

**Факултет „ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ЕЛЕКТРОНИКА”
Катедра „ЕЛЕКТРОНИКА”**

Пламен Борисов Данаилов

**КОНТРОЛ И ДИАГНОСТИКА В ЕЛЕКТРОМЕХАНИКАТА
ЧРЕЗ ОПТОЕЛЕКТРОННИ СЕНЗОРИ**

**АВТОРЕФЕРАТ
НА
ДИСЕРТАЦИЯ**

**за присъждане на образователната и научна степен
„ДОКТОР” по научна специалност 02.20.05 „Квантова и
оптоелектроника”**

Научен ръководител:
доц. д-р инж. Тотьо Илиев Илиев

Рецензенти:
чл. кор. дтн инж. Филип Иванов Филипов
проф. дтн инж. Иван Станчев Колев

ГАБРОВО 2013г.

Дисертационният труд е в обем 151 страници и съдържа въведение, четири глави, 96 фигури, 10 таблици и 73 формули. Цитирани са 107 литературни източника, от които 64 на кирилица, 41 на латиница и 2 интернет адреса. Номерацията на фигурите, таблиците и формулите от автореферата отговарят на тези от дисертацията.

Дисертационният труд е обсъден от катедра „Електроника“ при факултет „Електротехника и електроника“ на Технически университет – Габрово на заседание на разширен катедрен съвет проведен на 18.02.2013г.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в Технически Университет – Габрово

Защитата на дисертационния труд ще се състои на от часа в зала на Технически Университет – Габрово

КОНТРОЛ И ДИАГНОСТИКА В ЕЛЕКТРОМЕХАНИКАТА ЧРЕЗ ОПТОЕЛЕКТРОННИ СЕНЗОРИ

Автор: Пламен Борисов Данаилов

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Високотехнологичната индустрия в настоящия момент се характеризира с тенденция към създаване на "безлюдни технологии" на основата на автоматиката, робото-техниката и компютърната техника. Това съществено изменя изискванията за контрол на качеството по време на производствения процес и диагностициране на евентуални проблеми по отношение работоспособността на използваната машина. Налага се средствата за диагностика и контрол да бъдат автоматични, а информацията да се представя в цифров вид за обработка в реално време. В някои случаи е необходимо сензорите директно да включват/изключват работното място или цялата машина, както и да участват като елемент в система за автоматично управление. Възможно е в някои случаи сигналът от сензора да бъде записан, за да бъде анализиран и съхранен за сравнителен анализ. В дисертационния труд са разгледани шест основни приложения на оптико-електронните сензори за диагностика и контрол, а именно:

1. Контролиране диаметъра на кабели и изолирани проводници в кабелната промишленост и напречен размер на ленти, тръби и други екструдирани изделия.
2. Контрол диаметъра на шпилки и други серийно произвеждани детайли с кръгло сечение.
3. Контролиране наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина.
4. Оптико-електронен спирач при скъсване на нишка при рашел машина.
5. Контролиране наличието на филаментна нишка по технологията „Преномит”
6. Безконтактни оптични датчици за диагностика и контрол на вибрациите и режимите на работа на електрическите машини.

Цел и задачи на работата

Обект на дисертацията са оптическите схеми, свързващи излъчващия и приемащ прибори, както и схемотехниката, осигуряваща правилен режим на работа на излъчвателя и обработка на сигнала, получен от приемника. Изследвани са възможностите за работа в линеен режим на оптичната система приемник-предавател, както и методи за отстраняване на влиянието на фактори като дрейф на нулата, промяна в коефициента на предаване, температурни влияния и стареене на елементите.

Цел на дисертационния труд е създаването на оптоелектронен сензор от типа предавател - приемник и изследване възможността за работа на приемната му част в активен, линеен и псевдолинеен режим, съобразно различните приложения на сензора в производствени и лабораторни условия .

От анализа на известните методи и средства следва, че за постигане на тази цел трябва да бъдат решени следните основни *задачи*:

1. Създаване на оптическа връзка между излъчвател и приемник с въздушна междина с цел максимална линейна зависимост между степента на закриване на оптичния канал и светлинния поток, попадащ върху приемника.

2. Въвеждане на отрицателна обратна връзка в рамките на оптоелектронния сензор с цел поддържане на постоянен предавателен коефициент.

3. Конструирание на подходящи електронни схеми за компенсация стареенето в излъчвателя и приемника, температурните промени, адитивната и мултипликативната грешки и дрейфа на нулата.

4. Създаване на методи за електронна обработка на сигнала от приемника съобразно функционалните особености на оптоелектронния сензор.

5. Създаване на система от няколко еднакви или различни по функция оптоелектронни сензори за изследване механичните параметри на различни електромеханични обекти.

6. Създаване на методи за съхранение на получените резултати с цел по-нататъшната им обработка и оценка.

Научна новост

Разработени са гама от оптоелектронни сензори на принципа предавател – приемник (оптрон с въздушна междина), чиято приемна част работи в активен, линеен или псевдолинеен режим. Чрез подходящи оптико-механични и схемо-технически решения е осъществено пространствено-временно и временно разделяне на оптичните канали за поддържане на един и същ коефициент на предаване на сензора. За тази цел е въведена отрицателна обратна връзка използваща и обхващаща предавателната и приемна част на сензора.

Направена е оценка на разпределението на светлинния поток по интензитет и въздействието му върху фотоприемника. Създаден е оптоелектронен сензор за измерване диаметра на кабели и проводници в процеса на тяхното производство. Разработен е оптоелектронен сензор за измерване диаметра на детайли с кръгла и правилна геометрична форма.

Създадени са серия оптоелектронни сензори с приложение в текстилната промишленост за контрол наличието на нишка при три вида текстилни машини.

Приложимост и полезност

Оптоелектронния сензор за безконтактно измерване диаметъра на кабели и проводници е патентован и внедрен в кабелните заводи в Бургас и Севлиево. Оптоелектронния сензор за измерване диаметъра на детайли с кръгла и правилна геометрична форма е внедрен в завод „Електроакустика”, Монтана. Оптоелектронните сензори с приложение в текстилната промишленост са внедрени в „Текстилмаш” Габрово на два вида машини и към „Центъра по електронизация” на плетачна Рашел-машина. Разработени са оптоелектронни сензори за диагностика вибрациите на електромеханични обекти, методи за обработка и съхраняване на получената информация.

Публикации

Научните публикации свързани с дисертационния труд са 9, една от които е Авторско свидетелство, а останалите са публикувани в сборници на различни конференции в страната и чужбина. Една от публикациите е самостоятелна, в четири авторът е на първо място и една е на английски език.

Съдържание на дисертационния труд

Г Л А В А 1. Анализ на състоянието на проблема

Диаметърът е един от най-важните параметри на изолираните проводници. От него зависи дебелината на изолацията (пробивното напрежение), механичната здравина, влагоустойчивостта, теглото и други важни техни свойства. При нанасяне на пластмасовата изолация обаче, новополученият диаметър зависи от вида и температурата на изолацията и от скоростта на изтегляне на изолирания вече проводник. Поради това е наложително диаметърът да се измерва и регулира в процеса на нанасяне на изолацията.

В зависимост от изискванията към процеса на измерването (обхват, точност, скорост на измерване), се използват различни методи, носещи названието на залегналите в основата си принципи: радиотехнически, капацитивни, ултразвукови, съпротивителни, оптически, тегловни и др. Множеството от патенти, разглеждащи безконтактните измервания, показват като най-перспективни, сравнително лесни за реализация и внедряване в производствени условия оптичните методи. Разгледани са различни по принцип на действие оптоелектронни сензори, направена е оценка по отношение на точност, надеждност на показанията и др. параметри.

Един от големите проблеми в текстилната промишленост е скъсването на нишка в тъкачните и плетачни станове, което води до скъпоструващ брак. За целта са разработени датчици за спиране на стана при скъсването на нишка, работещи на различни принципи - механичен, пиезоелектричен, електромеханичен и др. В обзора са разгледани и оптоелектронни сензори, притежаващи различни предимства и недостатъци в сравнение с работещите на друг принцип.

В електромеханиката практиката е посочила, че ефективна диагностика може да се осъществи като се изследват вибрациите, възникващи на определени места по корпуса и основни възли на машината, тъй като:

1. Силите, пораждащи вибрациите, се появяват именно там, където е възникнал или се заражда дефект, свързан поначало с износване, шупла при производството на определен детайл, недостатъчна смазка и други; самата машина се проявява като добър проводник на вибрациите.

2. Вибрацията в определена точка съдържа голям обем информация, като посока, големина и честотен спектър, които при това се изменят във времето по различни периодични и непериодични закони.

3. Възможна е диагностика без разглобяване на машината и свързаните към нея изпълнителни механизми.

В обзора са показани различни методи за измерване нивото на вибрации в електрическите роторни машини в частност. Направена е оценка на различните по принцип на действие първични преобразователи, коментирани са техните предимства и недостатъци.

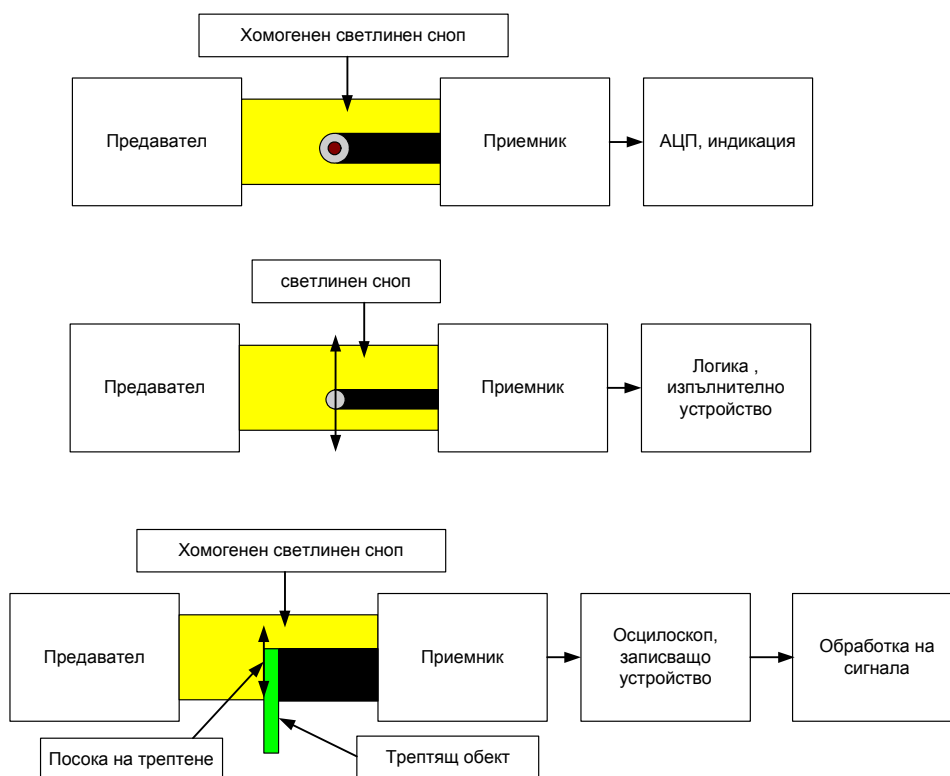
Изводи от ГЛАВА1:

1. Фотоимпулсните методи за измерване на диаметър на електромеханични обекти притежават следните предимства: методът е цифров и това позволява да се въведе т. нар. „карта на грешката” с цел намаляване нелинейността при измерване; голям динамичен обхват на измерване и ниска чувствителност към замърсяване на оптичните детайли. Недостатъците на метода са следните: сканиране по диагонал, грешка при измерване на трептящи обекти, скокообразно изменение на аналоговия сигнал получен от DAC.

2. Контактните сензори за контрол наличието на нишка са с ниско бързодействие (механичен тип) или с високо изходно съпротивление и влагонестойчиви като пиезоелектричните сензори.

3. Измерването на нивото на вибрации с безконтактен вихротоков сензор за преместване е възможно само при метални повърхности.

На тази база са формулирани целта и задачите на дисертационния труд, показани на Фиг.123.

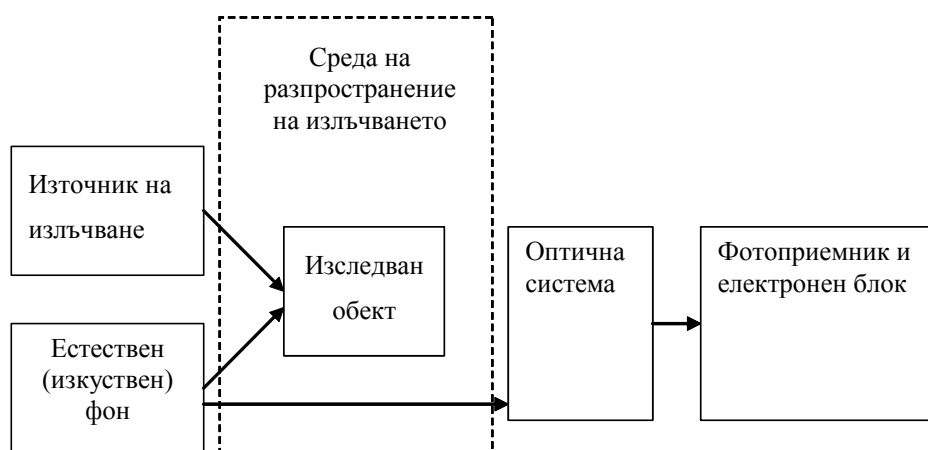


Фиг. 1.23 Към „Цел и задачи на дисертацията”

Г Л А В А 2. Методи за предаване, приемане и обработка на оптичните и електрически сигнали в оптоелектронните прибори

2.1.Обобщена схема на работа на оптоелектронния прибор (ОЕП)

Обобщената схема на един ОЕП включва в себе си източник на излъчване, оптична система, приемник на излъчването и блок за обработка на получената информация. Източникът на излъчването създава материален информационен носител – поток от светлина, оптичната система формира този поток и го насочва към приемника. Той преобразува измененията на светлинния поток в електрически сигнал, който се обработва по специфичен начин, удовлетворяващ изискванията на изпълнителна, автоматична или индикаторна система. На всеки етап в процеса на преобразуване на информацията като цел се поставя, колкото е възможно повече да се отстранят шумовете, външните смущения и случайните флуктуации, неизбежно съпътстващи полезния сигнал.

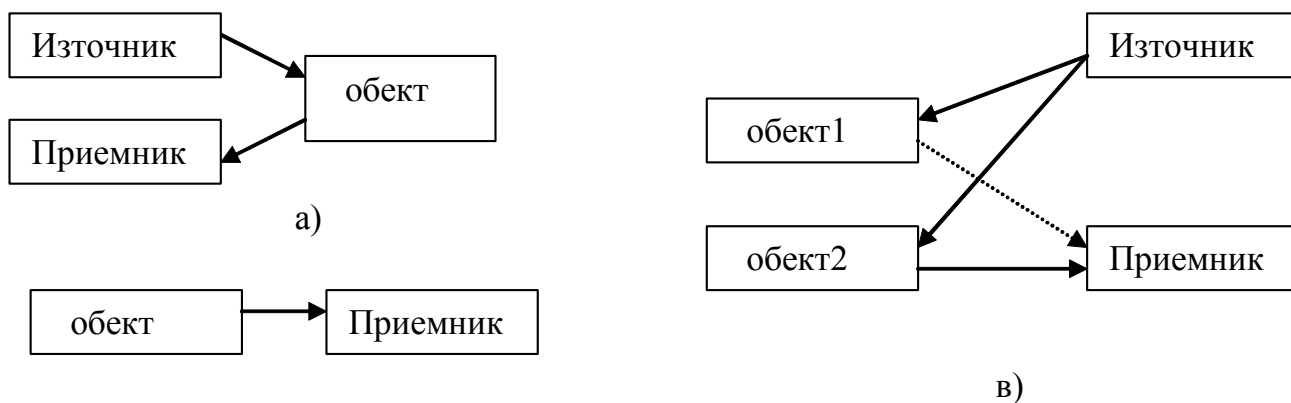


Фиг.2.1.1

На Фиг.2.1.1 е представена обобщената схема на един ОЕП, като отделните блокове могат да включват в себе си и по-сложни устройства като модулатори, превключватели, филтри, оптични системи за предаване и/или приемане на оптичното излъчване и др. ОЕП се делят най-общо казано, на три вида (Фиг.2.1.2), като на Фиг.2.1.2а е представен ОЕП от активен тип. Изследваният обект 2 се облъчва от източника 1, параметрите на който могат да бъдат управлявани, за да се постигне най-добро съгласуване между параметрите на източника, обекта на изследване, средата на разпространение на лъчението и приемната система.

ОЕП от пасивен тип (Фиг.2.1.2б) се използват, когато обектът на изследване има собствено излъчване или се откроява на фона на друго

такова. Недостатък на метода обикновено е малката мощност на собственото излъчване и оттам съответно малкото съотношение сигнал/шум и като следствие ниска точност на измерване.



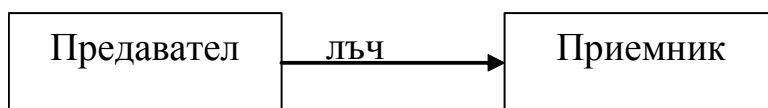
Фиг.2.1.2

Друг тип ОЕП са полуактивните (фиг.2.1.2в), при които източникът на излъчване облъчва не само изследвания обект, а и други подобни обекти и е необходимо да се отдели полезния сигнал на фона на общия сигнал. Това води обикновено до непостоянно следене на изследвания обект.

За измерване и контрол в производствени условия се предпочита използването на ОЕП от активен тип поради следните причини:

1. Постига се най-голямо съотношение сигнал/шум на фона на съпътстващите всяко производство шум, вибрации, електромагнитни смущения, замърсявания, прах и др.
2. Точността на измерване е в пряка връзка със съотношението сигнал/шум.

Една от най-често използваните оптически схеми е тази на „предавател – приемник” (Фиг.2.1.3)



Фиг.2.1.3

Предимствата на този тип оптическа схема са:

Най-високо съотношение сигнал/шум или „работна граница” (operating margin) поради директното попадение на излъчваната от предавателя светлина върху фотоприемника.

Лъчът може да се формира така, че да бъде с малко сечение, успореден и с равномерен по сечението си интензитет.

Тази оптична схема може да измерва в аналогов режим изменението в интензитета на лъча поради високата граница при непълното му закриване. След прилагането на допълнителни методи за стабилизиране абсолютната стойност на работната граница, по нейното изменение е възможно да се измерят линейните параметри на закриващия лъча обект. При движение на обекта в зоната на лъча по някакъв кинетичен закон е възможно и границата да се променя по същия начин.

Друго предимство е нечувствителността на схемата към отражения на намиращия се в зоната на лъча обект.

2.2. Енергетичен разчет на оптоелектронните сензори

Основни етапи в енергетическите пресмятания се явяват:

1. Определяне на потока $\Phi_{ex.}$, създаващ носещия полезна информация оптичен сигнал.

2. Намиране на минималното значение на $\Phi_{ex.}$ при което полезният сигнал е все още по-голям по амплитуда от вътрешните и външни шумове и смущения, т.е. намиране на праговото значение $\Phi_{п.}$.

3. Определяне на отношението сигнал/шум m съобразно необходимата точност на измерване.

4. Решаване на полученото уравнение (основно енергетично уравнение), относно един от влизащите в него параметри.

$$(2.2.1) \quad \frac{\Phi_{ex.}}{\Phi_{п.}} \geq m$$

5. Избор и разчет на останалите блокове и системи, съобразено с т.4

2.3 Намиране на праговото значение на светлинния поток и неговото разпределение по интензитет

Освен полезния сигнал, на изхода на фотоприемника се получава и хаотичен сигнал със случайна амплитуда и честота. При правилно конструиран оптикоелектронен прибор чувствителността се определя единствено от шума във фотоприемника. Основните видове шум са: топлинният шум $\bar{V}_T^2 = 4kTR\Delta f$; дробовият шум $\bar{V}_{др.}^2 = 2eI_0 R_{тов.}^2 \Delta f$; токовият шум $\bar{V}_I^2 = A_T I^2 R^2 \Delta f / f$, където k е Болцмановата константа, T е температурата на приемника, R е съпротивлението на фотоприемника, e е

заряда на електрона, I_0 е средната стойност на тока, получена от фотоприемника, Δf е честотният работен диапазон, A_T е числена константа, характерна за вида фотоприемник.

Ако съберем всички отделни видове шум (при условие, че са независими един от друг), ще получим :

$$(2.3.1) \quad \overline{V}_{ш}^2 = \overline{V}_T^2 + \overline{V}_{др.}^2 + \overline{V}_I^2$$

Прагов поток ФП се нарича този поток, който създава сигнал със средна квадратична стойност равна на шумовия сигнал:

$$(2.3.2) \quad \Phi_{II} = \frac{\sqrt{\overline{V}_{ш}^2}}{S_V} V = S_V \cdot \Phi$$

На практика ФП се определя, като се измери нивото на шума $V_{ш} = \sqrt{\overline{V}_{ш}^2}$ при светлинен поток $\Delta\Phi$ и изходен сигнал ΔV , превишаващ многократно $V_{ш}$

$$(2.3.3) \quad \Phi_{II} = \frac{V_{ш}}{\Delta V} \cdot \Delta\Phi$$

Следващата стъпка е определянето на съотношението сигнал/шум m . В някои случаи, когато е необходимо само да се установи промяна в светлинния поток, значението на m се приема да бъде в границите $m \in (5 \div 10)$, в зависимост от необходимата сигурност при работа на съответния оптоелектронен прибор.

От теорията на сигналите се знае, че когато е необходимо дадена величина (или нейното изменение) да бъде измерена с някаква точност, то

$$(2.3.4) \quad m \approx \frac{\beta_{лин}}{\overline{\sigma}},$$

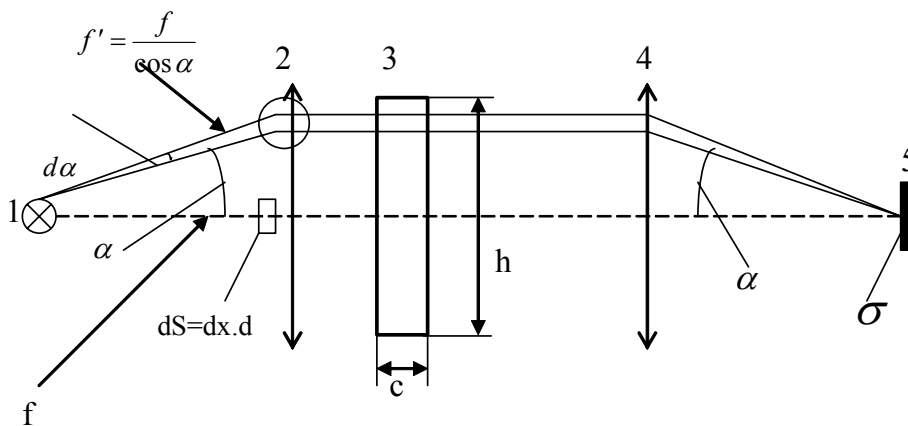
където $\overline{\sigma}$ е допустимата средна квадратична грешка при измерването, а $\beta_{лин}$ е размерът на линейната зона на статичната характеристика на измервателния прибор. Ако заместим всички получени резултати (2.2.1) в основното енергетично уравнение ще получим:

$$(2.3.5) \quad \frac{\Phi_{ex}}{\Phi_{II}} \geq m \Rightarrow \frac{\tau_{cp} \tau_0 I S_{ex}}{l^2 V_{ш}} S_U \geq \frac{\beta_{лин}}{\overline{\sigma}}$$

Ако решим (2.3.3) спрямо средната квадратична грешка, ще получим:

$$(2.3.6) \quad \bar{\sigma} \geq \frac{\beta_{\text{лин}} V_{\text{ш}} I^2}{\tau_{\text{cp}} \tau_0 I S_{\text{ex}} S_U}$$

Неравенство 2.3.6 показва, че за да повишим точността на измерване, т.е. да намалим средната квадратична грешка, трябва да намалим размерът на линейната зона, нивото на шума, да увеличим относителния отвор на оптичната система, интензитета на източника и чувствителността на фотоприемника.



Фиг. 2.3.2

Нека разгледаме оптикоелектронната схема на Фиг. 2.3.2. Тя се състои от източник на светлина 1 с пренебрежимо малки размери, който се намира във фокуса на колиматора 2, с фокусно разстояние f .

След преобразуването на светлината в успореден сноп от колиматора, той попада върху процепа 3 с размери h и c , като $c \ll f$. След това светлинният сноп, формиран от процепа, се фокусира върху фотоприемника 5 от обектива 4 със същото фокусно разстояние f .

За да намерим осветеността на фотоприемника 5, трябва да интегрираме по цялата площ на процепа 3.

$$(2.3.11)$$

$$E_0 = \int_{S=h.c} dE(\alpha) dS = \frac{1}{\sigma} \int_S d\Phi_0 \cos^4 \alpha \cdot dS = \frac{I}{\sigma} \int_{-\arctg \frac{c}{2f}}^{\arctg \frac{c}{2f}} \int_{-\arctg \frac{h}{2f}}^{\arctg \frac{h}{2f}} \cos^4 \alpha \cdot d\alpha d\beta =$$

$$= \frac{I}{\sigma} \int_{-\beta}^{\beta} d\beta \int_{-\alpha}^{\alpha} \cos^4 \alpha \cdot d\alpha = \frac{2I\beta}{\sigma} \int_{-\alpha}^{\alpha} \cos^4 \alpha \cdot d\alpha = \frac{2I\beta}{\sigma} \left(\frac{3}{8} \cdot \alpha + \frac{1}{4} \sin 2\alpha + \frac{1}{32} \sin 4\alpha \right) \Big|_{-\alpha}^{\alpha}$$

2.4.Източници на светлина в оптоелектронните прибори

В оптоелектронните сензори се използват като източници на светлина основно три типа излъчватели – светодиоди, лазерни диоди и топлинни източници на светлина. Светодиодите в различните си разновидности са удобни за управление по ток прибори, но основния им недостатък е слабият светлинен поток. Затова в повечето случаи те се използват като импулсни източници с коефициент на запълване (5-10)% и са подходящи за работа в релеен режим. Лазерните диоди са мощен по въздействието си върху фотоприемника източници, но техен недостатък се явява непостоянството в интензитета (засилено от температурна и оптична обратни връзки), без които приборът ще излезе от режим и ще се повреди. Малката разходимост на лазерния лъч го прави подходящ за изграждане на светлинни бариери и фокусирането му върху малки повърхности. Кохерентността на лъчението пречи за използването на лазерните диоди във фотометрията.

Изведени са зависимости между захранващото напрежение, светлинния поток, средното време на живот и мощността на една лампа с нажежаема жичка:

Мощността на една лампа от приложеното напрежение се определя от израза:

$$(2.4.1) \quad \frac{P}{P_{ном}} = \left[\frac{U}{U_{ном}} \right]^{\frac{2n_M}{(n_\rho + n_M)}}$$

където n_M и n_ρ са показатели, свързани с енергетическата светимост и промяната в специфичното съпротивление на волфрама. За температури на жичката на лампата $T = (2400-2900)$ К, $n_M = 5$, а $n_\rho = 1, 2$.

Ако светлинният поток на една лампа при номинално захранващо напрежение $U_{ном}$ е $\Phi_{ном}$, то при напрежение U потокът ще спадне на:

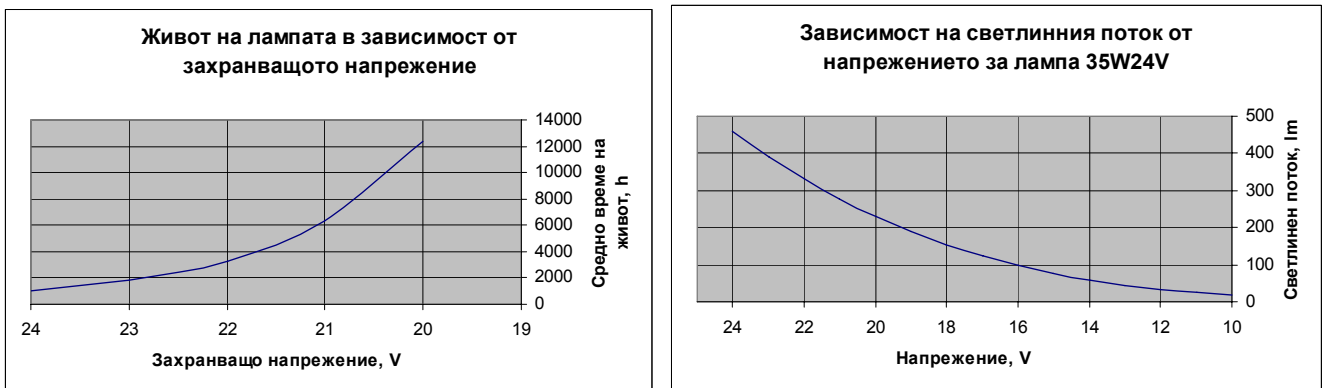
$$(2.4.2) \quad \frac{\Phi}{\Phi_{ном}} = \left[\frac{U}{U_{ном}} \right]^{\frac{2n_L}{(n_\rho + n_M)}}$$

където $n_L = 10$ е показател, свързан с яркостта на волфрама.

Времето на живот на лампата при този режим на работа се удължава, както следва:

$$(2.4.3) \quad \frac{t_{ном}}{t} = \left[\frac{U_{ном}}{U} \right]^{\frac{-2n_m}{(n_\rho + n_M)}}$$

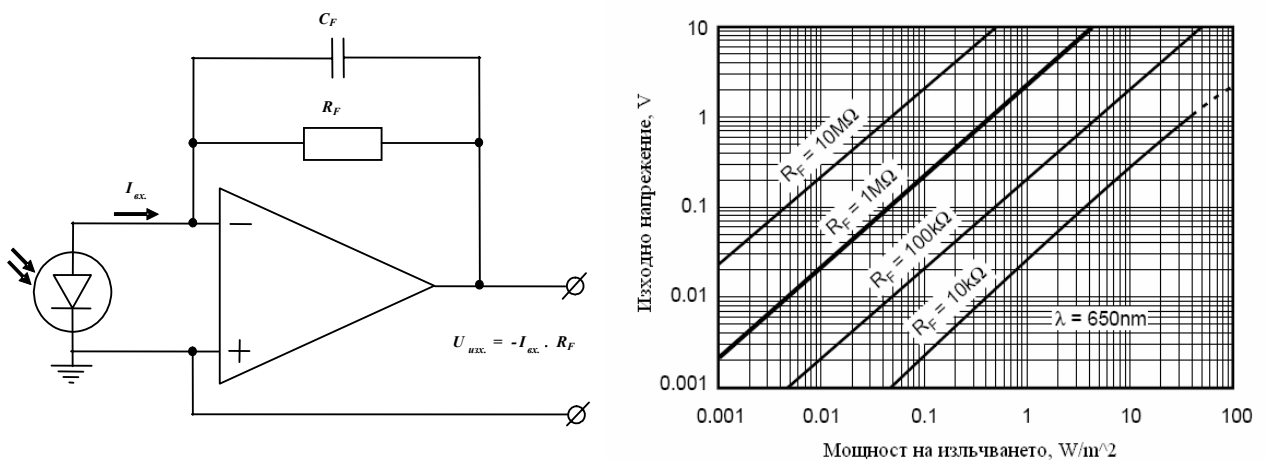
където n_m е коефициент, свързан с изпарението на волфрама. На Фиг.2.4.1 са показани графиките, получени от (2.4.2) и (2.4.3), за лампа 24V35W.



Фиг.2.4.1

2.5 Избор на фотоприемник

При избора на фоточувствителен елемент е необходимо да се отчете главната принципна особеност на измерителните системи от този тип. Това е фактът, че точността на измерването зависи в голяма степен от линейността на фотоприемника, даваща връзката между електрическата величина (напрежение, ток или съпротивление) и интензитета на светлината, попадаща върху неговата фоточувствителна повърхност. Разгледани са няколко типа фотоприемници, работещи на различни принципи. Оптимален фотоприемник в случая се оказва фотодиод с голяма площ, работещ във вентилен режим чрез преобразувател ток-напрежение(Фиг.2.5.4).

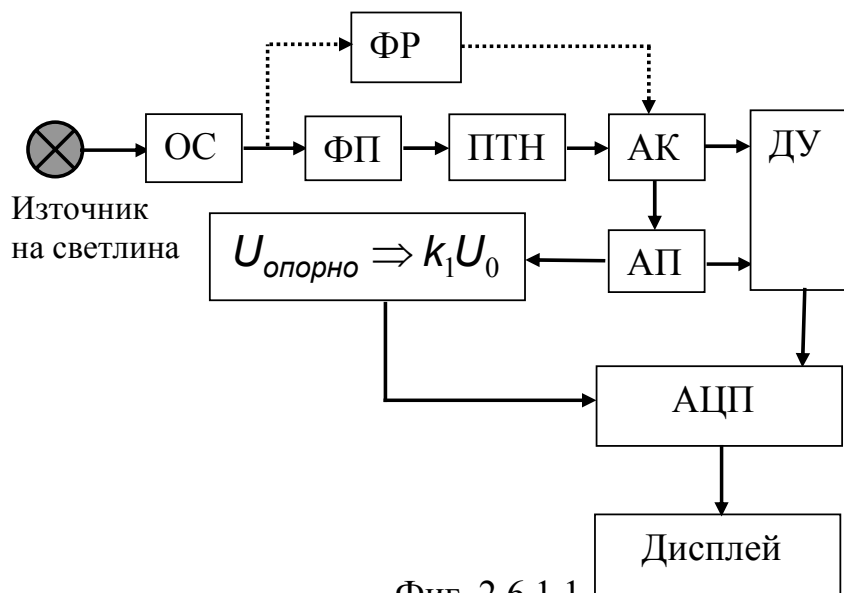


Фиг.2.5.4

2.6.1 Методи за намаляване до минимум на адитивната и мултипликативна грешки при измерването

В блоковата схема на оптичния сензор за контролиране размера на обекти по фотометричен метод (Фиг.2.6.1.1) елементите които внасят адитивна грешка, са преобразувателят ток-напрежение ПТН, оптичната система ОС и аналоговата памет АП. На схемата са показани още фотоприемникът ФП, фоторелето ФР, управляващо аналоговия комутатор АК и диференциалния усилвател ДУ. Нека означим всяка една от тях със съответния индекс и да предположим най-неблагоприятния случай за общата адитивна грешка, когато и трите имат един и същи знак:

$$(2.6.1.1) \quad \Delta x_{адив.} = \Delta x_{ПТН} + \Delta x_{ОС} + \Delta x_{АП}$$



Фиг. 2.6.1.1

Източникът на светлина с интензитет I_0 и ОС формират светлинен поток Φ_0 , създаващ осветеност E_0 върху ФП. Генерираният при това фототок i_0 се преобразува от ПТН в напрежението U_0 . ФР, посредством АК, подава напрежението U_0 на АП. При поставянето на някакъв елемент в зоната на измерване, който поглъща част от Φ_0 , ФР превключва изхода на ПТН към ДУ. От променения светлинен поток Φ_1 получаваме напрежението U_1 , като $U_1 < U_0$. Записано аналитично:

$$(2.6.1.2) \quad U_0 = -i_0 \cdot R + \Delta x_{адит.} \quad \text{и}$$

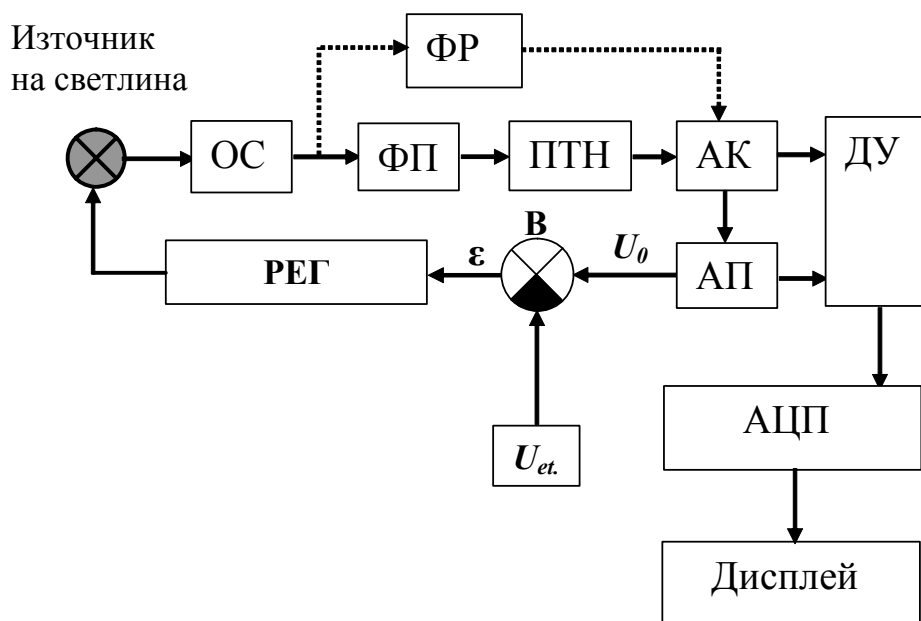
$$(2.6.1.3) \quad U_1 = -i_1 \cdot R + \Delta x_{адит.} - \Delta x_{АП}$$

На изхода на ДУ се получава разликата :

$$(2.6.1.4) \quad U_0 - U_1 = R \left(i_0 - i_1 - \frac{\Delta x_{АП}}{R} \right) \approx R \cdot (i_0 - i_1)$$

Виждаме, че адитивната грешка с източници ОС (странично осветяване) и ПТН (токовете на несиметрия във входните вериги) са се явили синфазен сигнал за ДУ и са в голяма степен подтиснати. Като диференциален се явява само несиметрията от АП, но повторителите имат много малко напрежение на несиметрия, поради 100%-ната отрицателна обратна връзка по напрежение.

За намаляване до минимум на мултипликативната грешка може да се използва следният метод. Тъй като на изхода на АП напрежението U_0 се променя, макар и бавно в зависимост от външните условия, то може да бъде стабилизирано чрез сравняване с еталонното напрежение $U_{et.}$. На Фиг. 2.6.1.2 е дадена видоизменената схема от Фиг. 2.6.1.1, реализираща този метод. Посредством възела за сравнение В се формира сигнал на грешката ϵ , който управлява чрез регулатора РЕГ източника на светлина, така че напрежението U_0 да се различава минимално от еталонното напрежение $U_{et.}$. По този начин коефициентът на предаване се стабилизира без значение на причините които пораждат тази промяна.



Фиг. 2.6.1.2

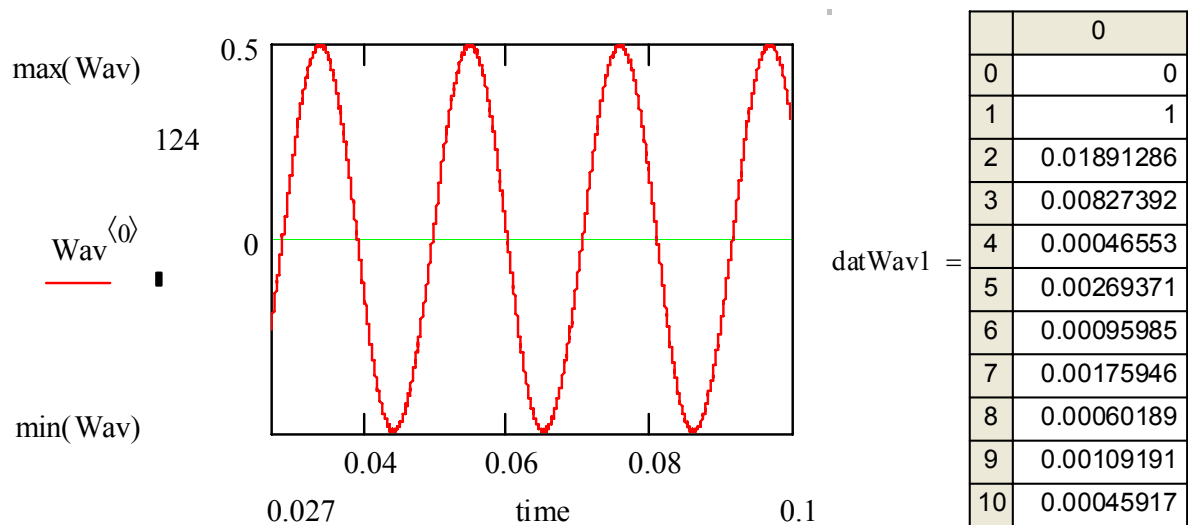
2.6.2 Метод за запис и изследване спектралния състав на сигнал, получен от фотоприемника на оптичен сензор при измерване вибрациите на електрически машини

Диагностиката по ниво и спектрален състав на вибрациите при експлоатацията на електрическите машини е важен елемент в тяхната поддръжка. Сравнително лесното поставяне и безконтактността в повечето случаи прави оптичния сензор подходящ за по-чести проверки на поддържаното оборудване. Това налага създаването на база данни,

включващи времето и мястото за измерване на вибрациите на конкретна електрическа машина, както и съхраняването на информацията в удобен за понататъшни изследвания вид.

В последните версии на компютърната програма Mathcad е въведена опцията за четене на файлове с разширение .wav , което дава широки възможности за запис и обработка на вибрационни сигнали.

Създаден е метод за предварителна обработка на вибрационните сигнали улесняващ тяхната последваща обработка и съхранение на получената информация.



Фиг. 3.8.4

На Фиг. 3.8.4 е показан експеримент по описаната методика със записан синусоиден сигнал и неговите хармонични.

От проведените експерименти могат да се обобщят следните резултати:

1. По гореописания метод могат да се обработват сигнали от различни видове датчици, даващи изходно напрежение и честота, подобни по параметри на звуковите сигнали.

2. Записаната по този начин информация може да се възпроизвежда неколкостранно, ако се наложи.

3. Спектралното изследване може да обхване не само един период, а и повече с цел изследване обвивката на сигнала и търсене на суб-честоти.

4. Сигнала се запазва за неограничено време и е възможно да бъде изследван и чрез класически спектрален анализатор.

2.6.3 Критерий за определяне работоспособността на електрически машини, изследвани с помощта на оптоелектронни сензори

Разглежда се метод, чрез който би могла да се определи работоспособността на асинхронни електрически машини посредством параметрите на виброакустичен сигнал. Получаването на сигналите от електрическата машина се осъществява от оптоелектронни сензори.

На виброакустическа диагностика могат да бъдат подложени всички технически обекти, чиято работа се съпровожда с възбуждането на колебателни процеси. Всяко отклонение от нормалното им функциониране води до изменение на характера на взаимодействие между техните елементи и от там до промяна на съпровождащите го виброакустични процеси. Съвкупността от техническите параметри на обекта,

$$(2.6.3.1) \quad Z = \{z_1^{(t)}, z_2^{(t)}, \dots, z_m^{(t)}\}$$

характеризиращи възможното отклонение при функционирането на обекта от нормалното, определя състоянието му $W(t)$ в момента t . То може да бъде разделено на две подмножества W' и W'' . Подмножеството W' включва в себе си работоспособните състояния, позволяващи на обекта да изпълнява възложените му функции.

Подмножеството W'' включва в себе си състоянията, съответстващи на възникването в обекта на неизправности, водещи до загубата на работоспособност. Мощността на подмножеството W'' се определя от количеството неизправности, възможни за откриване.

Установяването принадлежността на обекта към едно от подмножествата W' или W'' се нарича установяване на работоспособност.

Функциониращият механизъм би могъл да се разглежда като преобразовател A на параметрите на неговото техническо състояние z_i в параметри на виброакустическия сигнал u_j т.е.

$$(2.6.3.2) \quad U = AZ$$

където $U = \{u_1^{(t)}, u_2^{(t)}, \dots, u_n^{(t)}\}$ е векторът на признаците на техническото състояние в n - мерното евклидово пространство. В такъв случай е необходимо да се намери обратната зависимост

$$(2.6.3.3) \quad Z = A^{-1} U$$

където A^{-1} е оператор, обратен на A , когато на основата на данните за виброакустическия сигнал трябва да се направи заключение за техническото състояние на обекта.

Разстоянието d_{ij} може да бъде изчислено по няколко методики, като една от най-употребяваната е:

разстояние по Хемминг

$$(2.6.3.8) \quad d_{ij} = \sum_{k=1}^n |u_{ik} - u_{jk}|$$

От големината на d_{ij} може да се съди за промяната в техническото състояние на обекта в различни периоди по време на неговата експлоатация.

Изводи Г Л А В А 2

1. Разгледани са различни по оптична конструкция оптоелектронни сензори и като най-подходящ за осъществяване на линейна зависимост между степен на закриване на оптичния канал е избран този на принципа предавател-приемник.

2. Изследвана е връзката между точността на преобразуване и отношението сигнал-шум, както и преобразуването на оптичния сигнал в електрически в зависимост от положението на обекта, закриващ част от светлинния поток.

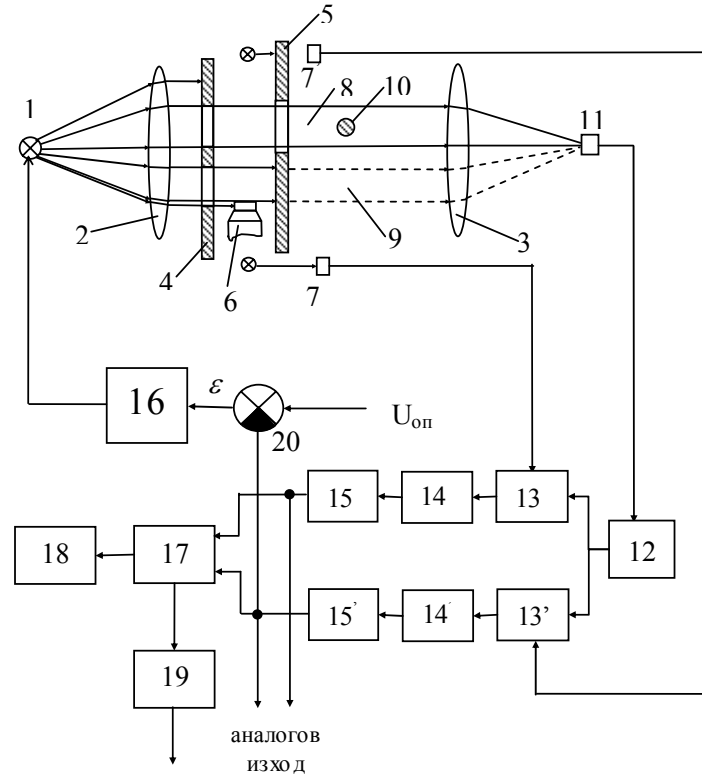
3. Показани са възможностите на различни по принцип на действие светлинни източници и фотоприемници, които могат да бъдат използвани при линейното преобразуване, както и подходящи схемни решения.

4. Синтезирана е оптоелектронна система с принцип на действие, позволяващ да се намалят до минимум адитивната и мултипликативната грешки при измерването, като за целта се използва разделено във времето или пространството измерване на светлинните потоци на два или един лъча чрез единствен фотоприемник.

5. Показан е метод за запис на вибрационни сигнали, позволяващ по-нататъшното му изследване и въвеждане на критерии за сравняване на вибросигналите в различни етапи на експлоатацията на електрическите машини с цел определяне на остатъчният им ресурс.

Г Л А В 3. Блокови и практически схеми на различни по функции оптоелектронни сензори с приложение в промишлеността

3.1 Синтез на блоковата структура на системата и обобщен алгоритъм на функциониране на оптоелектронен сензор за измерване диаметъра на изолирани проводници.



Фиг.3.1

Оптоелектронния сензор за измерване диаметъра на изолирани проводници може да се реализира по блоковата схема, представена на Фиг.3.1.

Разходящият сноп светлина, излъчен от източника 1, посредством колиматор, представен схематично като двойноизпъкнала леща 2, се превръща в успореден. От този успореден сноп, чрез непрозрачна преграда 4, в която са направени два калибриращи отвора, се формират два отделни успоредни светлинни снопа - измервателният 8 и помощният 9. В помощния сноп е поставен микрометричния винт 6 за точно изравняване интензитета на двата светлинни потока. Следва оптичния комутатор, условно показан като непрозрачна преграда 5 с отвор, който може да извършва постъпателно движение, като във всяко от крайните си положения открива напълно единия от лъчите и закрива изцяло другия. Същевременно, в момента на пълно откриване на единия от лъчите, той включва съответния от датчиците, които съобщават, кой от лъчите има

достъп до фотоприемника. На блоковата схема тези датчици са изобразени чрез оптронните двойки 7 и 7'.

Двата лъча, посредством приемния обектив, показан като лещата 3, се фокусират върху фотоприемника 11. Сигналът от фотоприемника, чрез преобразувателя 12 се превръща в електрическо напрежение и се подава към електронните ключове 13 и 13', управлявани от оптронните двойки 7 и 7'. Разделените сигнали от двата снопа се превръщат в постоянно напрежение чрез аналоговите паметни елементи 14 и 14' и преобразуватели на съпротивление 15 и 15'. Разликата в нивата на двата сигнала, взети от изходите на аналоговите паметни елементи, се измерва с помощта на аналого-цифровия преобразувател 17 и се изобразява върху дисплея 18. Необходимият за микропроцесорната система стандарт RS232 се получава от АЦП 17, чрез преобразувателя 19. Системата за автоматично регулиране интензитета на светлинния източник се състои от лампата с нажежаема жичка 1, фотоприемника 11, преобразувателя 12, електронния аналогов ключ 13', аналоговата памет 14' и 15', възела за сравнение 20 и регулатора 16. Във възела за сравнение 20 се сравнява напрежението от изхода на аналоговата памет 15' и едно опорно напрежение U_{op} . Регулаторът 16 може да променя интензитета на лампата 1 така, че разликата между напрежението от 15' и U_{op} да бъде минимална.

Методът е патентован и на тази база е разработено и внедрено устройство в две кабелни предприятия.

3.2 Оптиелектронен сензор за измерване диаметъра на механични детайли

3.2.1 Синтез на блоковата схема на сензора

Системата съдържа източник на светлина 1, изпълнен като лампа с нажежаема жичка, захранвана от стабилизирано постоянно напрежение и поставена във фокуса на първата оптична система 2, която формира разходящия сноп светлина в успореден (Фиг.3.2.1.1). Зад оптичната система (ОС) 2, по пътя на успоредния светлинен сноп, е поставен тесен вертикален процеп 3, в който се формира вертикален сноп успоредна светлина, в който се поставя измерваното изделие 4. С втора ОС 7, разположена така, че главната ѝ оптична ос да съвпада стази на първата, снопът светлина се насочва върху фотоприемника (ФП) 8, разположен във фокуса на втората оптична система.

Зад процепа 3, в горния му край, са поставени фотодатчиците 5 и 6, които са свързани с фоторелето (ФР) 9. Изходът на фотоприемника 8 е

свързан с входа на преобразувателя “ток-напрежение” (ПТН) 10, чиито изход е свързан с единия вход на аналоговия комутатор (АК) 11. Вторият

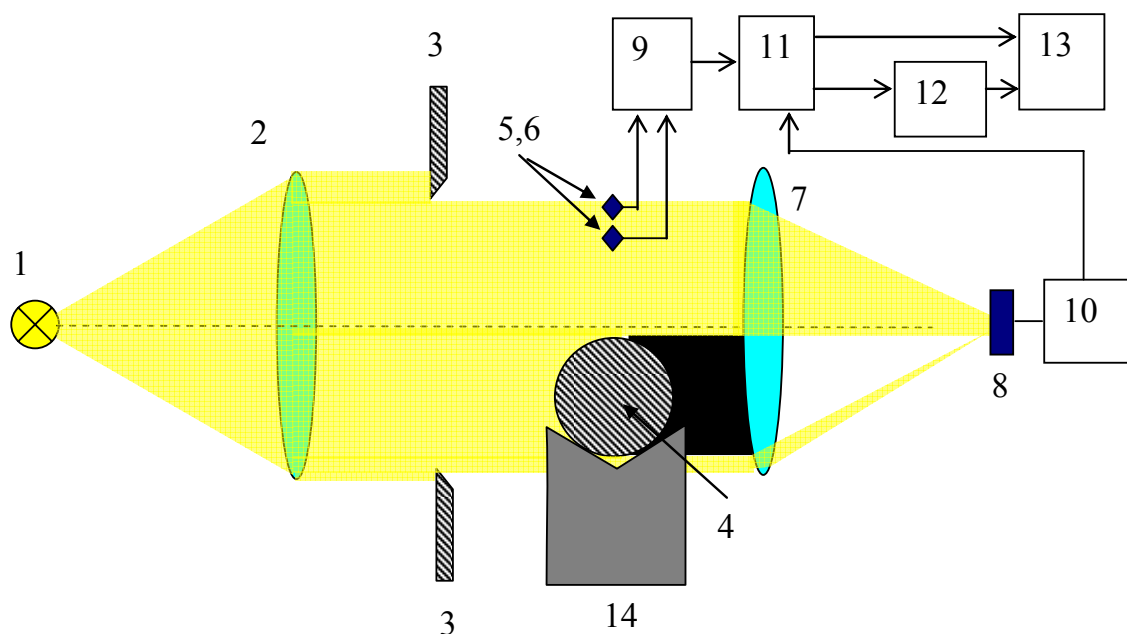
вход на аналоговия комутатор 11 е свързан с фоторелето 9, а двата му изхода – съответно с входовете на аналоговата памет (АП) 12 и аналого-цифровия преобразувател (АЦП) 13.

Оптичните системи 2 и 7 са изпълнени като коригирани и просветлени обективи с фокусно разстояние 140mm, относителен отвор 1:3,5 и диаметър на входящата зеница 40mm. Използването на коригирани и просветлени оптични системи е наложително поради дисперсията, сферичната аберация и някои други недостатъци на обикновените лещи.

Действието на системата е следното:

Токът от ФП 8, който е пропорционален на падналия върху него светлинен поток, се преобразува в напрежение посредством ПТН 10. Фотодатчиците 5 и 6, посредством ФР 9, превключват ПТН 10 към АП 12, където се запомня стойността на подадения сигнал. При поставяне на детайла 4 в зоната на снопа светлина, първо се закрива фотодатчикът 5 и ФР 9 превключва ПТН 10, чрез АК 11 към АЦП 13, който притежава диференциален вход. На другия вход на АЦП 13 се подава от АП 12 запомненото непосредствено преди поставянето на детайла 4 в снопа светлина напрежение. Разликата от двете напрежения на диференциалния вход на АЦП 13, която е пропорционална на размера на детайла 4, се преобразува в цифров израз на стойността на неговия диаметър и се показва на дисплея на АЦП 13.

Когато измерваното изделие се извади от снопа светлина, първо се закрива фотодатчикът 6, а след това 5 и ПТН 10 отново се включва към АП 12.

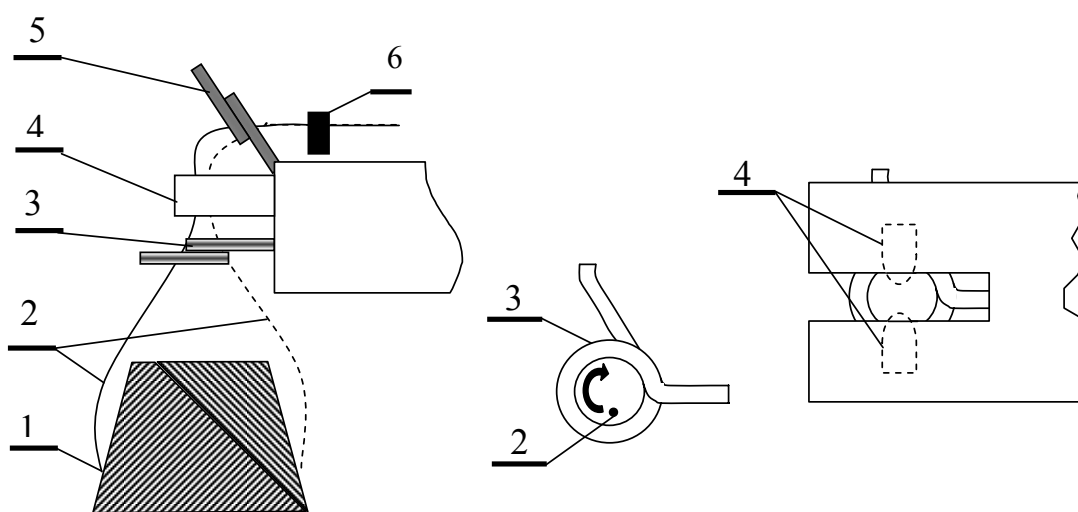


Фиг. 3.2.1.1

3.3 Оптиелектронен сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина

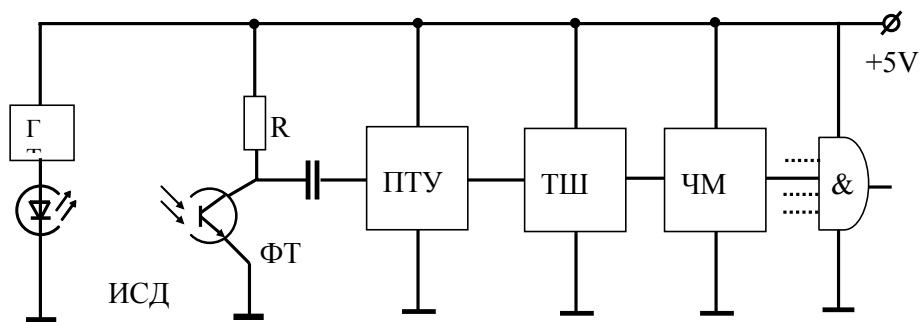
Високоскоростната дублирна машина събира нишките от няколко (до 4) бобини в една, като при скъсването на една от тях, съответното работно място трябва да се изключи колкото се може по-бързо. При забавено спиране е нужно да се развива голямо количество дефектна прежда от събиращата бобина, което е свързано със загуба на време и суровина. Тенденцията за увеличаване на работните места до 104 за една машина, а също и високата скорост на движение на нишките, поставя проблема за контрола при скъсването им като първостепенен.

Принципът на работа на устройството е илюстриран на Фиг.3.3.1



Фиг.3.3.1

При развиване на бобината 1 съставната нишка 2 обхожда цялата вътрешна повърхност на нишководача 3 и за един оборот преминава два пъти между оптиелектронната двойка 4. След това, минавайки през нишководача 5 и електромагнитната ножица 6, нишката 2 се навива на обща бобина, която не е показана на чертежа, заедно с останалите съставни нишки. Оптиелектронната двойка 4 се състои от инфрачервен светодиод (ИСД), захранван от генератор на ток поради температурната нестабилност на тези елементи (Фиг.3.3.2).



Фиг.3.3.2

Осветеният при това фототранзистор (ФТ) генерира в колекторната си верига фототок така, че половината от захранващото напрежение да е приложено върху него. В този режим той е максимално чувствителен към промяната на светлинния поток, който попада върху него от ИСД.

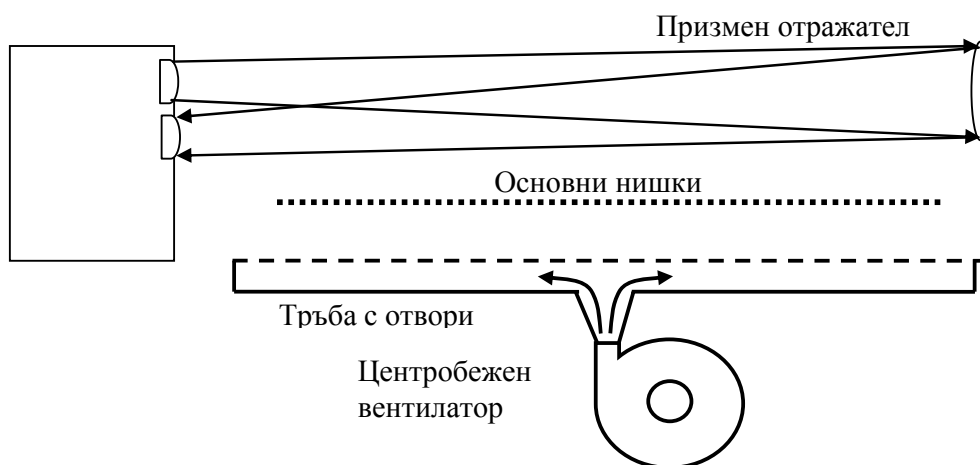
Нишката 2 е от материал, който поглъща инфрачервеното излъчване, поради което при преминаването ѝ между оптоелектронната двойка върху фототранзистора се получава импулс, който се усилва от променливотоковия усилвател (ПТУ). Полученият импулс се подава към входа на тригер на Шмид (ТШ) за формиране на фронта му, както е по стандарта ТТЛ, а също и за потискане на шумове и паразитни външни влияния.

3.4 Оптоелектронен сензор като основен спирач при рашел машина

При тъкачните и плетачните станове най-голяма трудност представлява откриването на скъсана нишка от основата, тъй като техният брой е от стотици до няколко хиляди. Всички използвани досега основни спирачи могат да се разделят на две главни групи:

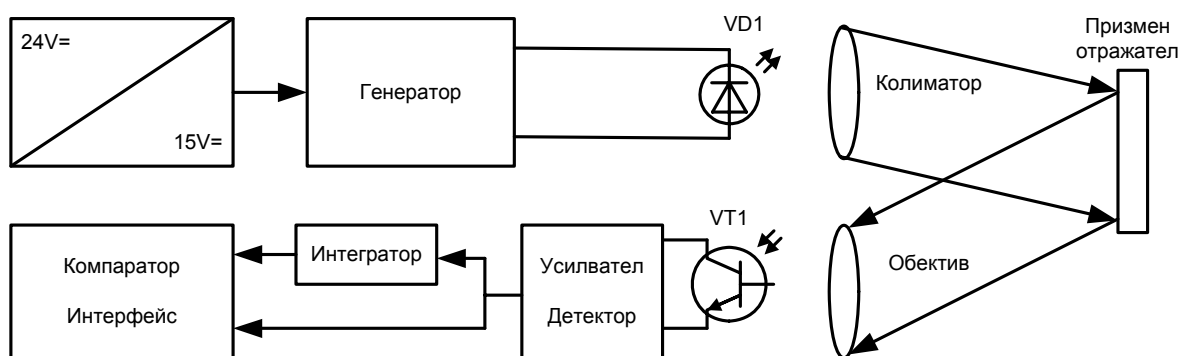
- основни спирачи от ламелен тип;
- опто-електронни основонаблюдатели.

Разработеният оптоелектронен основен спирач действа безконтактно, като за целта се използва успореден сноп инфрачервена светлина. За да пресече скъсаната нишка снопа светлина под или над основните нишки, се поставя тръба с отвори, перпендикулярно на посоката им на движение (Фиг.3.4.1). През тръбата се пуска съгъстен въздух, който обдухва всички основни нишки. При скъсване на една от тях, тя излиза от равнината и пресича снопа инфрачервена светлина. Намаляването на интензитета на потока инфрачервена светлина от поглъщането на скъсаната основна нишка се отчита от електронното устройство и това води до сигнал за спиране на тъкачния стан.



Фиг.3.4.1

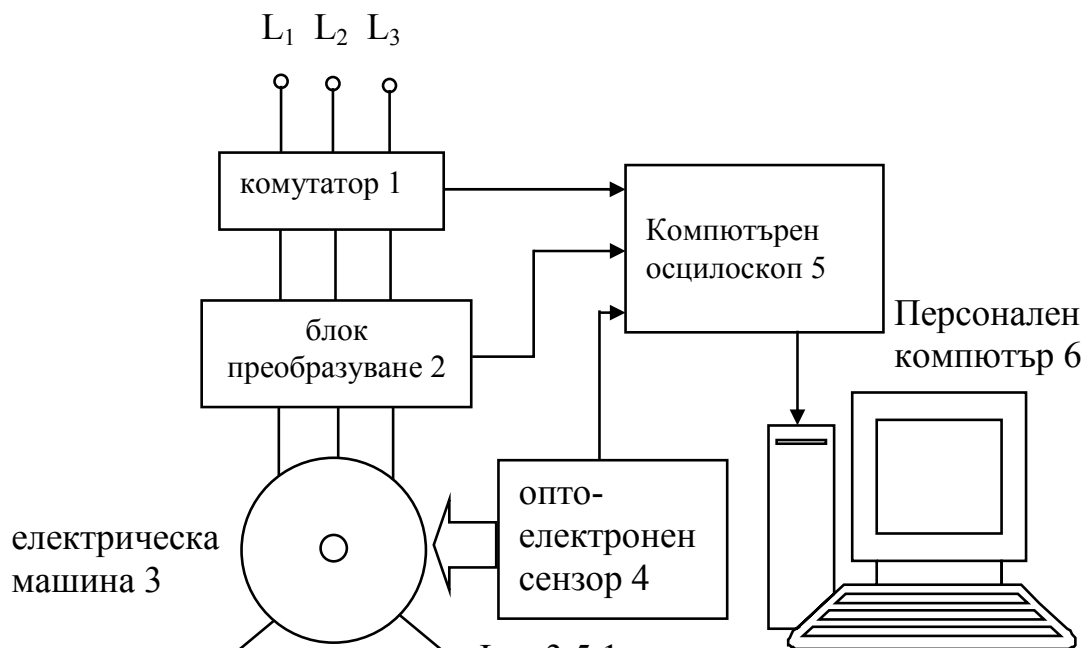
Електронната схема е показана на Фиг. 3.4.2.



Фиг. 3.4.2

3.5 Оптиелектронни сензори за диагностика на вибрациите на асинхронен електродвигател в преходен режим на работа

На Фиг.3.5.1 е дадена блоковата схема на система за измерване и анализ на вибрациите получени в преходните процеси при включване на електромашини със средна и голяма мощност.



Фиг.3.5.1

3.6 Оптиелектронен комутатор за измерване електромеханичните параметри на електрически машини при несиметрично включване

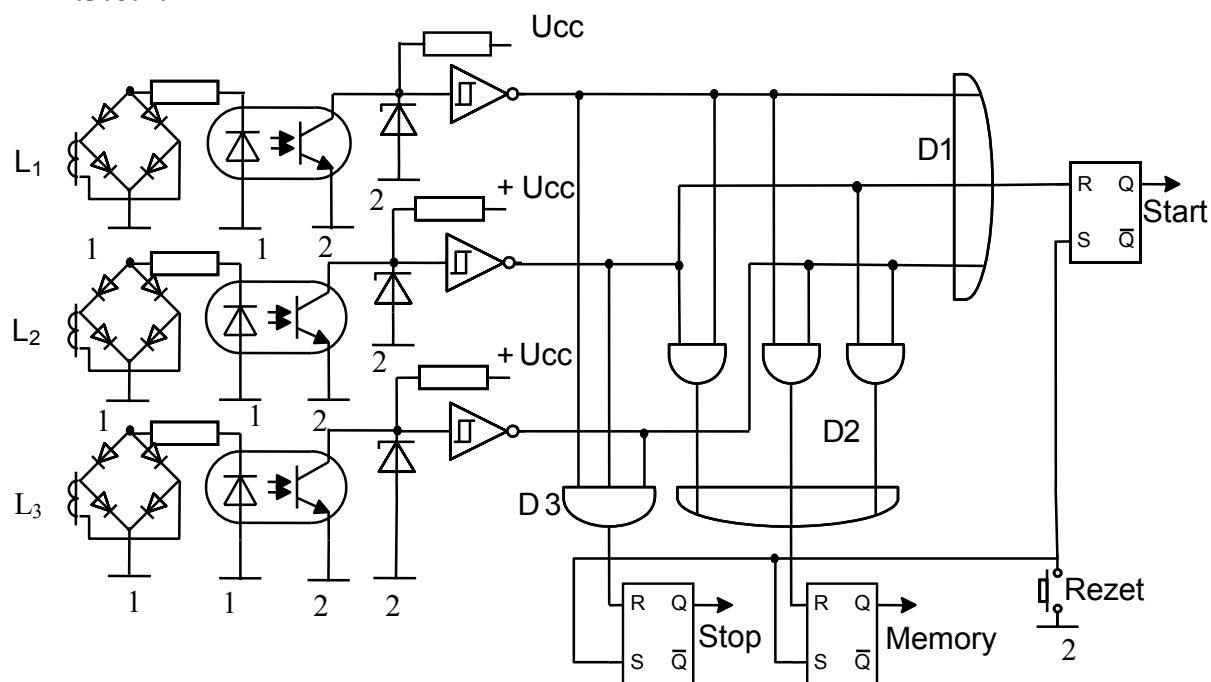
В някои електрозадвижвания асинхронните двигатели работят при чести включения и изключения, в импулсен режим, в различни спиращи режими. При използването на механични и електромеханични превключватели, поради нееднаквите времена за включване/изключване на

различните фази, се наблюдава краткотраен несиметричен режим на електрическата машина. Ако това се повтаря често, машината загрява с

необратими понякога последствия. Ако приемем, че фазите L_1 , L_2 и L_3 се свързват с АД в моментите съответно t_1 , t_2 , и t_3 , то в интервала от t_2 до t_3 двигателят е в режим на работа при две фази. Поради факта, че хлъзгането $s=1$ и общият електромагнитен момент $M = 0$, токът в статорната намотка нараства от 8 до 10 пъти над номиналния, нагривайки я допълнително. Съчетано с топлината, отделяна при преходния процес и с режима на повторно кратковременно включване, може да се получи недопустимо прегряване.

Целта на описания електронен комутатор е да се симулира в лабораторни условия гореописаният процес и с помощта на оптронно галванично разделяне от мрежата и логическо-измервателно устройство да се разпознае и измери големината на интервала ($t_3 - t_2$).

Схемата на логическо-измервателното устройство е показана на Фиг.3.6.4.



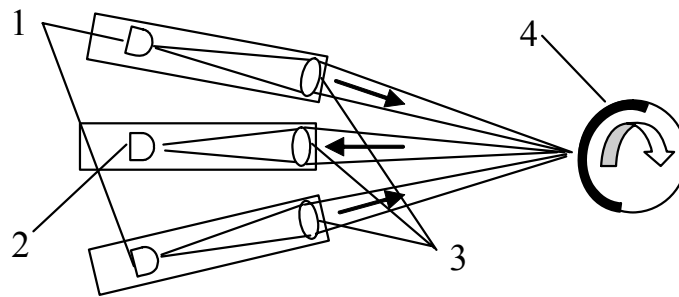
Фиг.3.6.4.

В началото трите RS тригера са нулирани чрез бутона Rezet. При пускане на електрическата машина първата включена фаза индуктира напрежение в токовия трансформатор, като протичащият при това ток през светодиода отпущва съответния му фототранзистор. Създаденото логическо ниво 0 през инвертиращия тригер на Шмит, като ниво 1 попада на някой от входовете на елемента ЗИЛИ, обозначен като D1 и обръща RS тригера Start, включвайки електронния хронометър. При включване на още една от фазите, елементът 2И-ЗИЛИ (D2), блокира междинната памет на

хронометъра, като при това съхранява момента на събитието. След включването и на третата фаза елемента ЗИ (D3) спира броенето и състоянието на броячите в хронометъра, регистрира времето на тази последна комутация.

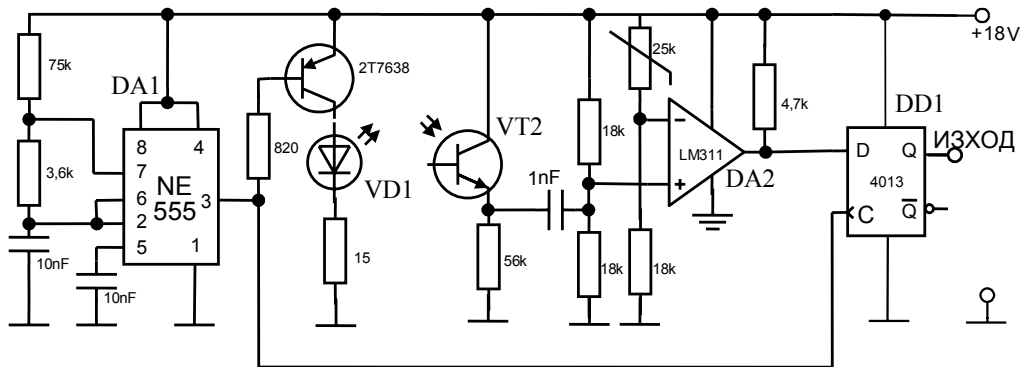
3.7 Оптиелектронен сензор за изследване на някои механични параметри на електрическите машини

Разгледан е оптиелектронен сензор който дава възможност за безконтактно измерване в динамичен и статичен режим на често следени в процеса на експлоатация параметри, като честота на въртене, ускорение и въртящия момент на машината. Методът се осъществява от сензор, работещ на оптиелектронен принцип и има в основата си отражателен оптрон, изобразен на Фиг. 3.7.1.

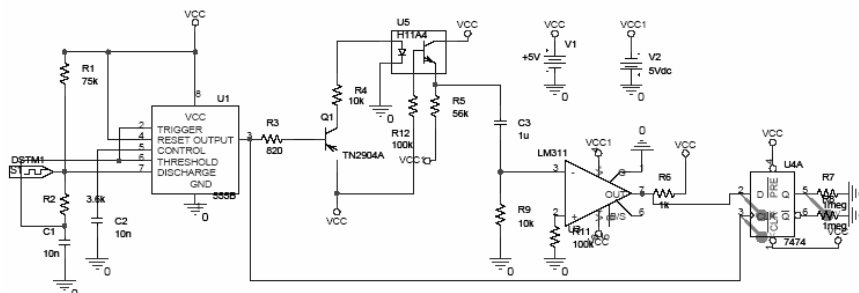


Фиг. 3.7.1

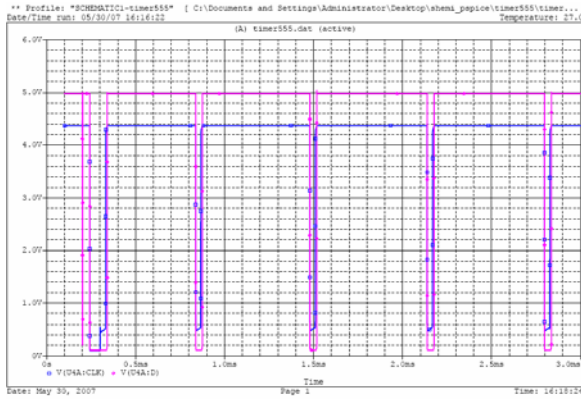
На Фиг.3.7.5 е дадена цялостната схема на сензора, а на Фиг.3.7.6 - симулационната схема в PSpice.



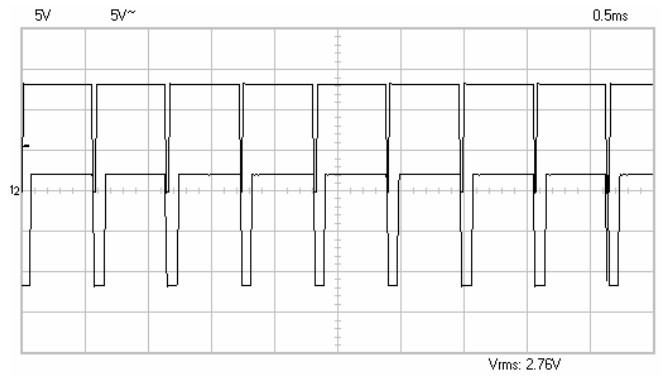
Фиг.3.7.5



Фиг.3.7.6



Фиг.3.7.8



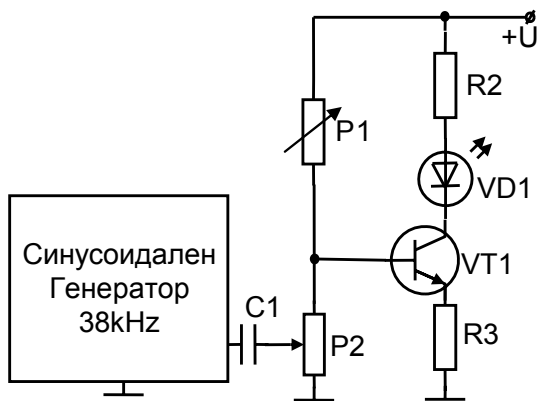
Фиг.3.7.9

На Фиг.3.7.8 е показана времедиagramата на оптимизираната чрез PSpice схема на сензора, а на Фиг.3.7.9 - реалната графика, получена на компютърен осцилоскоп.

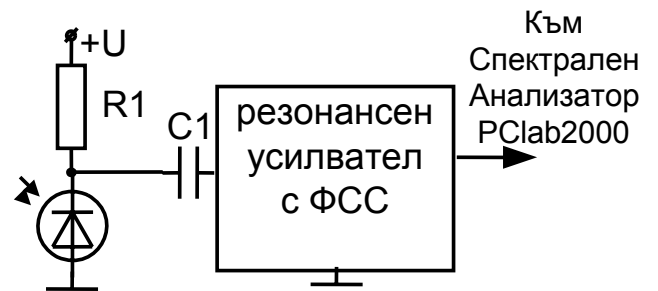
3.8 Оптиелектронен сензор за безконтактно измерване на вибрации на електромеханични обекти с повишена шумоустойчивост

При изследване нивото на вибрациите при работата на асинхронни електродвигатели в преходен режим с помощта на оптиелектронни сензори проникващите електромагнитни смущения се наслагват върху полезния сигнал. Това не позволява да се намали една характерна за този вид сензори величина, известна като „работна граница” (operating margin), и изразяваща отношението на нивото на полезния сигнал към нивото на проникващите шумове.

Една примерна блок-схема на предавателната част на сензора е показана на Фиг. 3.8.3. Генераторът на синусоидален сигнал е реализиран по класическата схема на RC осцилатор с мост на Робинзън-Вин. Модулирането на преминаващия през светодиода ток се осъществява от драйверен смесител на постояннотоковата съставяща и променливотоковия сигнал.



Фиг. 3.8. 3



Фиг.3.8.4

Приемната част на сензора се състои от фотодиод с голяма площ с цел линейна зависимост на фототока от попадащата върху него светлина и висока интегрална чувствителност. Усилването на електрическия сигнал се осъществява от теснолентов усилвател (). Той е конструиран на базата на междинночестотен усилвател с филтър със съсредоточена селективност (ФСС) от трети ред.

Изводи Глава 3

1. Разработени са оптоелектронни сензори за измерване диаметъра на изолирани проводници и размера на механични детайли, работещи на фотометричен принцип. В сензорите е въведена отрицателна обратна връзка с цел намаляване до минимум на адитивната и мултипликативна грешки.

2. Разработени са три вида оптоелектронни сензора за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина, предачен стан тип „Преномит” и Рашел машина.

3. Разработени са оптоелектронни сензори за вибродиагностика на електрически машини в различни режими на работа. Режимът на работа на един от тях е оптимизиран чрез симулации в “PSpice”.

4. Разработен е оптоелектронен сензор с повишена шумоустойчивост, постигната чрез модулация на вибросигнала.

Г Л А В А 4. Експериментални изследвания и внедряване на оптоелектронните сензори

4.1.Опитни резултати при лабораторни изследвания и 72-часови производствени изпитания на оптоелектронен сензор за контрол диаметъра при производството на изолирани проводници.

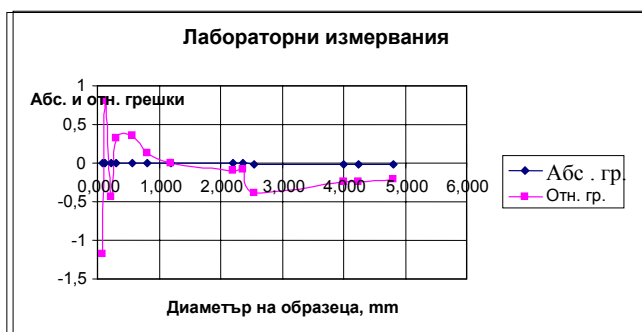
Методът на измерване и цялостно функциониране е патентован с Авторско свидетелство № 42962.

Направени бяха лабораторни експерименти с цел да се изследва грешката на оптоелектронния сензор в целият му измервателен диапазон. Резултатите от експериментите са показани на Таблица 4.1.1 и са илюстрирани на Фиг. 4.1.2.

Бяха извършени 72-часови проби на поточна линия за производство на изолирани проводници, като оптоелектронният сензор беше монтиран последователно със подобна измерителна система на фирмата ВЕТА INSTRUMENT . Резултатите от измерванията показаха, че точността на разработената система е аналогична с горепосочената.

Диаметър с изолацията,mm	Измерен диаметър,mm	Абсолютна грешка,mm	Относителна грешка, %
0,085	0,086	-0,001	-1,18
0,125	0,124	0,001	0,80
0,230	0,231	-0,001	-0,43
0,310	0,309	0,001	0,32
0,560	0,558	0,002	0,36
0,800	0,799	0,001	0,13
1,200	1,200	0	0,00
2,200	2,202	-0,002	-0,09
2,360	2,362	-0,002	-0,08
2,540	2,55	-0,01	-0,39
4,000	4,01	-0,01	-0,25
4,250	4,26	-0,01	-0,24
4,800	4,81	-0,01	-0,21

Таблица 4.1.1



Фиг. 4.1.2

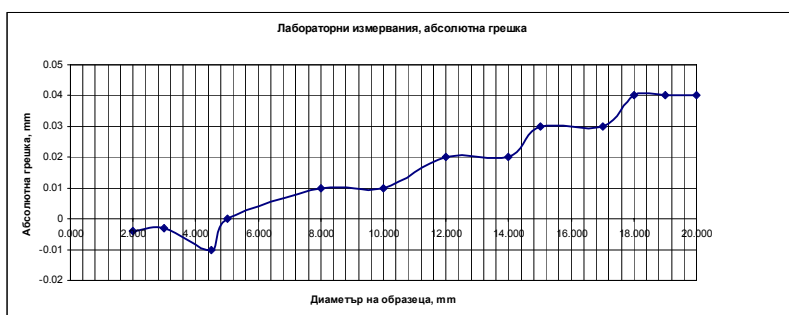
4.2.Опитни резултати при лабораторни изследвания на оптоелектронен сензор за измерване на електромеханични обекти.

Оптоелектронният сензор за измерване на електромеханични обекти беше разработен за нуждите на „Електроакустика” – Монтана, за измерване диаметъра на шпилки, фиксатори и други детайли с кръгло сечение, които се използват при сглобяване на готовата продукция.

Експериментите в лабораторни условия са показани на Таблица 4.2.1, и Фиг. 4.2.1

Диаметър на образеца,mm	Измерен диаметър,mm	Абсолютна грешка,mm	Относителна грешка, %
2.000	2.004	-0.004	-0.20
3.000	3.003	-0.003	-0.10
4.500	4.510	-0.01	-0.22
5.00	5.00	0	0.00
8.00	7.99	0.01	0.12
10.00	9.99	0.01	0.10
12.00	11.98	0.020	0.17
14.00	13.98	0.020	0.14
15.00	14.97	0.03	0.20
17.00	16.97	0.03	0.18
18.00	17.96	0.04	0.22
19.00	18.96	0.04	0.21
20.00	19.96	0.04	0.20

Таблица 4.2.1



Фиг. 4.2.1

4.3 Проверка сигурността на внедрените в текстилната индустрия оптоелектронни сензори.

4.3.1 Оптоелектронен сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина.

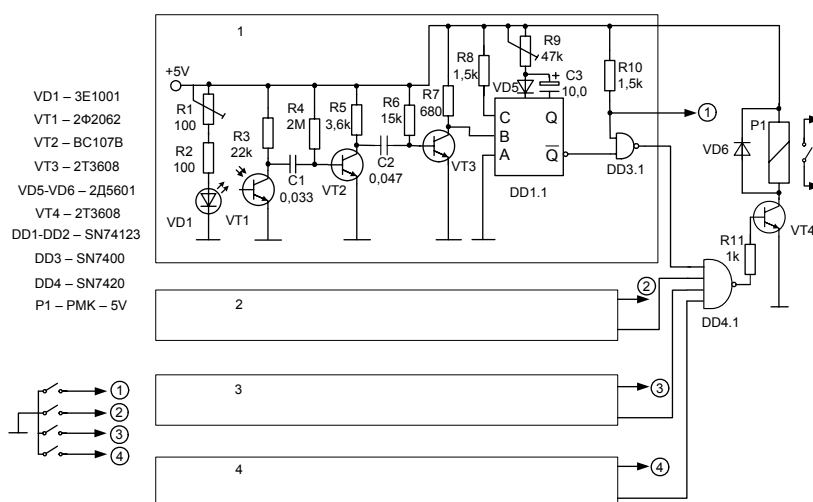
Оптоелектронният сензор беше разработен по договор с Института по текстилно машиностроене с цел електронизация на разработената „високоскоростна дублирна машина”.

Машината има 48 работни места, 24 от едната страна и още толкова от другата, които се обслужват съответно от 2 работнички. Монтираните механични сензори за липсваща нишка (скъсана или свършила се) работеха сигурно, но изключваха работното място за около 0,5s, при което се образува „единочка” т.е. единична нишка с дължина средно около 10m. Нишката трябва да се развива, докато се стигне до двойните нишки, а единичната да се скъса и бракува. Това отнема доста време и понижава производителността на машината.

След успешни експерименти с едно и пет работни места беше взето решение да се поставят оптоелектронни сензори на цялата машина, т.е. на всичките 48 работни места по 2 сензора и една система за спиране на работното място. По закон пробната експлоатация трябва да продължи 72 часа, но по взаимно съгласие между Изпълнител и Възложител (Института по текстилно машиностроене) и поради предсрочното внедряване на системата, времето беше удължено на 8 месеца – до края на предвидения срок за приключване на договора.

На петия месец от пробната експлоатация Възложителят предсрочно назначи 15- членна комисия от собствени специалисти и излезе с решение, документирано с протокол, с който се дава положителна оценка на разработката и се взема решение за внедряване в редовно производство.

Пълната електрическа схема на сензора е показана на Фиг.4.3.1.



Фиг.4.3.1

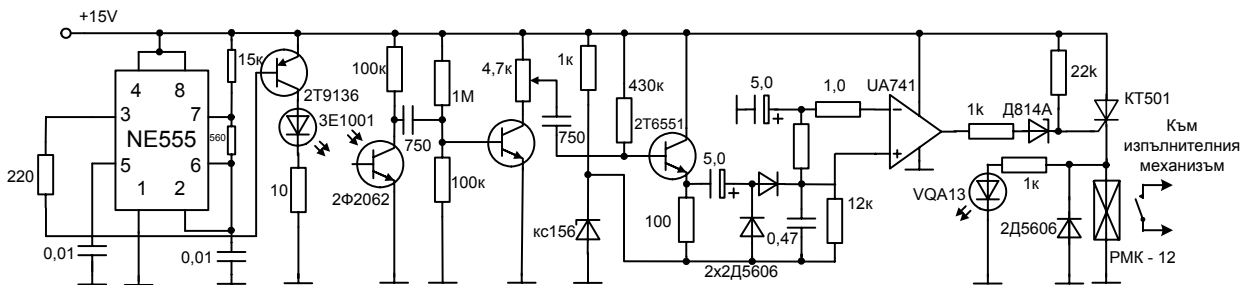
4.3.2 Оптиелектронен сензор за контрол наличието на нишка при предачен стан, работещ по технологията „Преномит”.

Този оптиелектронен сензор има за цел да спре предачната машина, работеща по технологията „Преномит” при свършване или скъсване на обвиващата основна прежда и тънка от порядъка на $50\mu\text{m}$ нишка. Принципът на работа е подобен на сензора за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина, разгледан по-горе, с някои минимални разлики.

Машината има 12 работни места, на всяко от които е монтиран по един оптиелектронен сензор. С писмо от Възложителя и протокол на Специализирания научно-технически съвет се дава положителна оценка на резултатите .

4.4.3 Оптиелектронен сензор като основен спирач за плетачни Рашел-машини.

Разработеният сензор беше монтиран в Рашел–машина с 300 нишки на основата, разположени на 2,5m широчина. След провеждане на няколкоседмични проби беше назначен научно-технически съвет, който след обсъждане на резултатите от експерименталната експлоатация на сензора, излезе с мнение отразено с протокол, че работният колектив е изпълнил изискванията по договора. Пълната електрическа схема на сензора е дадена на Фиг. 4.3.3.1

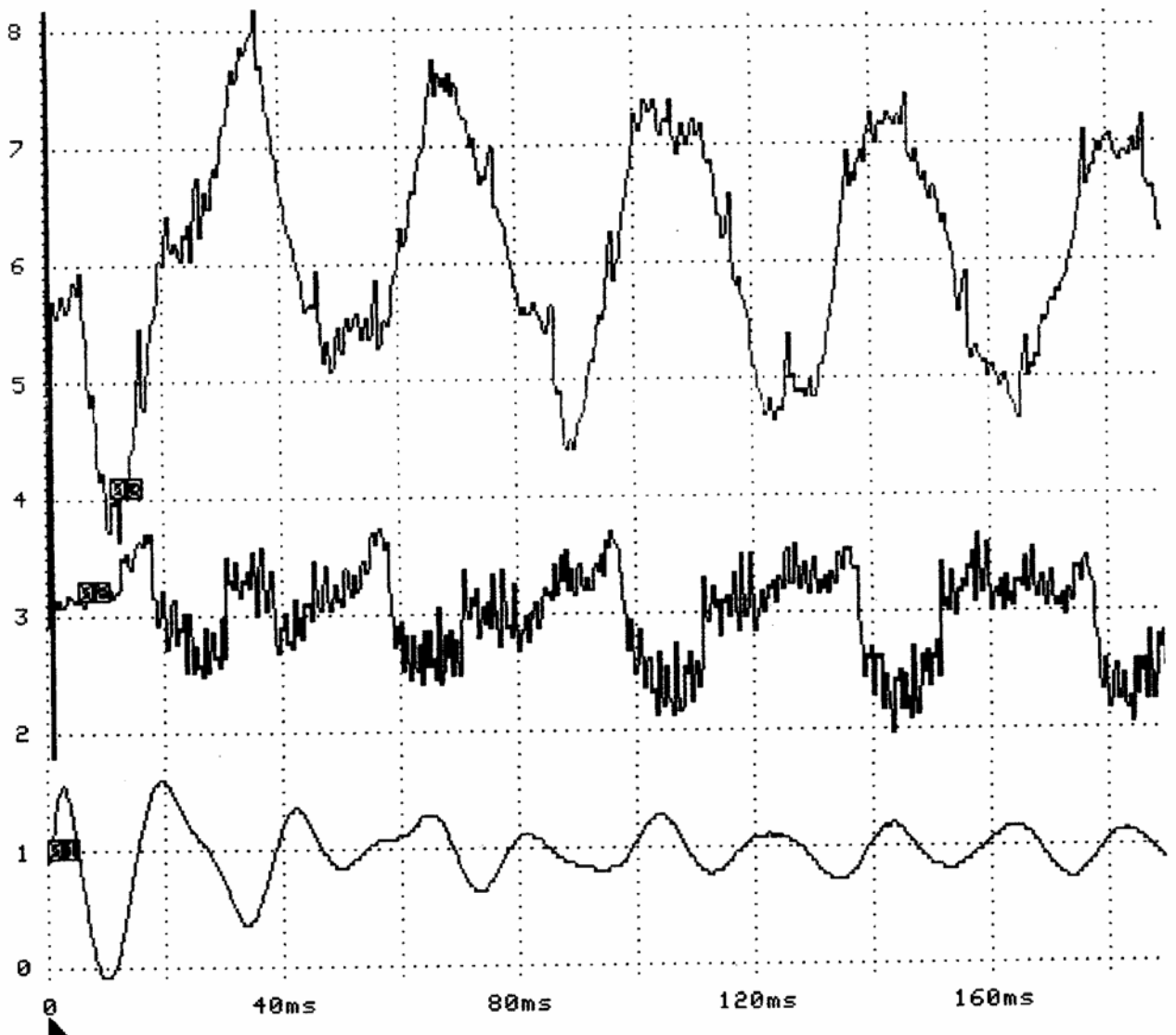


Фиг. 4.3.3.1

4.4 Опитни резултати при лабораторни експерименти с оптиелектронни сензори за преместване върху различни видове електрически машини

На Фиг. 4.4.1 са представени графичните зависимости, получени от едната от фазите (1), и два оптиелектронни сензора с двойка лазерен

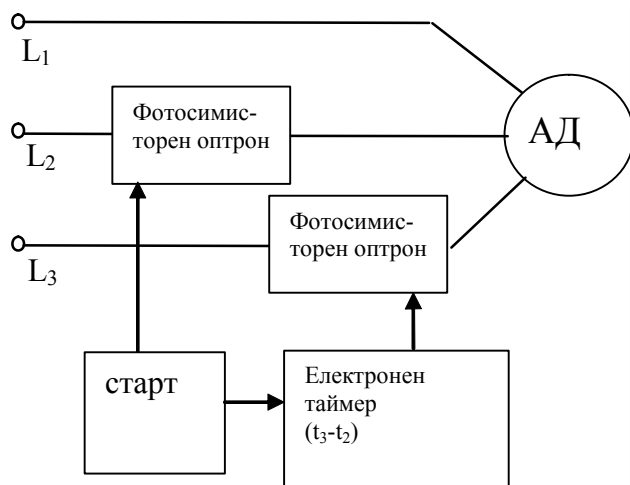
диод – фотодиод, поставени така, че да реагират на промяната на въздушната междина (2) и вибрациите на корпуса на електрическата машина (3)



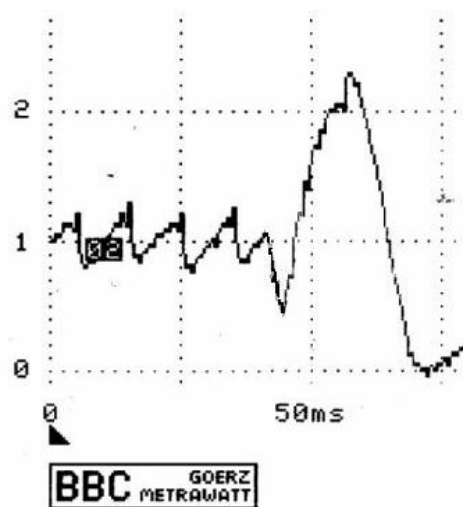
Фиг. 4.4.1

За по-пълно изследване на явленията в АД при неедновременно включване, бе разработен електронен комутатор – симулатор, изграден на базата на опто-симистори с блок-схема, дадена на Фиг. 4.4.2.

Върху корпуса на АД бе поставен оптоелектронен сензор, за да се изследват механичните му вибрации по време на преходния процес. Закъснението при включване на фаза Т, ($t_3 - t_2$) беше задавано съобразно табл.3.6.1. Сигналът, получен от датчика на вибрации, бе наблюдаван от компютърен осцилоскоп „Goerz Metrawatt”, като на Фиг. 4.4.3 е дадена една типична крива, за време ($t_3 - t_2$) = 40ms.



Фиг. 4.4.2



Фиг. 4.4.3

Забелязва се, че в момента на пускане на фаза L_2 (на осц. $t = 0$) се получават вибрации на честота около 100Hz поради работата на АД на две фази. В момента след 40-тата ms двигателят започва да се развърта, което добре се забелязва и може да се установи и измери с добра точност.

В Глава 3 беше разгледан оптоелектронен сензор за измерване на някои механични параметри на електрическите машини. Експериментите са проведени с маломощен трифазен асинхронен двигател с мощност 450W и асинхронна честота 1420 min^{-1} . С цел получаването на големи положителни и отрицателни ъглови ускорения, двигателят беше пускан на празен ход и след това изключван и спиран с електромагнитна спирачка.

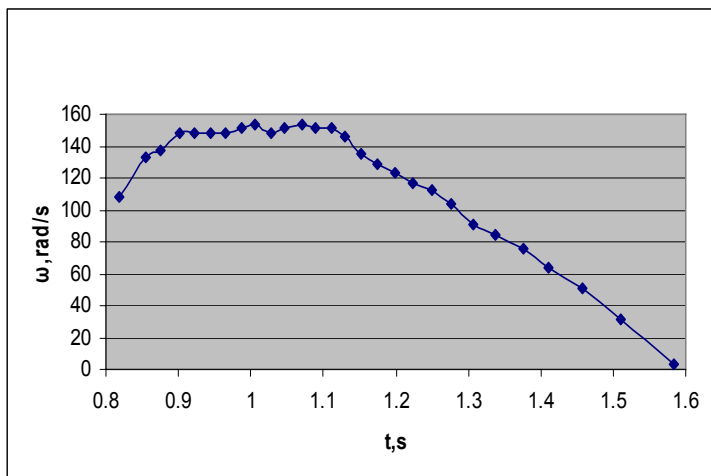
В Таблица 4.4.1 са показани част от данните при обработката на резултатите на проведен експеримент при пускане и спиране на електрическата машина. В първата колона са записани поредните номера при дискретизацията ($N = 0,1,2...4095$). Във втората колона се виждат резултатите от 8-битовото преобразуване в първия канал на осцилоскопа, като на числа от 0 до 128 отговарят отрицателни, а от 129 до 255 на положителни стойности на напрежението.

1	2	3	4	5	6	7
N	CH1	$N \cdot \Delta t$	Log1	Log2	Log3	T
1022	147	0.8176	0	1	1	0.8176
1068	229	0.8544	1	-1	0	0
1095	147	0.876	0	1	1	0.876
1127	229	0.9016	1	-1	0	0

Таблица 4.4.1

Чрез подходяща обработка на данните от таблица Таблица 4.4.1 се пресмятат резултати относно промяната на ъгловата скорост на

машината от времето (Фиг 4.4.6), ускоряването до номинални обороти (Фиг 4.4.7) и механичния момент на асинхронен двигател (Фиг 4.4.8).



Фиг 4.4.6



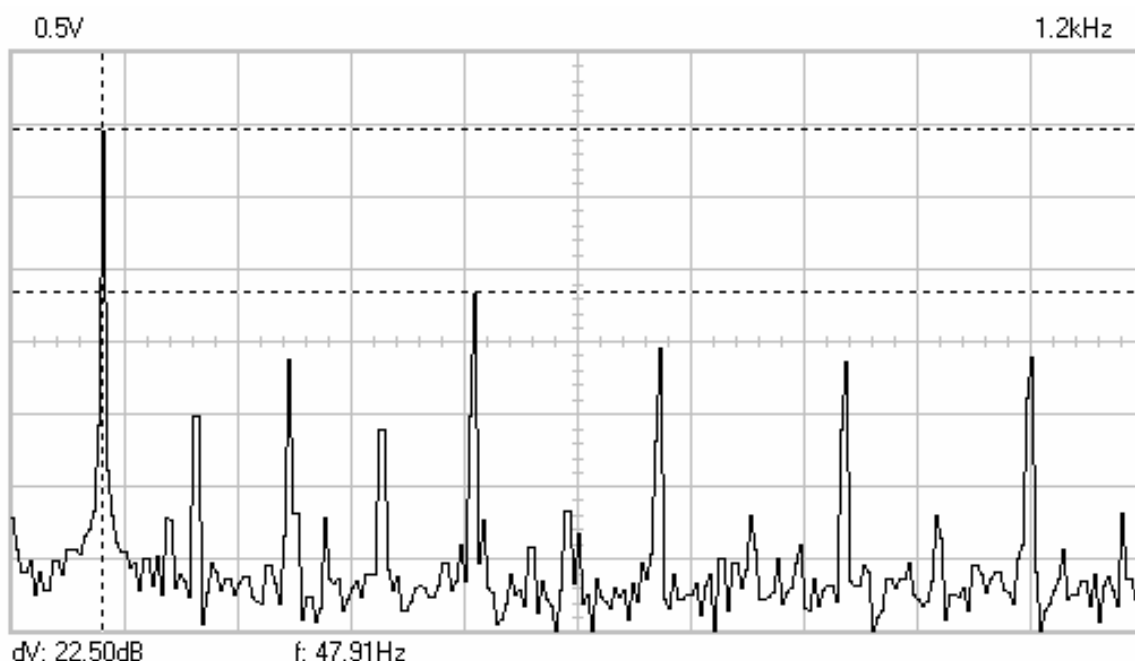
Фиг 4.4.7



Фиг 4.4.8

В глава 3 е разгледан принципът на работа на оптоелектронен сензор за измерване на вибрации с повишена шумоустойчивост. Бяха направени експерименти, включващи асинхронна електрическа машина с мощност 7,5kW и честота 2880 min^{-1} , с цел да се провери наличието на смущения от страна на захранващото напрежение (50Hz).

На Фиг. 3.8.5 е показан спектърът на трептене получен от оптоелектронния сензор в определена точка на асинхронния двигател. Вижда се честотата на въртене на ротора от $47,91 \text{ Hz}$ (2875 s^{-1}), която се различава от честотата, създаваща въртящото поле от 50 Hz . Липсата на честотата на мрежата, както и нейните хармонични, илюстрира ефикасността на мерките по отношение на паразитните сигнали.



Фиг. 3.8.5

Заклучение

Резултатите от проведените в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд теоретични и експериментални изследвания се свеждат до следните практически приноси.

1. Експериментите и наблюденията по време на 72-часовите проби на оптоелектронния сензор за измерване диаметра на изолирани проводници показаха, че точността на сензора задоволява изискванията на възложителя и ще бъде пусната пробна серия за нуждите на кабелните предприятия.

2. Оптоелектронният сензор за измерване на диаметрите на механични детайли бе успешно внедрен във фирмата „Инкомс-Електроакустика” Монтана.

3. Оптоелектронният сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина е внедрен на ниво пробна серия от над 100 произведени сензора.

4. Оптоелектронният сензор за контрол наличието на нишка при изпридане по технология „Преномит” е пуснат в пробна серия от 12 броя, които бяха монтирани на предачната машина.

5. Оптоелектронният сензор – основен спирач на Рашел машина, бе изработен като опитен образец и приет от научно-техническа комисия за внедряване в производството.

6. Сензорите за преместване на оптоелектронен принцип могат да бъдат използвани за изследване на преходните процеси в електрическите машини и за измерване на някои електромеханични параметри.

НАУЧНО – ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Разработен е метод за оптоелектронна обратна връзка, на оптрон с въздушна междина поддържаща постоянен коефициент на предаване и използващ наличните предаващ и приемащ прибори.

2. Създаден е оптоелектронен сензор за безконтактно измерване диаметъра на кабели и проводници с висока точност. Сензорът е включен в обратна връзка обхващаща цялата поточна линия и регулираща диаметъра на проводника в процеса на неговото производство. Методът и устройството са патентовани. Сензорът е внедрен в двата кабелни завода в Бургас и Севлиево.

3. Разработен е оптоелектронен сензор за безконтактно измерване диаметъра на детайли с кръгла и правилна геометрична форма с висока точност. Сензорът е внедрен в завод „Инкомс – Електроакустика” Монтана.

4. Създадени са серия оптоелектронни сензори с приложение в текстилната промишленост за контрол наличието на нишка при три вида текстилни машини и са внедрени в две предприятия.

5. Разработени са оптоелектронни сензори, методи за обработка и съхраняване на получената информация при диагностика вибрациите на електромеханични обекти.

6. Създаден е оптоелектронен сензор за измерване големината на вибрациите на електромеханични обекти с повишена шумоустойчивост, чрез модулация и демодулация на полезния сигнал.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ

1. Цифудин Л., Пл. Данаилов, „Метод и устройство за безконтактно измерване диаметъра на кабели и проводници” Авторско свидетелство №71387 от 30.01.1986г.

2. Данаилов Пл., Л. Цифудин, Оптиелектронен основен спирач за тъкачни станове, ВМЕИ, Габрово, Научна конференция 25г. ВМЕИ, 11-13 .10 1989г.

3. Iliev T. , Pl. Danailov, A system for optical vibrocheck of electrical mashines, 14th International Scientific Conference Mittweida, Journal of the University of Applied Sciences Mittweida № 6, page 109, Mittweida, 8 – 11 November 2000

4. Илиев Т. , Пламен Данаилов, Оптиелектронен сензор за безконтактно измерване на вибрации на електромеханични обекти с повишена шумоустойчивост, XVIII-ти Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и Метрологично Осигуряване 2008”, стр. 186, 10-14 септември 2008 г. ,Созопол

5. Данаилов Пл. , Т. Илиев, Оптико-електронно устройство за измерване размерите на механични детайли по безконтактен метод, XIX-ти Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и Метрологично Осигуряване 2009”, стр. 203, 10 - 14 септември 2009 г. ,Созопол

6. Данаилов Пл. , Оптиелектронен сензор за безконтактно измерване диаметъра на електромеханични обекти, XIX-ти Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и Метрологично Осигуряване 2009”, стр. 141, 10 – 14 септември 2009 г. ,Созопол

7. Данаилов Пл. , Тотьо Илиев, Обратни връзки в оптиелектронен сензор за измерване диаметъра на електрически проводници в процеса на производство, XIX-ти Научен Симпозиум с международно участие “Метрология и Метрологично Осигуряване 2009” стр. 144, септември 2009 г. ,Созопол

8. Илиев, Т., Пл. Данаилов, Приложение на оптиелектронен сензор за преместване при изследване преходните процеси на електрическите машини. Сборник доклади, Международна научна конференция ЕЛМА’2011, стр. 285, 21-23 октомври, Варна

9. Данаилов Пл.,Т. Илиев, Метод за сравняване параметрите на вибрационни сигнали получени в различни периоди на експлоатацията при електрическите машини. Сборник доклади, Международна научна конференция ЕЛМА’2011, стр. 282, 21-23 октомври, Варна

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

Обща характеристика на дисертационния труд.....	3
Глава 1. Анализ на състоянието на проблема.....	6
Глава 2. Методи за предаване, приемане и обработка на оптичните и електрически сигнали в оптоелектронните прибори.....	8
2.1.Обобщена схема на работа на оптоелектронния прибор (ОЕП).....	8
2.2.Енергетичен разчет на оптоелектронните сензори.....	10
2.4.Източници на светлина в оптоелектронните прибори.....	13
2.3 Намиране на праговото значение на светлинния поток и неговото разпределение по интензитет.....	10
2.4.Източници на светлина в оптоелектронните прибори.....	13
2.5 Избор на фотоприемник.....	14
2.6.1 Методи за намаляване до минимум на адитивната и мултипликативна грешки при измерването.....	15
2.6.2 Метод за запис и изследване спектралния състав на сигнал, получен от фотоприемника на оптичен сензор при измерване вибрациите на електрически машини.....	16
2.6.3 Критерий за определяне работоспособността на електрически машини, изследвани с помощта на оптоелектронни сензори.....	18
Глава 3. Блокови и практически схеми на различни по функции оптоелектронни сензори с приложение в промишлеността.....	20
3.1 Синтез на блоковата структура на системата и обобщен алгоритъм на функциониране на оптоелектронен сензор за измерване диаметъра на изолирани проводници.....	20
3.2 Оптоелектронен сензор за измерване диаметъра на механични детайли.....	21
3.3 Оптоелектронен сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина.....	23
3.3 Оптоелектронен сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина.....	24
3.5 Оптоелектронни сензори за диагностика на вибрациите на асинхронен електродвигател в преходен режим на работа.....	25
3.5 Оптоелектронни сензори за диагностика на вибрациите на асинхронен електродвигател в преходен режим на работа.....	25
3.7 Оптоелектронен сензор за изследване на някои механични параметри на електрическите машини.....	27
3.8 Оптоелектронен сензор за безконтактно измерване на вибрации на електромеханични обекти с повишена шумоустойчивост.....	28
Глава 4. Експериментални изследвания и внедряване на оптоелектронните сензори.....	29
4.1.Опитни резултати при лабораторни изследвания и 72-часови производствени изпитания на оптоелектронен сензор за контрол диаметъра при производството на изолирани проводници.....	29

4.2.Опитни резултати при лабораторни изследвания на оптоелектронен сензор за измерване на електромеханични обекти.....	30
4.3 Проверка сигурността на внедрените в текстилната индустрия оптоелектронни сензори.....	30
4.3.1 Оптоелектронен сензор за контрол наличието на нишка при високоскоростна дублирна машина.....	30
4.3.2 Оптоелектронен сензор за контрол наличието на нишка при предачен стан, работещ по технологията „Преномит”.....	32
4.4.3 Оптоелектронен сензор като основен спирач за плетачни Рашел-машини.....	32
4.4 Опитни резултати при лабораторни експерименти с оптоелектронни сензори за преместване върху различни видове електрически машини...32	
Заклучение.....	36
Научно - приложни приноси.....	37
Списък на публикациите.....	38

Control and Diagnostics in Electromechanics by Means of Optoelectronic Sensors

This dissertation deals with optical circuits linking emission and reception devices and circuitry, which ensure the proper operation of the emitter and processing of the signal received in the receiver. It is aimed at developing an optoelectronic sensor of “Transmitter-Receiver” type and exploring the possibility of its reception part for working in active, linear and pseudo-linear mode in accordance with the various applications of the sensor in industrial and laboratory conditions.

A range of optoelectronic sensors of “Transmitter-Receiver” type (photointerrupter) has been developed so that their reception part works in active, linear and pseudo-linear mode. By appropriate optical-mechanical and circuit solutions, space-time and time separation of optical channels has been done in order to maintain the same rate of transmission of the sensor. To this end, a negative feedback using and covering the transmission and the reception part of the sensor has been introduced.

An assessment of the distribution of luminous flux intensity and its impact on the receiver has been done. An optoelectronic sensor has been created for measuring the diameter of cables in the process of their production. An optoelectronic sensor for measuring the diameter of machine parts with round and regular geometric shapes has been designed.

A series of optoelectronic sensors has been developed applicable in the textile industry for control of the presence of fiber in three types of textile machines.

The optoelectronic sensor for contactless measuring of the diameter of cables has been patented and introduced in the cable plants in the towns of Bourgas and Sevlievo. The optoelectronic sensor for measuring the diameter of machine parts with round and regular geometric shapes has been implemented in the factory of “Incoms-Electroacoustics” in the town of Montana. The optoelectronic sensors applicable in the textile industry have been implemented in “Textilemach”–Gabrovo in two types of machines as well as in the Centre for Computerization on a Raschel Knitting Machine.

Optoelectronic sensors for diagnostics of vibrations of electromechanical objects and methods of processing and storage of the obtained information have been developed.