



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 59290

(13) A

(51) 7 G01L1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) ІНДИКАТОР МАГНІТНОЇ АНІЗОТРОПІЇ

1

2

(21) 20021210530

(22) 24 12 2002

(24) 15 08 2003

(46) 15 08 2003, Бюл. № 8, 2003 р.

(72) Павлюк Борис Олександрович

(73) ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) 1 Індикатор магнітної анізотропії, що містить джерело сигналу, з'єднане з датчиком, виконаним із двома U-подібними магнітопроводами, установленими коаксіально і під кутом 90°, що мають дві обмотки - сигнальну і намагнічувальну, перетворювач сигналу і стрілочний показуючий прилад, який відрізняється тим, що джерело сигналу виконане у вигляді імпульсного генератора, зв'язаного з намагнічувальною обмоткою датчика, розташованою на внутрішньому магнітопроводі, а як перетворювач сигналу використаний фазоімпульсний перетворювач, один інвертуючий вхід якого зв'язаний із сигнальною обмоткою датчика, розташованою на зовнішньому магнітопроводі, через фазоімпульсний обмежник, зв'язаний з ланцюгом формування середньої точки, який об'єднує неінвертуючі входи складових частин перетворювача - масштабного підсилювача, інвертуючий вхід якого є сигнальним входом перетворювача, і компенсатора - динамічного навантаження, і другий вхід

інвертуючого перетворювача, що є опорним входом компенсатора, зв'язаний за допомогою ланцюга формування середньої точки з виходом стабілізатора напруги живлення, що об'єднує входи живлення перетворювача й імпульсного генератора через фільтр - вторинне імпульсне джерело живлення генератора, а виходи якого, що є виходами його складових частин - масштабного підсилювача і компенсатора - динамічного навантаження, зв'язані один з одним через фазоімпульсний демодулятор, до складу якого входить вузол регулювання чутливості, виходи якого зв'язані з входами стрілочного показуючого приладу

2 Індикатор магнітної анізотропії по п 1, який відрізняється тим, що імпульсний генератор додатково оснащений каскадом, виконаним на IGBT-ключі

3 Індикатор магнітної анізотропії по п 2, який відрізняється тим, що магнітопроводи датчика виконані у вигляді півкільць з нікель-марганцевих феритів

4 Індикатор магнітної анізотропії по п 2, який відрізняється тим, що ланцюг формування середньої плаваючої точки додатково оснащений джерелом стабільного струму, виконаним на польовому транзисторі з р-n переходом

Винахід відноситься до галузі вимірів параметрів фізичних величин, а саме - вимірів параметрів механічних напруг у металоконструкціях, виливках змінного металургійного устаткування й окремих видів продукції заводів чорної металургії

Відома конструкція індикатора магнітної анізотропії, призначеного для вимірів механічних напруг у виливниках, що містить систему, що намагнічує, вимірювальну систему, і зв'язаний з останньою стрілочний показник із двосторонньою шкалою, у якій система, що намагнічує, виконана у вигляді постійного магніту, із полюсами, розташованими на поверхні виробу, і вимірювальною системою,

виконаної у вигляді встановленого з можливістю повороту щодо магніту коромисла і двох установлених на його кінцях стрижневих магнітів, своїми полюсами орієнтованих до однойменних полюсів магніту (МПК G0111/2 A с 712697, БИ 1980 №4 с 138)

Відомий пристрій має невисоку точність вимірів, зв'язану з використанням постійних магнітів з обмеженою коерцитивною силою (і обумовленого цим впливу залишкової намагніченості самого виробу), високою погрешністю при вимірах біля країв виробу (зв'язаної з перекручуваннями поля намагнічування), необхідністю попередньої підготовки

(13) A

(11) 59290

(19) UA

поверхні виробу (що полягає в механічній і/чи абразивній обробці з видаленням поверхневого /напруженого/ шару металу) Недоліком фізичного принципу виміру, реалізованого в датчику пристрою, є інтегрування векторів і скалярних значень вимірюваної величини по площі магнітної системи, що складає приблизно 10000мм^2 , що в остаточному підсумку спотворює картину розподілу механічних напруг у контрольованому виробі

Відома конструкція пристрою для виміру напруг і деформацій у виробках з феромагнітного матеріалу магнітострикційним методом, що містить два електромагніти, розташованих полюсами біля поверхні виробу, що перевіряється, під кутом 90° друг до друга, обмотка, одного з яких живиться перемінним струмом, а в ланцюг іншого електромагніта включений вимірювальний прилад, що використовує джерело перемінного струму, що живить електромагніт, причому останній постачений додатковою компенсаційною обмоткою, включеною послідовно і протифазно з вимірювальною обмоткою в ланцюг вимірювального приладу

Даний пристрій не забезпечує точність і вірогідність результатів вимірів, зв'язаних із використанням метрологічного принципу перетворення фізичних величин на основі явища магнітострикції, що обмежує застосовність принципу при роботі з феромагнітними сплавами, що володіють властивостями поглинання поздовжньо-поперечних пружних хвиль (сірі чавуни, сталі, що графтуються, квазібіметалічні вироби та композитні матеріали)

Відомий пристрій, що використовує метрологічний принцип перетворення величини магнітоанізотропного гістерезису шляхом гармонійної демодуляції ВЧ-сигналу, що містить Ш-подібний датчик із двома обмотками, що підмагнічує, та сигнальною, що приводиться в обертання спеціальним високостабільним приводом, потужний генератор гармонійного (синусоїдального) струму, демодулятор і лінійний підсилювач (Див. УДК669.017Ф505 В.Н. Большаков, В.Г. Гордаш, М.А. Нищин «Магнітоанізотропний метод визначення механічних напруг» // Фізичні властивості металів і проблеми контролю, що не руйнує - Мінськ 1978, 240с, С.93-97)

У даному пристрої мається необхідність використання приводу обертання датчика, що викликає можливість безпосереднього контакту полюсних наконечників датчика з виробом, наявність неконтрольованого повітряного зазору й застосування амплітудної модуляції сигналу при роботі магнітопроводу датчика на лінійній ділянці петлі гістерезису (що обумовлює термонеустабільність каналу перетворення)

Найбільш близьким по технічній сутності і результату, що досягається, є пристрій (індикатор магнітної анізотропії, що містить генератор синусоїдального струму, датчик із двома П-подібними магнітопроводами, розташованими під кутом 90° друг до друга один усередині іншого з розташуванням сигнальної обмотки на внутрішньому магнітопроводі, лінійний підсилювач, амплітудний детектор і прилад, що показує) (Див. Большаков Л.А., Скребцов А.М., Чоповский А.Г. «Підвищення стійкості виливниць» К. Техніка, 1984, 247с.)

Використання електромагніта датчика, що на-

магнічує, у лінійній ділянці петлі гістерезису матеріалу магнітопроводу в магнітному полі гармонійного (синусоїдального) характеру, приводить до термонеустабільності датчика, необхідності використання досить потужного генератора низькочастотних (200Гц) генератора гармонійного сигналу (порядку 10-20Вт), виникненню погрешностей, зв'язаної з амплітудною неустабільністю генератора, що приводить до зниження точності пристрою в цілому, і обмеженості його використання в польових умовах, зв'язаних із необхідністю в енергоємному і високостабільному джерелі живлення. Використання лінійного підсилювача й амплітудного детектора приводить до виникнення погрешностей, зв'язаних із низькою перешкодозахищеністю при роботі в низькочастотних електромагнітних полях (від працюючого цехового устаткування) Фізичний принцип виміру, реалізований у датчику пристрою, обумовлює інтегрування векторів і скалярних значень вимірюваної величини по площі магнітної системи, конструкція датчика не забезпечує проведення «крапкових» вимірів (наприклад, в устях тріщин стілки розпаду на робочій поверхні виливниць) через велику площу полюсних наконечників (більш 12000мм^2), що приводить до виникнення погрешностей при вимірах біля країв і ребер жорсткості виробів

В основу пропонованого винаходу поставлені задачі удосконалювання індикатора магнітної анізотропії, у якому за рахунок уведення нових елементів досягається зменшення погрешності, з'являється можливість "крапкового" зондування виробів і підвищуються метрологічні властивості приладу

Поставлена задача досягається тим, що індикатор магнітної анізотропії, що містить джерело сигналу, з'єднане з датчиком, виконаним із двома U-образними магнітопроводами, установленими коаксіально і під кутом 90° , маючими дві обмотки - сигнальну і ту, що намагнічує, перетворювач сигналу і стрілочний прибор, що показує, який відрізняється тим, що джерело сигналу виконане у вигляді імпульсного генератора, зв'язаного з обмоткою датчика, що намагнічує, розташованою на внутрішньому магнітопроводі, а в якості перетворювачу сигналу використаний фазоімпульсний перетворювач, один вхід, що інвертує, якого зв'язаний із сигнальною обмоткою датчика, розташованою на зовнішньому магнітопроводі, через фазоімпульсний обмежник, зв'язаний з ланцюгом формування середньої точки, який об'єднує входи, що неінвертують, складових частин перетворювача - масштабного підсилювача, інвертуючий вхід якого є сигнальним входом перетворювача, і компенсатора - динамічного навантаження і другий вхід перетворювача, що інвертує, що є опорним входом компенсатора, зв'язаний за допомогою ланцюга формування середньої точки з виходом стабілізатора напруги живлення, що об'єднує входи живлення перетворювача й імпульсного генератора через фільтр - вторинне імпульсне джерело живлення генератора, а виходи якого, що є виходами його складових частин - масштабного підсилювача і компенсатора - динамічного навантаження, зв'язані один з одним через фазоімпульсний демодулятор, до складу якого входить вузол

регулювання чутливості, виходи якого зв'язані з входами стрілочного прибору, що показує, причому імпульсний генератор додатково постачений каскадом, виконаним на IGBT-ключі, причому магнітопроводи датчика виконані у вигляді півкільця з нікель-марганцевих феритів, причому ланцюг формування середньої точки, що плаває, додатково постачено джерелом стабільного струму, що виконаний на польовому транзисторі з р-п переходом.

Вимірювальний пристрій у комплексі з датчиком (надалі - індикатор магнітної анізотропії - ІМА) виконано на основі використання імпульсного схемотехніки і метрологічного принципу нелінійного фазоімпульсного перетворення фізичних величин і сигналів. Датчик ІМА виконаний у вигляді двох U-образних магнітопроводів, розташованих коаксіально під кутом 90° , причому магнітопровід котушки намагнічування, виконаний у вигляді пакета пермагнетитових пластин товщиною 0,1 мм, загальним перетином $2,5 \times 2,5$ мм розташований усередині магнітопроводу сигнальної котушки, виконаного з однієї пластини трансформаторної сталі товщиною 0,8-1 мм. Площа проекції полюсних наконечників магнітної системи датчика складає не більш 50 мм^2 , що дозволяє робити виміри в устях тріщин стілки розпаду на робочій поверхні виливниць, біля країв і ребер жорсткості виробів і на тонких перетинах сталевих і чавунних виливків. Конструкція датчика передбачає роботу магнітопровода котушки намагнічування в галузі ділянки насичення кривої гістерезису, що цілком виключає вплив температури магнітопровода аж до 120° , частково - вплив явища магнітострикції і магнітної проникності матеріалу контрольованого виробу. Мала індуктивність обмотки магнітопровода котушки намагнічування дозволяє використовувати імпульсний середньочастотний генератор, що працює в режимі коротких імпульсів великої амплітуди (напруги й токи) із крутими фронтами. З метою підвищення діапазону робочих температур до 400° датчик може бути виконаний на магнітопроводах із нікель-марганцевих феритів марок 2000НМ, 3000НМ, а обмотки - дротом у фторопластовій чи склоемалевій ізоляції, використовуваний епоксидно-маршалітний фіксуючий композит у цьому випадку замінюється на цезитно-цирконовий, а суцільнометалевий корпус-екран - на кварцовий. Імпульсний генератор виконаний на одноперехідному кремнієвому транзисторі, що працює в режимі регульованого пробію. Для придушення імпульсів самоіндукції негативної полярності і перемагнічування магнітопровода котушки намагнічування служить швидкодіючий імпульсний діод із малим часом розосереджування заряду й напругою насичення, при використанні високотемпературного варіанта датчика в схему генератора вводиться додатковий надвисокобістродіючий імпульсний ключ, виконаний на IGBT-транзисторі. Дані схемотехнічні рішення забезпечують амплітуду імпульсного струму в обмотці магнітопровода котушки намагнічування порядку 1,5 А для звичайного датчика і 28 А для високотемпературного, при цьому загальне споживання струму генератором від джерела живлення 24-27 В складає не більш 0,05 і 0,5 А відповідно, що досягається за рахунок використання в якості

«проміжного» імпульсного джерела живлення танталового чи тантал-ніобійового конденсатора досить великої ємності при тривалості імпульсу порядку одиниць мілісекунд. Живлення пристрою може здійснюватися від комплексу лужних повтряно-марганцевих гальванічних елементів типу 6R у польових умовах (до 1000 вимірів) чи від комбінованого джерела живлення зовнішній адаптер перемінної напруги (110 380/22 42В) - убудований випрямляч - безупинний параметричний стабілізатор (кількість вимірів не обмежена). З метою підвищення термостабільності і перешкодозахисності вимірювальний фазоімпульсний перетворювач виконаний на однокристальному зведеному малопотужному операційному підсилювачі з частотною корекцією, один канал якого використовується як масштабний підсилювач, інший - у якості термокомпенсованого динамічного двотактного високостабільного навантаження. Сигнальна обмотка датчика підключена на вхід масштабного підсилювача через обмежувальний резистор і фазоімпульсний обмежник безпосередньо на неінвертуючий вхід підсилювача і «плаваючу» штучну середню точку, яка генерується ланцюжком з бапастового резистора (із метою підвищення термостабільності може бути замінений генератором стабільного струму на кремнієвому польовому р-п транзисторі), двох стабілітронів і конденсатора. Частотна характеристика підсилювача може бути змінена за допомогою коригувального конденсатора, що додатково підвищує перешкодозахисність пристрою. Навантаженням вимірювального підсилювача служить вузол індикації, що складається з фазоімпульсного демодулятора і стрілочного мікроамперметра, (напівперемінні резистори, що переключаються використовуються для корекції приладу при переключенні режимів «сталь-чавун») і другий канал зведеного операційного підсилювача.

Сутність винаходу пояснюється кресленнями, де зображені Фіг 1 - блок - схема приладу, Фіг 2 - Принципова схема ІМА (базовий варіант), Фіг 3 - Принципова схема ІМА (високотемпературний варіант).

Генератор імпульсного сигналу 1, що одержує живлення через фільтр 2, навантажений на обмотку, що намагнічує, датчика 3. Сигнал - відгук, що знімається із сигнальної обмотки датчика 3, надходить на вхід фазоімпульсного обмежника 5, вихід, що інвертує, якого через ланцюг формування середньої точки, що плаває, 4 підключений на вхід масштабного підсилювача 6, що є складовою частиною фазоімпульсного перетворювача 10.

На вхід, що не інвертує, підсилювача подається опорна напруга з виходу ланцюга формування середньої точки, що плаває, 4, зв'язаного з опорним виходом фазоімпульсного обмежника. Опорна напруга з виходу ланцюга формування середньої точки, що плаває, 4 надходить на входи, що інвертує, і не інвертує, компенсатора - динамічного навантаження 8, який також є складовою частиною перетворювача. Виходи масштабного підсилювача і компенсатора зв'язані з входами фазоімпульсного демодулятора 7, виходи якого через вузол регулювання чутливості (позначений стрілкою) зв'язані

зані з входами стрілочного приладу, що показує, 11 Напруга живлення з виходів стабілізатора 9 подається на входи живлення активних вузлів перетворювача 10 фільтра живлення генератора 2, ланцюга формування середньої точки, що плаває, 4, масштабного підсилювача 6 і компенсатора 8 Демодулятор є пасивною складовою перетворювача і зв'язаний з виходом стабілізатора 9 тільки через виходи активних вузлів

Карта відповідності функціональних вузлів ІМА, позначених на блок - схемі (Фіг 1) позначенням компонентів принципових схем Фіг 2 і (Фіг 3) наведена нижче

- 1 Генератор імпульсного сигналу - VT1, R1, C1, R2, VD1, (VT2),
- 2 Фільтр живлення генератора - R3, C2,
- 3 Датчик магнітної анізотропії - DT,
- 4 Ланцюг формування середньої точки, що плаває - VD4, VD5, C5, {R5}, (VT3),
- 5 Фазоімпульсний обмежник - R4, VD2, VD3,
- 6 Масштабний підсилювач - DA1 1, R6, R7, C3,
- 7 Фазоімпульсний демодулятор - C4, VD6, VD7, R9, R10, K1,
- 8 Компенсатор-динамічне навантаження - DA1 2, R11, R12, R13, C6,
- 9 Стабілізатор напруги живлення - VDM, DA2, C7, R8,
- 10 Фазоімпульсний перетворювач - R5, VD4, VD5, C5, (VT3), R4, VD2, VD3, DA1 1, R6, R7, C3, C4, VD6, VD7, R9, R10, K1,
- 11 Стрілочний прилад, що показує - BA1

Пристрій працює в такий спосіб

При підключенні джерела живлення до входних клем пристрою (полярність, рід напруги (постійне, перемінне), а так само величина (від 22 до 42В) особливого значення не мають), через резистор R1 починає заряджатися конденсатор C1, при досягненні на емітері транзистора напруги пробією ділянка база1 - база2 пробивається і конденсатор 132 розряджається через струмообмежувальний резистор R2 і ділянка база1 - база2 транзистори VT1 на обмотку намагнічування датчика DT, після чого транзистор закривається, в обмотці формується прямокутний короткий імпульс струму, при наступному викиді напруги самоіндукції котушки струм самоіндукції замикається через імпульсний діод VD1, формуючи симетричний імпульс негативної полярності Конденсатор C1 знову заряджається і процес повторюється, частота проходження імпульсів 1,2кГц Між полюсними наконечниками магнітопроводу котушки намагнічування датчика формується імпульсне знакозмінне магнітне поле Якщо це магнітне поле поширюється в магнітоізотропному середовищі, на виводах "сигнальної" котушки датчика наводиться симетрична імпульсна напруга мінімальної (близької до нуля) амплітуди Якщо це магнітне поле поширюється в магнітоанізотропному середовищі, на виводах "сигнальної" котушки датчика наводиться асиметрична імпульсна напруга, розбаланс і фазове зрушення якого залежить від ступеня перекручувань, внесених напруженим металом (анізотропним середовищем) у симетрію магнітного поля датчика, фазоімпульсний обмежник служить для "відсікання" низькочастотних пе-

решкод і імпульсних наведень і "прив'язки" "умовно-нульового" рівня сигналу до опорної напруги, формований ланцюжком VT3, VD4, VD5, C5 на вході масштабного підсилювача, що інвертує, DA1 1, R6, R7, C3, у якому R6, R7 служать для установки коефіцієнта підсилення, а C3 обмежує посилення в області верхніх частот із метою "відсікання" високочастотних перешкод Посилений нормований і відфільтрований сигнал подається на вхід вузла індикації C4, VD6, VD7, BA1, R9, R10, K1, конденсатор C4 служить для "відсікання" постійної складової сигналу, викликаного погіршністю установки "умовно-нульового" рівня, фазоімпульсний демодулятор VD6, VD7 разом з ємністю C4 та індуктивністю вимрювальної голівки BA1 перетворює асиметрію амплітуди і фази сигналу в пульсуючі струми в котушці BA1, що й індикуює середньоквадратичне значення різниці їхніх амплітуд Баластові напівперемінні резистори R9, R10 служать для установки меж чутливості ІМА при переключенні режимів "сталь - чавун" Вузол динамічного навантаження DA1 2, R11, R12, R13, C6 необхідний для компенсації погіршень, викликаних неточностями самоустановки "умовно-нульового" рівня сигналу, температурним дрейфом параметрів компонентів схеми, наведеними електромагнітних полів різного походження, перешкодами по шині живлення і так далі

Приклад конкретного виконання пристрою

Дюча модель пристрою, змонтована в 1987р як базова модель (див мал 1) має такі параметри

№ Найменування показника, од вим

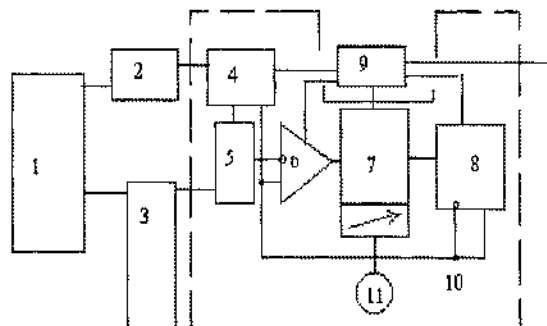
- 1 Габаритні розміри (ДхШхВ), мм
- 2 Маса (спорядженого) приладу, кг
- 3 Тривалість роботи від одного комплексу батарей, Діапазон робочих температур, °С
- 4 приладу
Датчика
Глибина "зондування", мм (частота 1,0кГц)
- 5 Сталь
Чавун
Діапазон виміру механічних напруг, МПа,
- 6 Сталь
Чавун
Відносна погрішність у діапазоні температур
- 7 корпусу приладу -10 +35°С
Датчика -10 +90°С
- 8 Площа ефективно зони зондування, мм²
- 9 Максимально припустима шорсткість поверхні виробу

Примітка відносна погрішність розрахована за методикою, описаною в "Рабинович СГ Погрішності виміру" -М Енергія, 1972, С 327 Калібрування приладу на межі діапазонів виміру зроблено на сталевих і чавунних зразках 175х25х25мм в умовах одноосового стиску на гидравлічному пресі 50т Глибина зондування оцінювалася на клиноподібних зразках (2,5-50)х75х500мм і деформованому зразку - пробі 10х10х10мм

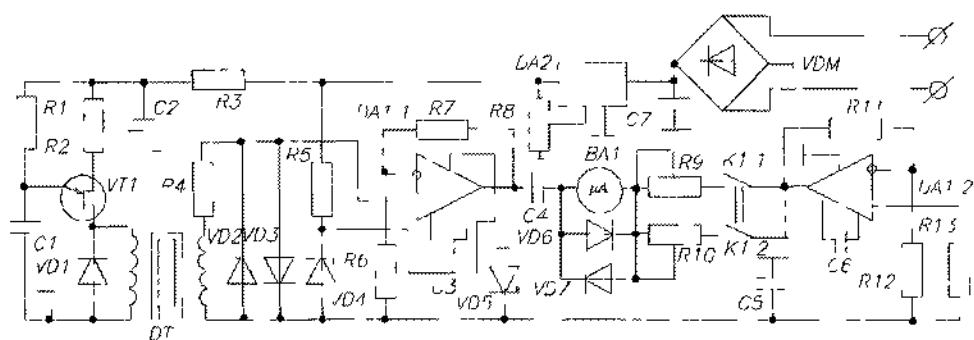
Дюча модель ІМА знаходиться в експлуатації з 1987р, 3 її допомогою зроблено більш 4000 вимірів, атестована метрополічною службою Приазовського ГТУ як нестандартизований засіб виміру, придатний для використання в навчальному процесі Перешкодозахищеність ІМА оцінювали

непрямим образом по збереженню приведених метрологічних характеристик під впливом електромагнітного поля індуктора індукційної печі ІСТ-008 при роботі на потужності 45кВт по відстані від

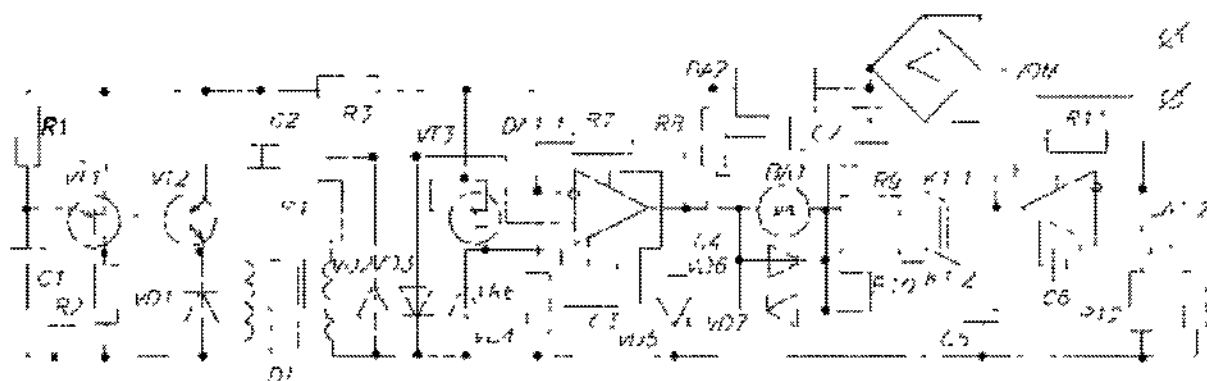
осі індуктора. На відстані 1,27м від осі індуктора значення погрешності вийшли, за заявлені межі, на відстані 0,67м від осі індуктора (160мм від витків індуктора) відбулося руйнування датчика



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

