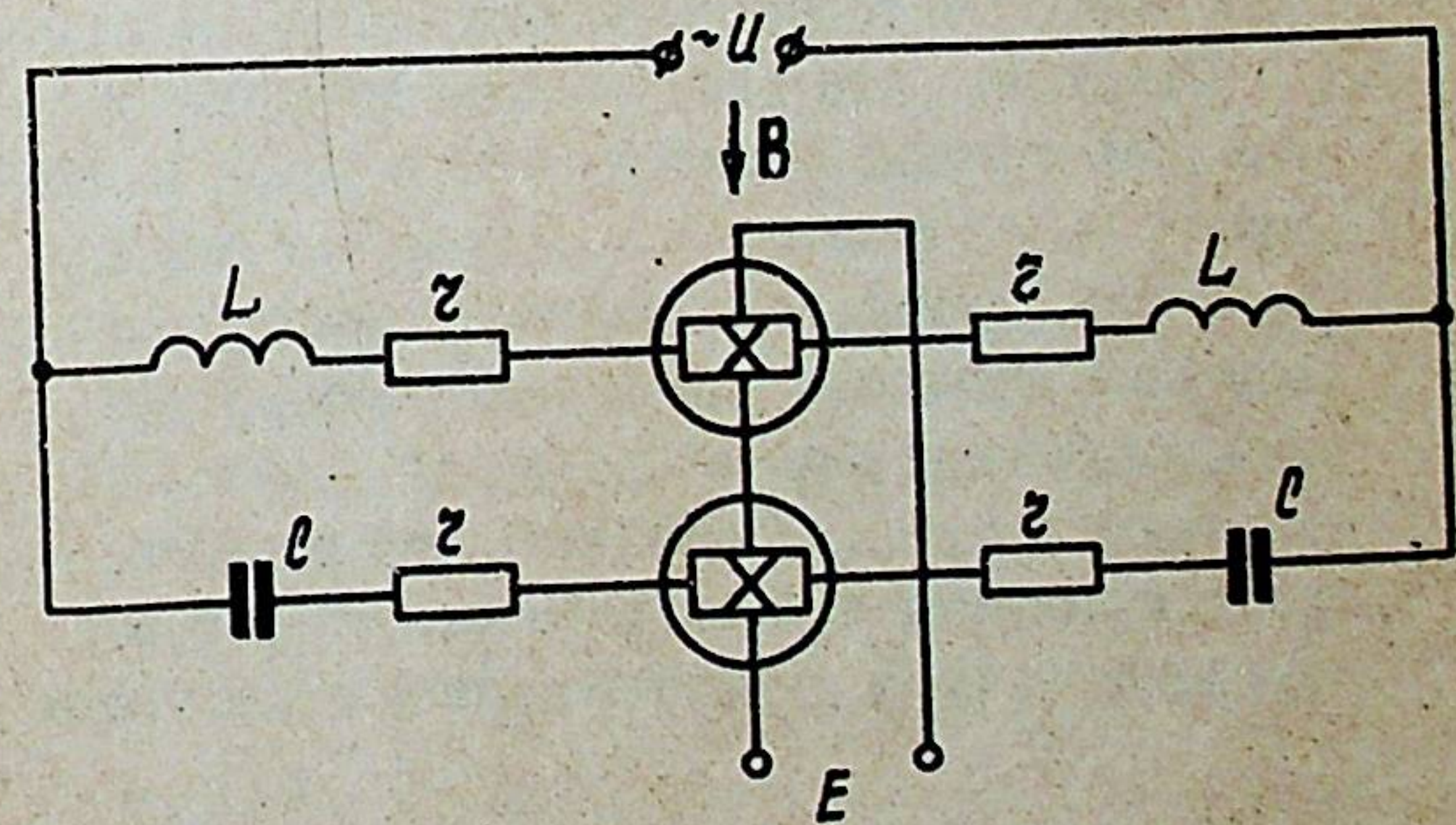


Рис. 4

и стабилизации. Для передачи показаний устройства по каналу связи удобна схема, позволяющая отображать поворот объекта вокруг двух осей координат с помощью одного выходного сигнала. При этом модуль его пропорционален отклонению оси объекта от оси Z , а фаза - повороту его вокруг оси Z (рис.4).

Таким образом, третья схема позволяет решать задачу определения направления вектора \bar{B} в сферической системе координат, получившей широкое распространение в бурении, астрономии, навигации и т.д. Поворот оси объекта в сферической системе координат представлен как последовательность двух конечных поворотов - вокруг вертикальной оси, а затем вокруг нового возникшего после первого поворота, направления одной из горизонтальных осей.

В четвертой главе исследована работа схемы преобразователя, служащей для определения направления вектора в сферической системе координат. Важнейшей характеристикой преобразователя является его коэффициент преобразования. Поскольку входная и выходная величины являются векторами, коэффициент преобразования является, в общем случае, комплексной величиной.

$$\bar{K}_0 = \frac{\bar{E}}{B_{xy}} e^{j\Delta} \quad (II)$$

где \bar{B}_{xy} - проекция вектора \bar{B} на плоскость XOY .

Отмечено, что для соблюдения однозначной линейной зависимости выходной величины от входной необходимо, чтобы модуль K_0 и фаза Δ коэффициента преобразования не зависели от входного сигнала. Воздействие различных внешних факторов приводит к нарушению этих условий и отклонению коэффициента преобразования от некоторого идеального его значения K_u . Очевидно, что это отклонение может служить критерием точности работы устройства. Погрешность устройства по модулю определится следующим выражением

$$\gamma_M = \left(\frac{K_0}{K_{0u}} - 1 \right) 100\% \quad (I2)$$

Источниками погрешностей, кроме перечисленных выше факторов, приводящих к методической погрешности, являются неточность настройки электрических параметров и конструктивные причины. Как показали исследования, методическая погрешность от влияния собственного эффекта пренебрежимо мала.

Выбором в качестве материала элемента Холла $J_n P A_s$, являющимся диамагнетиком, практически исключается погрешность и от размагничивающего влияния элемента Холла. Наиболее существенна погрешность линеаризации нелинейной зависимости преобразователя и погрешность от планарного эффекта. Первая определяется выражением

$$\gamma_A = \frac{1}{\theta_{max}(\sqrt{1-a^2} + \sin \theta_{max})} \left[\sqrt{\arcsin \sqrt{1-a^2} + 2\theta_{max} \arccos \sqrt{1-a^2} - 2\sqrt{1-a^2} \sin \theta_{max} + (1-a^2)(1-\theta_{max}^2)} - (\sqrt{1-a^2} + \sin \theta_{max}) \arccos \frac{\sqrt{1-a^2} + \sin \theta_{max}}{\arcsin \sqrt{1-a^2} + \theta_{max}} \right] \quad (I3)$$

где $a = \frac{\sin \theta_{max}}{\theta_{max}}$

Наличие планарного эффекта приводит к погрешности по модулю и фазе

$$\gamma_n = \frac{2(1-A)\mu_n B}{(1+A\mu_n^2 B^2)(1+\mu_n^2 B^2)} \cdot 100\% \quad (I4)$$

$$\Delta_n = \frac{(1-A)\mu_n B}{1+A\mu_n^2 B^2} \quad (I5)$$

Как видно из выражений (I4) и (I5) эта погрешность уменьшается с увеличением коэффициента A , который при отношении $B/\rho = 10$ приближается к единице ($A = 0,999$).

При этом

$$\gamma_n < 0,05\%$$

$$\Delta_n < 1'$$

Погрешность от неточной настройки фазосдвигающей цепочки по модулю невелика ($\gamma_n = 0,02\%$), а по фазе существенная ($\Delta_n = \delta = 1'$), где δ - угол, отличающий сдвиг токов питания фазосдвигающей цепочки схемы от $\frac{\pi}{2}$.

Из конструктивных погрешностей наиболее весомой является погрешность из-за неточности установки элементов Холла и

непараллельности полюсов магнитной системы. В диапазоне углов $\theta_2 = 20^\circ$ она может достигать величины порядка 0,2% по модулю и $10'$ по фазе. Погрешность от неэквипотенциальности с помощью специальных схем компенсации может быть снижена до пренебрежимо малой величины.

В пятой главе показаны способы расширения диапазона измеряемых углов α_x и α_y и рассмотрены вопросы повышения точности измерений. Показано, что практически наиболее удобным путем уменьшения взаимовлияния каналов является введение в каждом из них корректирующих функциональных обратных связей. Тогда выходные сигналы определяются следующими выражениями

$$U_x = \frac{K J_1 \operatorname{tg} \alpha_x}{K + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_x + \operatorname{tg}^2 \alpha_y}} \quad (16)$$

$$U_y = \frac{K J_1 \operatorname{tg} \alpha_y}{K + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_x + \operatorname{tg}^2 \alpha_y}} \quad (17)$$

Здесь J_1 — ток питания элемента Холла;

$K = K_{Bx} K_y K_B$ — коэффициент усиления системы по одному каналу.

где $K_{Bx} = \frac{1}{R'_y + R_1 + R_3}$ — коэффициент преобразования входной цепи усилителя;

R'_y — входное сопротивление усилителя;

R_1 и R_3 — выходные сопротивления элементов Холла I и 3, соответственно;

K_y — коэффициент усиления усилителя;

K — чувствительность элемента Холла.

Проведенный анализ различных вариантов схемы показал, что для усиления сигналов наиболее приемлем фотогальванометрический усилитель Ф-117.

Последний имеет низкий порог чувствительности, что позволяет улучшить разрешающую способность устройства к углу, и большой коэффициент усиления, обеспечивающий снижение погрешности от взаимосвязи каналов.

Кроме того, он помимо функции усиления выполняет также роль фильтра и модулятора, что дает возможность исключить погрешность от неэквипотенциальности без применения схем

компенсации, приводящих к потере мощности, а также погрешность от э.д.с. наводок.

Применение корректирующих обратных связей дает возможность снизить погрешность от наличия перекрестных связей между каналами. Последняя определяется выражением:

$$\delta_n = \frac{\sqrt{1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{\max}} - \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{\max}}}{K + \sqrt{1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{\max}}} \cdot 100\% \quad (18)$$

Величина основной погрешности в схеме с корректирующими обратными связями при $K = 400$ значительно меньше, чем в схеме, приведенной раньше, и не превышает 0,1%.

Приведен метод измерения углов α_x и α_y путем измерения фазы выходных сигналов. При этом диапазон измеряемых углов резко возрастает ($0 \leq \alpha < 90^\circ$).

$$E_x = \frac{K J_1 B}{\sqrt{1 + \cos^2 \alpha_x \operatorname{tg}^2 \alpha_y}} \sin(\omega t + \alpha_x) \quad (19)$$

$$E_y = \frac{K J_1 B}{\sqrt{1 + \cos^2 \alpha_y \operatorname{tg}^2 \alpha_x}} \sin(\omega t + \alpha_y) \quad (20)$$

Такой способ измерения дает возможность создания цифрового устройства для измерения углов α_x и α_y .

Дан анализ динамического режима работы устройства.

Показано, что устройство представляет двумерную систему с перекрестными прямыми связями. При этом прямая перекрестная связь от одного канала воздействует не только на звено, находящееся в прямой ветви другого канала, но и на звено обратной связи этого канала.

В связи с этим передаточная функция системы является комплексной

$$W(p) = \frac{[W_1(p) + ja(p)] W_2(p)}{1 + W_2(p) W_3(p)} \quad (21)$$

Однако в связи с тем, что перекрестные связи имеют место вне замкнутого контура, на устойчивость системы они не влияют. Передаточная функция замкнутой части системы определяется выражением

$$W_3(\rho) = \frac{K_r}{[T_1^2 T_2 \rho^3 + T_1 (T_1 + 2\beta_r T_2) \rho^2 + (2\beta_r T_1 + T_2) \rho + 1 + K_r] K B \cos \Phi} \quad (22)$$

где Φ — угол конечного поворота.

Поэтому условия устойчивости определены с помощью критерия Раунса-Гурвица.

Минимальное значение коэффициента усиления системы, при котором последняя находится на границе устойчивости, определяется выражением:

$$K_{кр} = \frac{4\beta_r^2 + 2\beta_r \left(\frac{T_2}{T_1} + \frac{T_1}{T_2} \right)}{\cos \Phi} \quad (23)$$

где

$$\cos \Phi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_x + \operatorname{tg}^2 \alpha_y}} \quad (24)$$

β_r — степень успокоения гальванометра фотогальванометрического усилителя;

T_1 — постоянная времени гальванометра;

T_2 — постоянная времени фотоблока.

Значение $K_{кр \min}$, при котором система теряет устойчивость, равна ~ 30000 . Поскольку в данной системе это условие выполняется всегда ($K = 400$), система работает устойчиво.

Приведены показатели качества переходного процесса.

Степень успокоения всей системы $\beta_c = 1,6$, частота свободных колебаний $\omega_0 = 4,2$ гц, полоса пропускания

$f_n = 8,4$ гц, время переходного процесса 7 сек.

В шестой главе приведены методика и результаты экспериментальных исследований устройства и элементов Холла. Элемент Холла исследовался как преобразователь магнитной индукции. Для увеличения чувствительности элемента Холла к магнитному полю путем создания более благоприятного теплового режима была разработана специальная методика. При этом, благодаря помещению элемента Холла в капельку кремний-органической полиметилуксановой жидкости, ток через него, а, следовательно, и его чувствительность к магнитному полю увеличивались вдвое.

Проведенный анализ показал, что наиболее приемлемыми являются элементы Холла из $\mathcal{J}_n \text{PAs}$, поскольку их чувствительность к магнитному полю практически постоянна в широком диапазоне. Для сравнения временной стабильности были проведены наблюдения за 5 образцами из $\mathcal{J}_n \text{As}$ и $\mathcal{J}_n \text{PAs}$.

С помощью специально разработанной схемы с магнитным мостиком были определены величины магнитной восприимчивости элементов Холла. Приведена конструкция экспериментальной установки для снятия характеристик устройства и дано ее описание.

Получены статические характеристики схем, служащих как для определения углов θ_z и α_z , так и углов α_x и α_y .

Результаты эксперимента подтвердили правильность полученных теоретических выводов и расчетных соотношений.

Ниже приведены основные технические характеристики устройств, служащих для определения углов в различных системах координат.

Устройство для определения углов θ_z и α_z

Диапазон измеряемых углов	- $\pm 20^\circ$
Чувствительность	- $15 \frac{\text{мкВ}}{\text{угл. минут}}$
Основные погрешности:	
по модулю	- 0,2 %
по фазе	- 10 угл. минут
Напряжение питания	- 15 в

Устройство для определения углов α_x и α_y

Диапазон измеряемых углов	- 20°
Основная погрешность каждого канала	- 0,1%
Напряжение питания	- 220 в

В результате проведенных исследований были разработаны конструкции инклинометра — устройства, служащего для определения и направления ствола пробуриваемой скважины и гировертикали.



Выводы по работе.

1. Разработана информационно-измерительная система на элементах Холла, предназначенная для определения направления объекта в заданной системе координат.

2. Предложена конструкция, лежащая в основе разработанной ИИС, которая является универсальной и приспособлена для измерений различных углов, в зависимости от назначения и условий работы объекта.

3. По сравнению с другими существующими измерительными системами ориентации созданная система является более простой, не требует создания вращающегося магнитного поля. Она производит непосредственные измерения, не нуждается в дальнейшей математической обработке полученных результатов и позволяет осуществить регистрацию в процессе измерений.

4. В качестве первичных преобразователей данной системы использованы элементы Холла. В работе дано обоснование выбора минимально возможного числа элементов Холла, достаточных для определения направления объекта в некоторой системе координат.

5. В качестве критерия точности информационно-измерительной системы выбрано отклонение коэффициента преобразования системы от некоторого идеального его значения. Проведен анализ влияния различных факторов на коэффициент преобразования и, соответственно, на величину погрешности системы.

6. Поскольку система является двумерной, то между каналами имеют место перекрестные связи, приводящие к неоднозначности измерений по каждому каналу. Для уменьшения взаимовлияния каналов предложен метод введения функциональных корректирующих обратных связей с помощью дополнительных элементов Холла. Введение корректирующих обратных связей приводит к расширению диапазона измеряемых углов и повышению точности работы системы.

7. Проведен анализ динамического режима работы. Показано, что система работает устойчиво вплоть до величины коэффициента преобразования разомкнутой системы, равной 30.000.

8. Результаты экспериментальных исследований полностью подтвердили правильность теоретически сделанных выводов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В РАБОТАХ

1. Волков И.И., Мелик-Шахназаров В.П. "Датчик ориентации". Авторское свидетельство № 294071. Бюллетень изобретений № 6 от 26.1.1971.

2. Косолапов А.М., Мелик-Шахназаров В.П. "Преобразователь угловых перемещений на элементах Холла". Авторское свидетельство № 366427. Бюллетень изобретений № 7 от 16.1-73.

3. Мелик-Шахназаров В.П., Волков И.И., Баранов А.А., Корганова О.Г. "Исследование и разработка устройства для измерения индукций постоянных магнитных полей". Измерительная техника, № 6, 1972.

4. И.И.Волков, В.П.Мелик-Шахназаров. "Ориентирующее устройство на элементах Холла". "Приборы и системы управления", № 7, 1972.

5. Мелик-Шахназаров В.П., Волков И.И. "О применении элементов Холла в преобразователях угловых перемещений с двумя степенями свободы". Сборник трудов научно-технической конференции НТО РЭС им.Я.С.Попова, 1970.

6. И.И.Волков, В.П.Мелик-Шахназаров "Фазовый метод измерения угловых перемещений объекта с двумя степенями свободы на элементах Холла". Сборник трудов научно-технической конференции НТО РЭС им.Я.С.Попова, 1971.

7. А.А.Баранов, И.И.Волков, О.Г.Корганова, В.П.Мелик-Шахназаров "Магнитометр на датчиках Холла и фотогальванометрическом усилителе". Куйбышевское ЦБТИ, технический листок, № 224 (3552), 31, 1968.

8. И.И.Волков, В.П.Мелик-Шахназаров. "Повышение точности преобразователей угловых перемещений с двумя степенями свободы движения на элементах Холла". Сборник материалов Всесоюзного симпозиума по теории преобразователей и устройств с распределенными электромагнитными параметрами. Ташкент, 1970.

9. Мелик-Шахназаров В.П., Волков И.И., Корганова О.Г., Баранов А.А. "Измерители индукций постоянных и переменных магнитных полей на элементах Холла".

Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по применению средств технической кибернетики в Энергетике и промышленности. Куйбышев, 1968.

10. В.П.Мелик-Шахназаров "Инклинометр на элементах Холла". Тезисы докладов Четвертой научно-технической конференции по применению гальваномагнитных и других полупроводниковых элементов в приборостроении". Москва, 1972.

11. В.П.Мелик-Шахназаров "Устройство для определения ориентации ствола скважины". Межвузовский сборник научных трудов по информационно-измерительной технике. Пенза, 1973.

12. А.А.Колесников, В.П.Мелик-Шахназаров, В.В.Мешеряков "Повышение чувствительности элемента Холла путем улучшения его теплового режима". Межвузовский сборник "Физика прочности, пластичности металлов и электродинамических явлений в ферритах". Куйбышев, 1972.

По теме диссертации сделаны доклады.

1. На Всесоюзном симпозиуме "Применение устройств с распределенными параметрами", г.Ташкент, 1971.

2. На Всесоюзной научно-технической конференции по применению средств технической кибернетики в энергетике и промышленности. Куйбышев, 1968.

3. На Четвертой научно-технической конференции по применению гальваномагнитных и других полупроводниковых элементов в приборостроении. Москва, 1972.

4. На научно-технической конференции НТО РЭС им.А.С.Попова. Куйбышев, 1970.

5. На научно-технической конференции НТО РЭС им.А.С.Попова, Куйбышев, 1971.

6. На научно-технической конференции НТО РЭС им.А.С.Попова. Куйбышев, 1972.

7. На научно-технической конференции КПТИ, Куйбышев, 1969.

8. На научно-технической конференции КуАн, г.Куйбышев, 1969.

9. На областной научно-технической конференции "Молодежь и технический прогресс". Куйбышев, 1972.

Е005807. Подписано в печать 28/У1 1973 г. Объем 1,25 п. л.
Формат 60x84 1/16. Тираж 250 экземпляров.

Обл. тип. им. Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60. Зак. № 6108.