

6.
A 66
Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

ВЛАДИМИРСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер В.П. МУЗЮКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

(Диссертация выполнена на русском языке)

Специальность 05.250 - Контрольно-измерительная техника

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Владимир - 1972

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

ВЛАДИМИРСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Инженер Е.П. МУЗЮКИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПЕРЕМАГНИЧЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ

(Диссертация выполнена на русском языке)

Специальность 05.250 – Контрольно-измерительная техника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

г. Владимир – 1972



УЧЕНЫЙ СОВЕТ

Владимирского политехнического института
г. Владимир, 600005, ул. Горького, дом 87, телефон секретаря
ученого совета 98-925

кому _____

Направляем Вас для ознакомления автореферат диссертационной работы тов. Музюкина В.П. на тему "Исследование источников питания для магнитных измерений при синусоидальных режимах перемагничивания ферромагнитных материалов", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Просим Вас и заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в заседании Ученого Совета, посвященном защите диссертации, или прислать свои отзывы.

Работа выполнена на кафедре "Электротехника и электрорадиоизмерения" Владимирского политехнического института в 1968-1971 гг.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Ю.Н. Маслов.

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент Г.П. Рыжков.

Будущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ, г. Ленинград).

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Е.Б. Арменский.
2. Кандидат технических наук, доцент Ю.А. Медведев.

Автореферат разослан "14" марта 1972 г.

Защита диссертации В.П. Музюкина состоится в Сенселе 1972 г. на заседании Ученого Совета Владимирского политехнического института.

О дне и времени защиты будет опубликовано в газете

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый Секретарь Совета

В.А. Елин

Одной из важнейших задач развития электротехники, автоматики и телемеханики, счетно-решающей и электроизмерительной техники, предусмотренных решениями XXIV съезда КПСС и народнохозяйственным планом, являются разработка и производство высококачественной, экономичной и надежной продукции, имеющей рабочие параметры на уровне мировых стандартов. Во всех названных областях науки и техники весьма широко используются электромагнитные устройства и их элементы, что способствует непрерывному росту производства ферромагнитных материалов. Важнейшей проблемой остается обеспечение эффективного контроля магнитных параметров, магнитных характеристик ферроматериалов и изделий из них.

Трудность определения свойств ферромагнитных материалов в динамическом режиме перемагничивания во многом обусловлена отсутствием необходимой измерительной аппаратуры, удовлетворяющей непрерывно растущим требованиям производства и исследовательских лабораторий.

Единой основой, учитывающей особенности испытаний ферромагнитных материалов в переменных магнитных полях является синусоидальный режим намагничивания. Поэтому некоторые нормативные документы на электротехнические стали, например, ГОСТ 802-53, ГОСТ 12119-66, определяющие методику испытаний ферромагнитных материалов в динамическом режиме перемагничивания, обязывают проводить испытания в синусоидальном режиме индукции или напряженности маг-

нитного поля. Это требование имеет особое значение в тех случаях, когда ферромагнитный образец испытывается в режимах, близких к насыщению, при индукциях, достигающих 90% от индукции насыщения и выше. В этих режимах форма магнитной индукции и напряженности существенно отличается от синусоидальной, что приводит к большим погрешностям при определении свойств ферроматериалов.

В настоящее время источниками питания магнитоизмерительных установок служат серийные усилители мощности, не предназначенные специально для магнитных измерений. Они не обеспечивают режим синусоидального намагничивания ферромагнитных материалов и изделий из них при испытании в режимах, близких к насыщению. Их частотный диапазон и ряд других параметров также в большинстве случаев не удовлетворяют метрологов.

Специализированные источники питания для магнитных измерений в режимах, рекомендованных ГОСТ, отсутствуют.

Поэтому, задача создания источников питания для магнитных измерений, способных обеспечить как синусоидальный режим напряженности магнитного поля, так и синусоидальный режим магнитной индукции при значениях индукций близких к насыщению в широком диапазоне частот намагничивающего тока актуальна и требует безотлагательного решения.

Для решения поставленной задачи необходимо провести анализ возможностей существующих источников питания для магнитных измерений: исследовать способы получения синусоидального режима магнитной индукции и напряженности магнитного поля в ферромагнитных сердечниках; провести аналитическое исследование намагничивающей цепи с учетом нелинейности кривой намагничивания исследуемого

сердечника для выбора оптимальных параметров источника питания, способного обеспечить синусоидальный режим перемагничивания ферромагнитного материала. Полученные рекомендации проверить и дополнить созданием и экспериментальным исследованием разработанных источников питания для магнитных измерений.

Решение указанных задач и составляет цель данной диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и приложения.

Первая глава диссертации посвящена исследованию существующих источников питания намагничивающих устройств и способов получения синусоидального режима индукции и напряженности магнитного поля.

При испытании ферромагнитных материалов в переменных магнитных полях намагничивание проверяемого образца осуществляют от электронных генераторов с усилителем мощности или без него, от электромашинных генераторов с плавной или ступенчатой регулировкой частоты и амплитуды намагничивающего напряжения и непосредственно от сети переменного тока.

Экспериментальные исследования электронных генераторов звуковых частот, используемых в качестве источников намагничивающих напряжений, показывают, что их основным недостатком является незначительная выходная мощность, обеспечивающая намагничивание до насыщения лишь образцов небольших размеров и массы.

В ряде случаев, при определении динамических характеристик ферроматериалов по первым гармоникам для получения синусоидального режима индукции в качестве источников намагничивающих напряжений

применяют электромашинные генераторы различной мощности и частоты. Однако электромашинные намагничивающие генераторы не позволяют вести испытания в широком диапазоне частот, имеют большие габариты, вес, создают электромагнитные помехи, что ограничивает область их применения.

В настоящее время для испытаний ферромагнитных материалов широкое распространение получили электронные генераторы с усилителями мощности, в качестве которых применяются серийные стойки радиотрансляционных узлов типа ТУ-600 и СМУ-250. Они используются в комплекте с установками для магнитных измерений У520, У5010, У5017, У5018, К11-5 и др., позволяющих определять магнитные характеристики в области звуковых частот в диапазоне 60 Гц - 10 кГц. Экспериментальные исследования усилителей ТУ-600 и СМУ-250 в качестве источников намагничивающих напряжений показывают, что они намагничивают ферромагнитные образцы при синусоидальных режимах магнитной индукции и напряженности магнитного поля в диапазоне обеспечиваемых ими частот при индукциях, не превышающих 70 - 75% от индукции насыщения. Более высоких значений индукции при сохранении ее синусоидальной формы или напряженности магнитного поля достичь не удается.

В первой главе исследованы также способы и устройства для получения синусоидальных режимов перемagnetивания ферромагнитных материалов. Задача по обеспечению синусоидального режима магнитной индукции решалась рядом авторов методом компенсации высших гармонических составляющих включением ряда дополнительных источников синусоидальных напряжений соответствующих частот в намагничивающую цепь. Этот метод признан нерациональным ввиду высоких тре-

бований к точности установки частоты, начальной фазы и амплитуды напряжений каждого источника.

Были попытки получать синусоидальный магнитный поток в сердечнике с помощью следящей системы, управляющей переменным сопротивлением, включенным в намагничивающую цепь последовательно с обмоткой. Способ этот проверен моделированием на аналоговых ЭВМ, по применению на практике еще не нашел.

Наиболее рациональным из известных является метод гармонической коррекции высших составляющих магнитного потока с помощью цепи внешней отрицательной обратной связи. Для успешного решения задачи компенсации высших гармоник усилитель должен обладать большим коэффициентом усиления при необходимом запасе устойчивости, что связано с определенными трудностями.

В настоящее время для обеспечения режима синусоидальной напряженности магнитного поля в ферромагнитном сердечнике в намагничивающую цепь включают большое активное сопротивление. Расходуемая на этом сопротивлении часть мощности источника питания значительна. В результате к.п.д. намагничивающего устройства очень низок.

Подводя итог проведенному выше анализу, следует отметить, что не существует специализированных источников питания для магнитных измерений, а используемые для этой цели выпускаемые серийно мощные усилители радиотрансляционных установок не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним областью магнитных измерений.

Рассмотренные способы и устройства для получения синусоидального режима магнитной индукции в областях, близких к насыщению проверяемого ферромагнитного материала, не обеспечивают работы в широком диа-

пазоне частот; большинство из них не надежны в эксплуатации.

Недостаточно разработаны методы построения устройств для получения режима синусоидальной напряженности магнитного поля при испытании ферромагнитных материалов и изделий из них в области, близкой к насыщению.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию возможности получения режимов намагничивания ферромагнитных материалов, близких к синусоидальным. В качестве отправного пункта обоснования бралось известное выражение, определяющее процесс намагничивания

$$L \frac{di}{dt} + Ri + wS \frac{dB}{dt} = e, \quad (1)$$

где B - мгновенное значение магнитной индукции в исследуемом ферромагнитном сердечнике;

i - мгновенное значение намагничивающего тока;

L - индуктивность намагничивающей цепи;

R - активное сопротивление намагничивающей цепи;

w - число витков намагничивающей обмотки;

S - сечение исследуемого сердечника.

Введя аппроксимирующую зависимость $B(i)$, выраженную с учетом динамики перемагничивания, выражение (1) приводим к структуре нелинейного дифференциального уравнения относительно переменной B , которое имеет вид

$$\alpha L \frac{d^2 B}{dt^2} + (3L\beta B^2 + L\gamma + R\alpha + wS) \frac{dB}{dt} + R\beta B^3 + R\gamma B = e, \quad (2)$$

где α, β, γ - постоянные аппроксимации, имеющие соответствующие размерности.

Для приведения (2) к интегрируемой форме введем обозначения

$$3L\gamma + 3wS = R\alpha; \quad (3)$$

$$\frac{3\beta}{\alpha} = kc; \quad \frac{L\gamma + R\alpha + wS}{\alpha L} = kd;$$

$$\frac{R\gamma}{\alpha L} = \omega_0^2; \quad \frac{e}{\alpha L} = F_m \sin \omega t, \quad (4)$$

где, в свою очередь, k - безразмерный параметр, $c, d, \omega_0, F_m, \omega$ - параметры, имеющие размерности.

$$\frac{d^2 B}{dt^2} + k(cB^2 + d) \frac{dB}{dt} + k^2 \frac{cd}{4} B^3 + \omega_0^2 B = F_m \sin \omega t \quad (5)$$

При выполнении условия

$$|kc| \ll 1 \quad (6)$$

с учетом обратного влияния на источник синусоидальной э.д.с. нелинейного элемента цепи, имеем

$$\begin{aligned} \frac{d^2 B}{dt^2} + k(cB^2 + d) \frac{dB}{dt} + \frac{k^2 c^2}{16} B^5 + k^2 \frac{cd}{4} B^3 + \omega_0^2 B = \\ = e^{-\frac{kc}{4} \int_0^t (B^2 - \frac{4h}{c}) dt} \cdot F_m \sin \omega t, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\frac{k^2 c^2}{16} B^5$ - член, имеющий второй порядок малости;

$e^{-\frac{kc}{4} \int_0^t (B^2 - \frac{4h}{c}) dt}$ - величина, которая при положительном значении константы h представляет собой безразмерный множитель, характеризующий обратное влияние нелинейного элемента цепи на источник синусоидальной э.д.с.

Уравнение (7) решается в элементарных функциях независимого переменного t относительно величины магнитной индукции B .

Решение уравнения (7) относительно величины магнитной индукции B , для установившегося процесса намагничивания, может быть представлено в виде

$$B = \frac{2\sqrt{2n\left(\frac{k^2 h^2 + \omega^2}{c \omega^2}\right)} \cos(\omega t + \theta)}{\sqrt{\frac{2k^2 n^2}{\omega^2} \cos^2(\omega t + \theta) + \frac{2kn}{\omega} \cos(\omega t + \theta) \sin(\omega t + \theta) + 1}} \quad (8)$$

где

$$\theta = \arctg \frac{k^2 n(n+a) + (\omega_0^2 - \omega^2)}{\omega(2n+a)}$$

начальная фаза процесса намагничивания.

В уравнении (8) величина

$$B_m = \sqrt{2n\left(\frac{k^2 h^2 + \omega^2}{c \omega^2}\right)} \quad (9)$$

представляет собой амплитуду установившихся колебаний магнитной индукции, а

$$A(t) = \frac{\cos(\omega t + \theta)}{\sqrt{\frac{2k^2 n^2}{\omega^2} \cos^2(\omega t + \theta) + \frac{2kn}{\omega} \cos(\omega t + \theta) \sin(\omega t + \theta) + 1}} \quad (10)$$

периодическую функцию, определяющую, насколько такого рода колебания были близки к синусоидальным или далеки от них.

Из (8) видим, что при

$$kh \ll \omega \quad (11)$$

установившиеся колебания магнитной индукции B близки к синусоидальным. Иными словами, наложение условия (11) на (8) приводит к результату

$$B = 2\sqrt{\frac{2h}{c}} \cos(\omega t + \theta). \quad (12)$$

Как показал дальнейший анализ, практическая реализация условия (11) может быть осуществлена в следующих автономных случаях: при ограниченной мощности источника э.д.с. (т.е. при $h \ll 1$); при относительно большой частоте ω намагничивания ферромагнитного сердечника и при незначительных величинах активного сопротивления R и индуктивности L самой намагничивающей цепи.

Во второй главе так же теоретически исследовалась форма напряжения источника питания, обеспечивающего синусоидальный режим индукции при произвольных параметрах намагничивающей цепи, проведено аналитическое исследование формы намагничивающего тока источника питания, обеспечивающего режим синусоидальной напряженности магнитного поля.

В результате теоретических исследований процесса намагничивания ферромагнитного сердечника показано, что принципиально возможно построение специализированных источников питания для магнитных измерений, обеспечивающих проведение испытаний ферромагнитных материалов и изделий из них в синусоидальных режимах индукции и напряженности магнитного поля, вплоть до режимов, близких к насыщению.

Третья глава посвящена исследованию и разработке устройств для создания синусоидального режима индукции и напряженности магнитного поля в ферромагнитных образцах.

Одним из основных элементов источника питания для магнитных измерений является усилитель мощности. Поэтому анализировались и исследовались различные схемы усилителей мощности с точки зрения использования их для получения синусоидального режима перемещения ферромагнитного сердечника.

Анализу подвергались лишь транзисторные усилители мощности, имеющие значительные преимущества перед ламповыми.

В результате анализа существующих усилительных устройств выбрана бестрансформаторная схема усилителя мощности и сформулированы основные требования, предъявляемые к усилителю источника питания для магнитных измерений, обеспечивающего синусоидальный режим магнитной индукции.

Установлено, что в качестве коллекторных или эмиттерных нагрузок транзисторов необходимо использовать динамические сопротивления, позволяющие увеличить коэффициент усиления усилителя, повысить его входное сопротивление и уменьшить выходное сопротивление.

Введение многопетлевых обратных связей по переменному и постоянному току стабилизирует коэффициент усиления, улучшает частотно-фазовую характеристику, устраняет влияние паразитных проводимостей транзисторов.

Применение непосредственных связей между каскадами позволяет повысить устойчивость усилителя на низких частотах и расширить диапазон усиливаемых частот.

Для выбора вида главной обратной связи проведен анализ нескольких структурных схем бестрансформаторных усилителей мощности, в результате которого сделан вывод, что в качестве усилителя мощности источника питания, обеспечивающего синусоидальный режим магнитной индукции, необходимо использовать широкополосный усилитель, охваченный последовательной обратной связью по напряжению.

Исследование существующих способов и устройств для получения синусоидального режима магнитной индукции выявило ряд их

принципиальных недостатков. В связи с этим в третьей главе предлагаются новые устройства для получения синусоидального режима перемагничивания ферромагнитного сердечника вплоть до индукций, близких к насыщению.

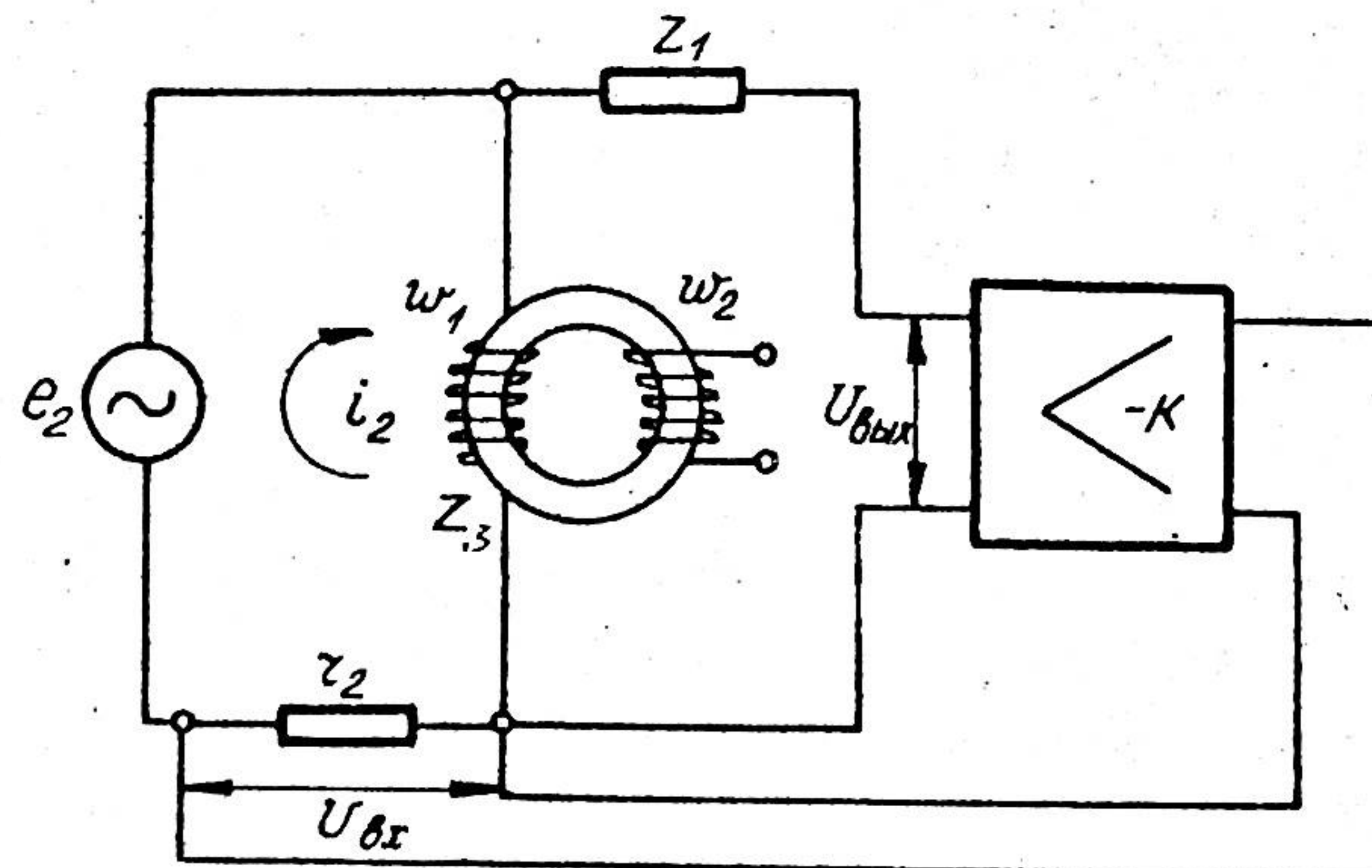


Рис. I

функциональная схема намагничивающего устройства для получения в ферромагнитном сердечнике синусоидальной формы магнитной индукции

Схема устройства, позволяющего получить в сердечнике из ферромагнитного материала магнитную индукцию синусоидальной формы, представлена на рис. I, на котором приняты следующие обозначения:

- K - коэффициент усиления усилителя;
- Z_3 - полное сопротивление намагничивающей обмотки;
- E_2 - э.д.с. источника синусоидального напряжения;
- $Z_2 \gg Z_3$ - большое активное сопротивление.

Выход усилителя включается таким образом, что падение напряжения на сопротивлении Z_2 является напряжением отрицательной об-

ратной связи. Напряжение на намагничивающей обмотке выражается в виде

$$\dot{U}_3 = \frac{K}{K-1} \dot{E}_2 + \dot{I}_1 \frac{Z_1}{K-1} \quad (13)$$

Учитывая, что выходное сопротивление усилителя можно сделать малым, то при $K \gg 1$ с достаточной для практики точностью можно считать, что

$$\dot{U}_3 = \dot{E}_2 = E_{2m} \sin \omega t \quad (14)$$

Для получения синусоидального режима индукции магнитного поля может быть использовано устройство с дополнительным ферромагнитным сердечником, служащим генератором высших гармоник, схема которого представлена на рис.2.

Указанное устройство реализовано, испытано и показало удовлетворительные результаты. Здесь же предложено устройство для получения синусоидального режима индукции, работающее по принципу компенсации третьей гармоники, устройство, позволяющее получить в ферромагнитном сердечнике синусоидальную форму напряженности магнитного поля (рис.3).

Представленное на рис.3 устройство для получения синусоидальной напряженности магнитного поля является одним из вариантов решения более общей задачи получения в нелинейном сопротивлении тока заданной формы, которая также решена автором.

Автором разработана схема электронного устройства для получения синусоидальной напряженности магнитного поля, основанная на использовании в качестве источника намагничивающего сигнала генератора тока, которым служит двухтактный транзисторный усилитель с последовательной отрицательной обратной связью по току.

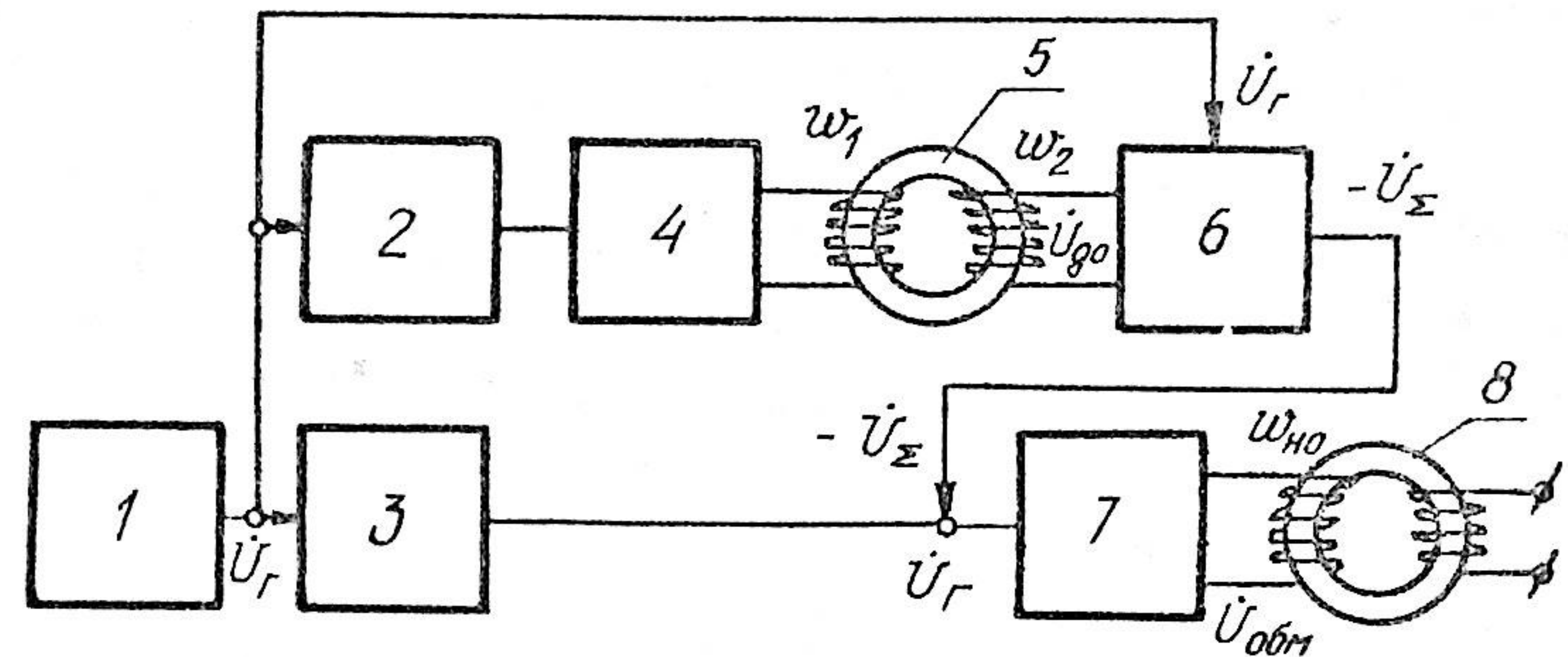


Рис.2

функциональная схема намагничивающего устройства с дополнительным ферромагнитным сердечником для получения в исследуемом образце синусоидального режима магнитной индукции

1-генератор синусоидального напряжения, 2-3 - фазовращатели, 4-вспомогательный усилитель, 5-дополнительный сердечник, 6-визитирующее устройство, 7-намагничивающий усилитель, 8-исследуемый образец.

Это позволило найти большое выходное сопротивление усилителя и малую величину коэффициента гармоник, т.е. получить практически синусоидальный намагничивающий ток в исследуемом сердечнике вплоть до индукций, близких к индукции насыщения. Таким образом, разработанные и исследованные принципиально новые схемы намагничивающих устройств источников питания для магнитных измерений обеспечивают синусоидальный режим магнитной индукции в контролируемых ферромагнитных сердечниках и способны работать в широком диапазоне

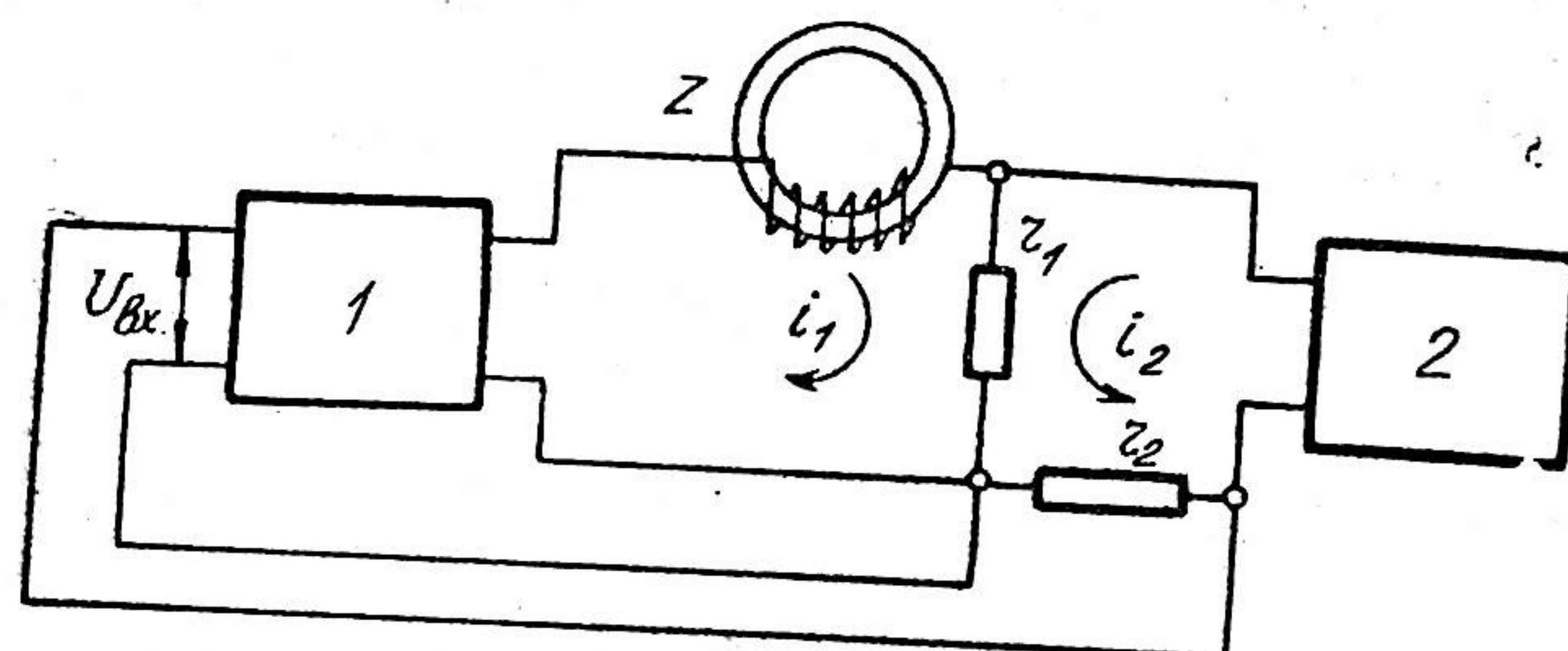


Рис.3

Схема намагничивающего устройства для получения в ферромагнитном сердечнике синусоидальной формы напряженности магнитного поля

частот вплоть до индукций, близких к насыщению (устройство на основе усилителя с обратной связью с генератором опорного напряжения, устройство с дополнительным ферромагнитным сердечником, устройство с компенсацией 3-ей гармоники); реализованы и исследованы схемы намагничивающих устройств для получения синусоидальной напряженности магнитного поля в ферромагнитных сердечниках и устройство, позволяющее получить в нелинейном сопротивлении ток заданной формы (в том числе и синусоидальный).

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям разработанных источников питания для магнитных измерений. На основе полученных теоретических положений и предложенных способов получения синусоидальной индукции и напряженности

магнитного поля были разработаны и изготовлены усилители мощности источников питания для магнитных измерений, обеспечивающие синусоидальные режимы перемagnetизации ферромагнитных материалов вплоть до высоких значений индукции (90 - 95% B_s).

Основу источника питания, обеспечивающего синусоидальный режим магнитной индукции в ферромагнитном сердечнике при его испытаниях, составляет мощный усилитель, построенный на базе бестрансформаторного двухтактного усилителя на транзисторах, обладающий весьма малым выходным сопротивлением. Малое выходное сопротивление усилителя мощности обусловлено введением глубокой отрицательной обратной связи по напряжению.

Основные параметры намагничивающей цепи, питаемой усилителем мощности источника питания для магнитных измерений в синусоидальном режиме индукции выбраны и уточнены с помощью ЭВМ. Результаты расчетов подтвердили правильность теоретических исследований.

Основу источника питания, обеспечивающего синусоидальный режим напряженности магнитного поля в ферромагнитном сердечнике, составляет мощный двухтактный транзисторный усилитель, являющийся источником намагничивающего тока. Большое выходное сопротивление усилителя, необходимое для обеспечения синусоидального выходного намагничивающего тока обусловлено тем, что транзисторы работают на горизонтальных участках коллекторных характеристик. Кроме того, для большего увеличения выходного сопротивления применена отрицательная обратная связь по току. В результате указанных мер усилитель имеет большое динамическое выходное сопротивление и малое статическое сопротивление, вследствие чего он обладает высоким к.п.д. Двухтактная схема применена для увеличения к.п.д., уменьшения

искажений намагничивающего тока и устранения подмагничивания испытуемого ферромагнитного сердечника постоянным током.

Исследовались зависимости выходной мощности и коэффициента нелинейных искажений выходного напряжения от величины сопротивления нагрузки $S_{вых} = f(R_H)$ и $K_{ни} = f(f)$ при $R_H = const$ и $U_{вх. max} = const$.

Снимались амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики при различном характере нагрузки и измерялось выходное сопротивление усилителей мощности. В результате проведенных исследований усилителей мощности источников питания для магнитных измерений, обеспечивающих как синусоидальный режим магнитной индукции, так и синусоидальный режим напряженности магнитного поля, было выявлено, что усилители обладают широким динамическим диапазоном при хорошей линейности частотной и фазовой характеристик. Усилитель источника питания для работы в синусоидальном режиме индукции имеет незначительное выходное сопротивление (порядка 0,1 Ом), а для обеспечения синусоидальной напряженности — имеет выходное сопротивление свыше 2,5 кОм, что удовлетворяет требованиям нормативных документов к источникам питания для магнитных измерений в динамических режимах перемагничивания.

С целью выяснения рабочих свойств разработанных источников питания, проводились их экспериментальные исследования при намагничивании ряда стандартных образцов тороидальной формы из магнитных сплавов.

Сределялись магнитные характеристики $B_m = f(H_m)$, $B_m = f(H)$ и $i = f(B_m)$ в синусоидальном режиме индукции и напряженности магнитного поля. Результаты исследований показали, что в режиме

синусоидального изменения магнитной индукции коэффициент нелинейных искажений последней не превышает значений 3,5 - 4% при индукциях в сердечнике до 90 - 98% от индукции насыщения на постоянном токе, при частотах 400 Гц - 5 кГц, и до 75 - 90% от B_s при частотах 10 кГц - 20 кГц. На рис.4 представлены зависимости коэффициента нелинейных искажений формы магнитной индукции от относительного значения индукции в исследуемом сердечнике при различных элементах, включаемых последовательно в намагничивающую цепь.

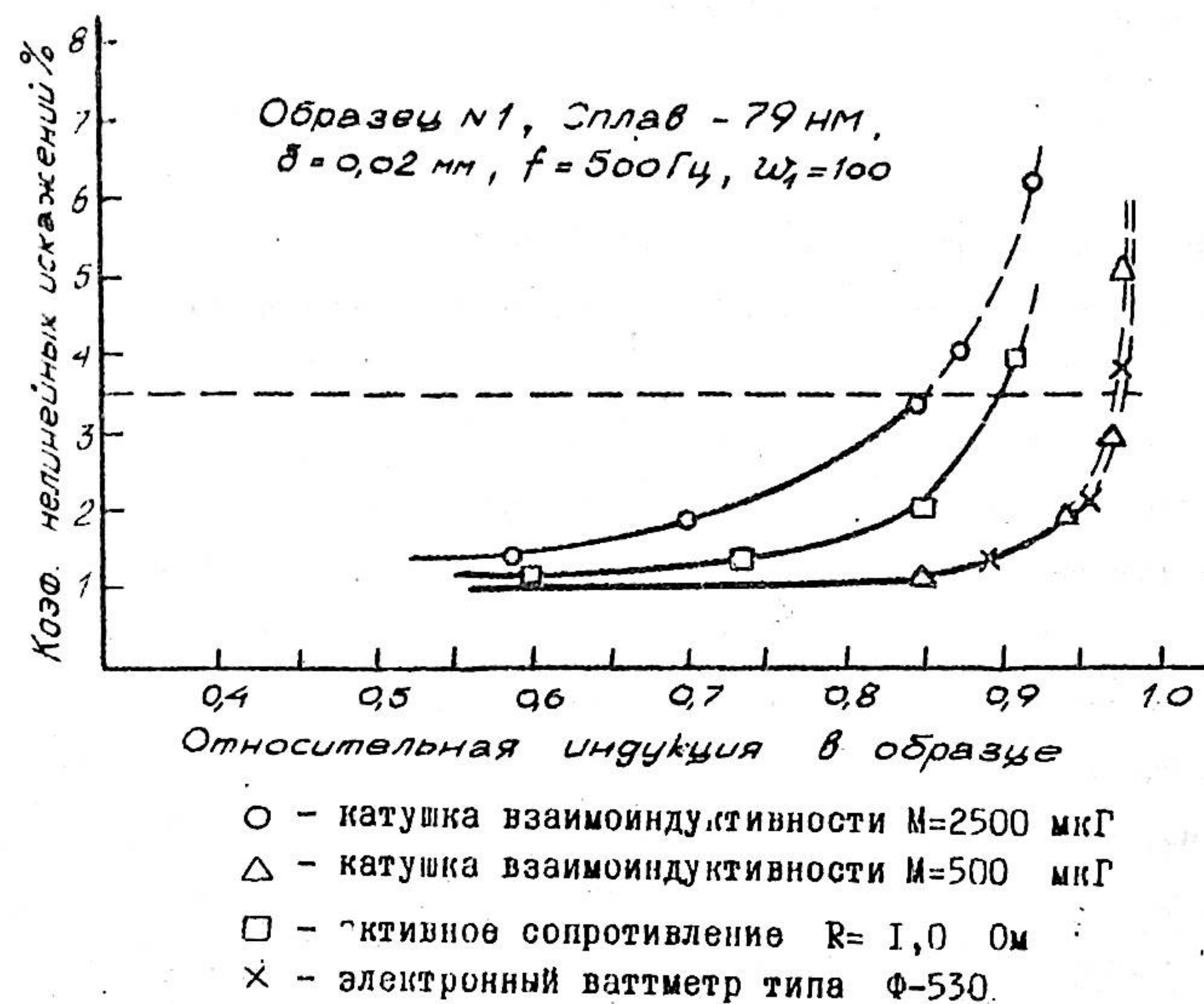


Рис.4

Зависимости коэффициента нелинейных искажений магнитной индукции в ферромагнитном сердечнике от относительного значения индукции $\frac{B_m}{B_s}$ в сердечнике

Источник питания для испытания ферромагнитных материалов в режиме синусоидальной напряженности магнитного поля обеспечивает рабочий диапазон частот намагничивающего тока 50 Гц - 20 кГц при коэффициенте нелинейных искажений формы напряженности магнитного поля, не превышающем 2 - 2,5%, и индукциях в сердечнике до 95 - 98% от индукции насыщения.

Выходная мощность разработанных и исследованных источников питания для магнитных измерений свыше 100 ВА, что позволяет намагничивать до насыщения ферромагнитные образцы принятых стандартных размеров.

В ы в о д ы

Исследования новых типов устройств для получения синусоидальных режимов перемагничивания ферромагнитных материалов, проведенные в настоящей работе, позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Анализ существующих источников питания для магнитных измерений и способов получения синусоидального режима магнитной индукции и напряженности магнитного поля в исследуемом ферромагнитном сердечнике показал, что в магнитоизмерительной технике отсутствуют специализированные источники питания для магнитных измерений, а способы получения синусоидального режима перемагничивания в широком диапазоне частот, при индукциях в образце, близких к индукциям насыщения, и устройства, их реализующие, недостаточно эффективны и сложны в осуществлении.

2. На основании результатов теоретического исследования намагничивающей цепи с учетом нелинейности кривой намагничивания ферро-

магнитного сердечника, получены рекомендации для построения специализированных источников питания для магнитных измерений, способных обеспечить как синусоидальный режим магнитной индукции, так и напряженности магнитного поля.

3. Проведенные исследования усилительных устройств источников питания для магнитных измерений позволили сформулировать основные требования, предъявляемые к усилителям мощности источников питания в синусоидальном режиме магнитной индукции, главные из которых - различного рода обратные связи и обеспечение возможно меньшего выходного сопротивления.

4. Предложены, реализованы и исследованы принципиально новые способы построения намагничивающих устройств источников питания для магнитных измерений, способных работать при индукциях, близких к насыщению как в синусоидальном режиме индукции, так и в режиме синусоидальной напряженности магнитного поля.

5. Предложена и исследована схема устройства, позволяющего получить в нелинейном сопротивлении ток заданной формы, в том числе и синусоидальный.

6. Экспериментально проверены и подтверждены результатом решения на ЭЦВМ теоретические выводы по обеспечению параметров источника питания для магнитных измерений в синусоидальном режиме индукции.

7. Экспериментальные исследования разработанных источников питания для магнитных измерений при синусоидальных режимах перемагничивания совместно с серийной магнитоизмерительной аппаратурой показали, что в этом случае значительно расширяется рабочий диапазон частот аппаратуры, повышается точность измерений магнит-

ных параметров, а также увеличивается наибольшее значение индукции и напряженности магнитного поля при сохранении их синусоидальной формы при испытании ферромагнитных материалов и сердечников из них.

3. Разработанные и экспериментально исследованные источники питания для магнитных измерений, обеспечивающие синусоидальный режим индукции и напряженности магнитного поля, приняты к эксплуатации в ЦНИИ ЧМ им. Бардина и ВНИИМ им. Менделеева.

Основные положения диссертации докладывались на:

1. Пятой научно-технической конференции Владимирского политехнического института, октябрь 1969г.

2. Межотраслевой областной научно-технической конференции НТО, г. Владимир, 1969г.

3. Всесоюзном симпозиуме по ферромагнитным материалам, г. Львов, ноябрь, 1969г.

4. Шестой научно-технической конференции Владимирского политехнического института, февраль 1970г.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Маслов Ю.Н., Музюкин В.П. Источники питания для магнитных измерений при синусоидальных режимах перемагничивания. Сб. трудов Всесоюзного научно-технического совещания "Проблемы магнитных измерений и магнитоизмерительной аппаратуры", г. Ленинград, 1972г.

2. Маслов Ю.Н., Музюкин В.П. К вопросу разработки устройств для получения синусоидальной индукции в ферромагнитных образцах, Сб. трудов ВПИ, вып. 10, г. Владимир, 1970.

3. Маслов Ю.Н., Музюкин В.П. Электронное устройство для испытания ферромагнитных образцов при синусоидальной напряженности магнитного поля. Сб. трудов ВПИ, вып. 10, г. Владимир, 1970.

4. Селезнев Ю.В., Мовенко Б.А., Музюкин В.П. Установка для создания синусоидальной индукции и напряженности в ферромагнитных образцах, Сб. трудов ВПИ, вып. 10, г. Владимир, 1970.

5. Селезнев Ю.В., Мовенко Б.А., Музюкин В.П. Устройство для формирования в исследуемом сердечнике из ферромагнитного материала синусоидально изменяющейся напряженности магнитного поля. Описание изобретения к авторскому свидетельству, кл. 21с, 12-33/12 УДК 621.317.442.

6. Музюкин В.П., Маслов Ю.Н., Селезнев Ю.В. Устройство для формирования синусоидальной индукции в ферромагнитных образцах. Описание изобретения к авторскому свидетельству, кл. 21е 33/02 УДК 621.317.44.

7. Музюкин В.П., Маслов Ю.Н. Источники питания для магнитных измерений при синусоидальной индукции и напряженности магнитного поля в режимах, близких к насыщению. Отчет по научно-исследовательской работе № 110/69, УДК 621.317.4, г. Владимир-Москва, 1969.

8. Маслов Ю.Н., Музюкин В.П., Савин В.В. Разработка и изготовление источника питания для магнитных измерений с расширенной полосой частот для магнитных измерений при синусоидальной индукции, в режимах близких к насыщению. Отчет по научно-исследовательской работе № 169/70, УДК 621.317.4 № гос. регистрации 71С 6023, г. Владимир-Москва, 1971.