

**УНИВЕРСИТЕТ "ПРОФ. Д-Р АСЕН ЗЛАТАРОВ"**  
**ФАКУЛТЕТ ПО ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ**

## **АВТОРЕФЕРАТ**

за придобиване на образователна и научна степен  
“Доктор”

**на Ленко Янев Ербаканов**

**ТЕМА: Моделиране на вградени компютърни системи чрез  
Обобщени мрежи**

Област на висшето образование: Технически науки

Професионално направление: Комуникационна и компютърна техника

### **НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:**

1. чл.кор. проф. дмн дтн Красимир Атанасов
2. доц. д-р Сотир Сотиров

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

1. проф. дтн Людмил Даковски
2. проф. д-р Станимир Стоянов

Бургас, 2016

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на катедра “Компютърни системи и технологии”, проведено на 15.04.2016 г. в Университет “Проф. д-р Асен Златаров” - Бургас.

Дисертационният труд съдържа 131 страници, от които 66 фигури, 14 таблици и 13 страници приложения - програмен код. Използвани са 105 литературни източници. Резултатите са публикувани в 6 статии.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на .....2016 г. от ..... ч. в зала ..... в Университет “Проф. д-р Асен Златаров” - Бургас с научно жури в състав:

1. проф. д-р Людмил Даковски
2. проф. д-р Станимир Стоянов
3. доц. д-р Таня Пенчева
4. доц. д-р Сотир Сотиров
5. доц. д-р Станислав Симеонов

Резервни членове: доц. д-р Любка Дуковска, доц. д-р Ивелина Вардева

Материалите по защитата са предоставени за заинтересуваните в кабинет 108, Органичен корпус.

Автор: Ленко Янев Ербаканов

Заглавие: Моделиране на вградени компютърни системи чрез Обобщени мрежи

Изказвам своята искрена благодарност към ръководителите на дисертационния ми труд чл.кор. проф. д-р д-н Красимир Атанасов и доц. д-р Сотир Сотиров за знанията, помощта, възможностите и контактите, които ми предоставиха.

Благодаря и на всички колеги от катедра „Компютърни системи и технологии”, на ръководителя на катедрата доц. д-р Станислав Симеонов при Университет „Проф. д-р Асен Златаров” - Бургас, за подкрепата и съдействието.

## УВОД

От въвеждането на теорията на Обобщените мрежи през 1982 г. досега, са разработени множество модели в различни направления на науката и технологиите.

Разработването на едно конкретно електронно устройство може да се осъществи по различни схеми и с различни компоненти. В частност, една вградена компютърна система – автономно електронно устройство, базирано на микроконтролер – може да се разработи, като се използват различни микроконтролери. Изборът на конкретен екземпляр зависи както от технически и икономически фактори, така и от познаването на структурата на конкретната фамилия микроконтролери от разработчика. Въпреки някои общи архитектурни концепции в изграждането на структурата на микроконтролерите, замяната на този основен елемент, при разработването на вградена система, с такъв от друга фамилия, е свързана със запознаването в детайли със сравнително голям обем техническа информация. Разработването на модели на конкретни екземпляри микроконтролери, с използването на концепцията на обобщените мрежи, би могло да се използва в процеса на проектиране на вградени компютърни системи.

В настоящия дисертационен труд, на базата на методите и инструментите на теорията за обобщени мрежи, са разработени модели на основни логически и цифрови схеми, на някои подсистеми, вградени в микроконтролерите, и на няколко конкретни вградени компютърни системи.

## Съдържание на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 131 страници и се състои от увод, три глави, списък на публикациите по дисертационния труд, библиография и приложения – програмен код. Дисертационният труд включва 66 фигури и 14 таблици, а библиографията към него – 105 заглавия.

## **Глава 1. Кратки бележки върху вградени компютърни системи и Обобщени мрежи**

В глава първа е направен обзор в областта на вградените компютърни системи и са представени основни понятия и дефиниции от теорията на Обобщените мрежи.

### **1.1. Микропроцесори и микроконтролери. Основни подсистеми**

Тук са представени основни архитектури и подсистеми използвани във вградените компютърни системи.

### **1.2. Основни понятия от теорията на обобщените мрежи**

Тук са дадени основни дефиниции от теорията на Обобщените мрежи.

### **1.3. Съществуващи обобщеномрежови модели**

Направен е кратък обзор на областите на използване на обобщените мрежи и разработените до момента обобщеномрежови модели.

## **Цел и задачи на дисертационния труд**

Цел на дисертационния труд е прилагането на обобщените мрежи в моделирането на електронни устройства, в частност на цифрови електронни схеми и вградени компютърни системи. Поставените задачи се състоят в разработването на обобщеномрежови модели на следните електронни модули и системи:

- основни логически елементи, комбинационни и последователностни цифрови схеми;
- подсистеми на микроконтролери - таймерна подсистема, подсистема за аналогово-цифрово преобразуване, подсистема за последователен асинхронен обмен на данни;
- вградена система за снемане и съхранение на температурни данни;
- вградена система за снемане и визуализация на данни от 3D сензор за линейно ускорение;

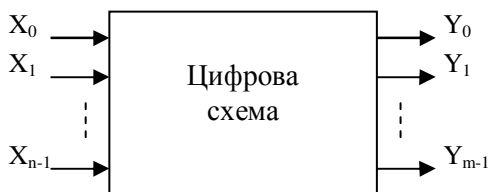
- вградена система за ултразвуково сканиране на околното пространство;
- вградена система за снемане и визуализация на волтамперни характеристики на биполярни транзистори.

## Глава 2. Обобщеномрежови модели на логически елементи, комбинационни и последователностни цифрови схеми

В тази глава са разработени обобщеномрежови модели на основните логически елементи - “И”, “ИЛИ”, “НЕ” - както и на производните на тях основни комбинационни логически схеми – дешифратор, компаратор, суматор, мултиплексор – и основни последователностни схеми – SR тригер, JK тригер, D тригер, двоичен брояч, последователен и паралелен преместващ регистър. Разработен е също така и обобщеномрежов модел на примерна цифрова схема за генериране на широчинно-импулсно модулирани сигнали, включваща част от описаните основни цифрови схеми.

### 2.1. Обобщеномрежов модел на цифрова електронна схема

В обобщен вид, една цифрова схема може да притежава  $p$  на брой входове и  $q$  на брой изходи, където  $p \in [1, n]$  и  $q \in [1, m]$  (Фиг. 2.1).



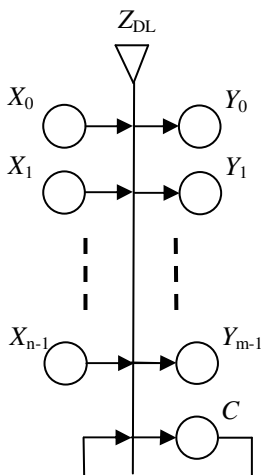
Фиг. 2.1. Обобщен вид на цифрова схема

На Фиг. 2.2 е представен графично обобщеномрежов модел на цифровата схема от Фиг. 2.1. Обобщената мрежа съдържа един преход  $Z_{DL}$ ,  $n+1$  входни и  $m+1$  изходни позиции.

Първоначално в обобщената мрежа са налични следните ядра:

- $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{n-1}$ , съответно в позиции  $X_0, X_1, \dots, X_{n-1}$ , с характеристики “ $\alpha_k$  логическо състояние”, където  $k = 0 \div n - 1$ ;

- $\gamma$  в позиция  $C$  с характеристика  $x_0^\gamma = 0$ .



Фиг. 2.2. Обобщеномрежов модел на цифрова схема

## 2.2. Обобщеномрежови модели на основни логически вентили

Разработени са обобщеномрежови модели на основните логически схеми: “И”, “ИЛИ” и “НЕ”.

## 2.3. Обобщеномрежови модели на комбинационни логически схеми

Разработени са обобщеномрежови модели на основни комбинационни логически схеми: дешифратор, компаратор, суматор, мултиплексор.

## 2.4. Обобщеномрежови модели на последователности логически схеми

Разработени са обобщеномрежови модели на основни последователности логически схеми: SR, JK, D тригери, двоичен брояч, последователен и паралелен преместващ регистър.

## 2.5. Обобщеномрежов модел на примерна цифрова схема

Примерната цифрова схема съдържа един вход, на който се подават тактови сигнали с определена постоянна честота, и един изход, на който се получава сигнал, с коефициент на запълване определен от положението на ключове. Коефициентът на запълване представлява отношението между времетраенето на сигнала с високо ниво към целия период.

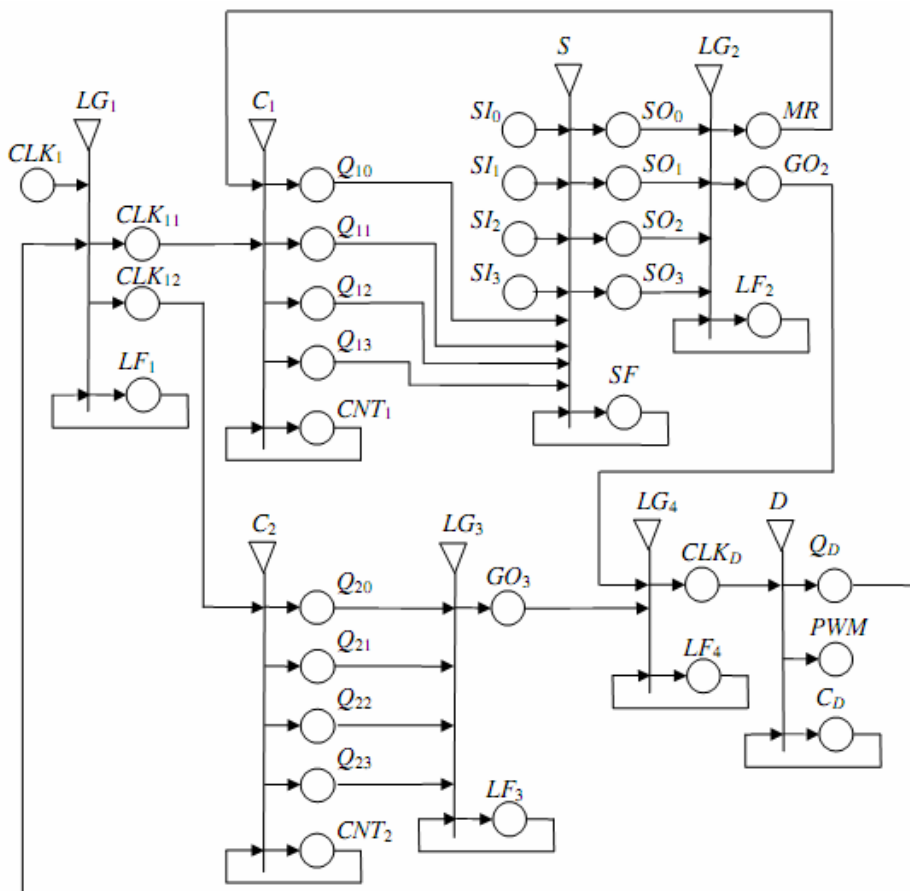
Обобщеномрежовият модел на схемата, представен графично на Фиг. 2.20, съдържа следното множество от преходи:

$$A = \{ LG_1, LG_2, LG_3, LG_4, C_1, C_2, D, S \}$$

Преходите описват следните процеси:

- $LG_1$  – логическа операция “2-И”;
- $LG_2$  – логическа операция “4-И”;
- $LG_3$  – логическа операция “4-И”;
- $LG_4$  – логическа операция “2-ИЛИ”;
- $C_1$  – 4-битово двоично броене;
- $C_2$  – 4-битово двоично броене;
- $D$  – обръщане на състоянието;
- $S$  – формиране на активна продължителност на импулса.





Фиг. 2.18. Обобщеномрежов модел на цифрова схема за формиране на ШИМ сигнал

### Глава 3. Обобщеномрежови модели на вградени системи

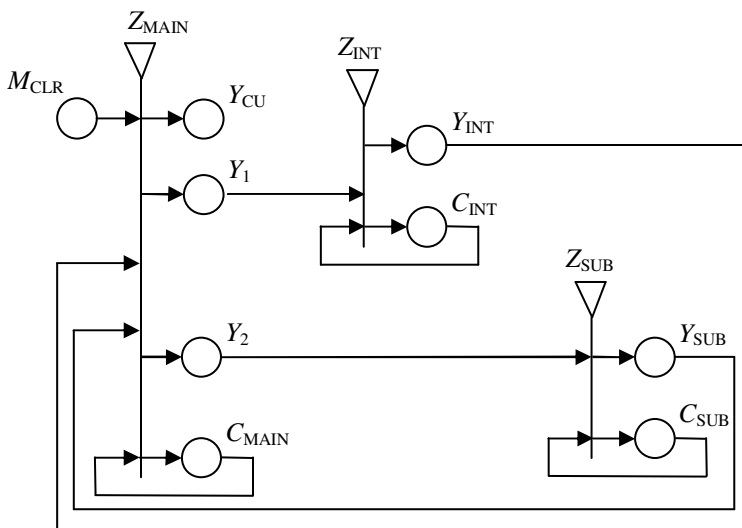
В тази глава са разработени обобщеномрежови модели на електронни системи изградени на базата на микроконтролер и някои допълнителни периферни компоненти – сензори, външни памети, преобразуватели на напрежение и др.

### 3.1. Редуциран обобщеномрежов модел на работата на микроконтролер

Процесите, които протичат по време на работа на микроконтролера, могат да се разделят условно на два типа: софтуерно генерирани и хардуерно (апаратно) генерирани. Към първия тип спадат инициализацията и основния цикъл на програмата.

Това са процеси, свързани с извличане, декодиране и изпълнение на инструкции. Към втория тип спадат сигнала “RESET”, обработката на прекъсвания и работата на периферните подсистеми. Прекъсванията могат да бъдат асинхронни (промяна на състоянието на вход, постъпване на байт данни във входен буфер на комуникационна подсистема и др.) или синхронни (препълване на брояч, приключване на аналогово-цифрово преобразуване и др.). Процесите в периферните подсистеми (работа на таймери, аналогово-цифрово преобразуване, приемане и предаване на данни и др.) се извършват паралелно с обработката и изпълнението на инструкции.

На Фиг. 3.2 е представен графично обобщеномрежов модел на работата на микроконтролер.



Фиг. 3.2. Обобщеномрежов модел на работата на микроконтролер

Моделът съдържа следното множество от преходи:

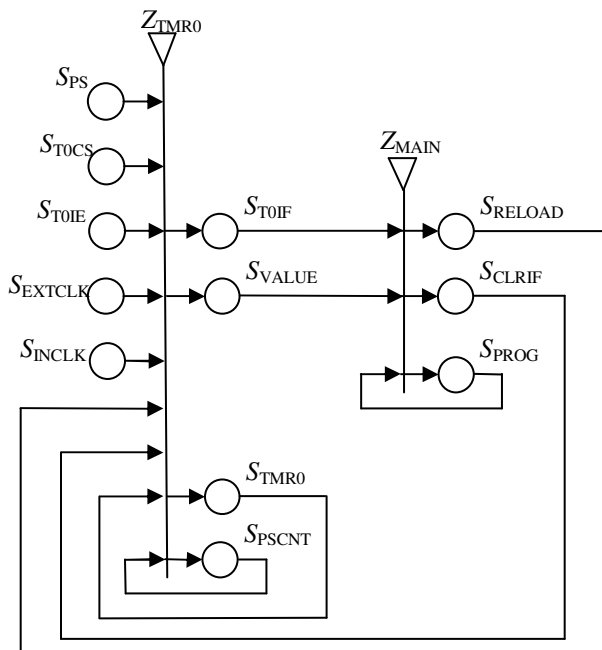
$$A = \{Z_{\text{MAIN}}, Z_{\text{INT}}, Z_{\text{SUB}}\}$$

Преходите съответстват на следните процеси:

- $Z_{\text{MAIN}}$  – работа на потребителската програма;
- $Z_{\text{INT}}$  – работа на подсистемата за прекъсвания;
- $Z_{\text{SUB}}$  – работа на периферните подсистеми.

### 3.2. Обобщеномрежови модели на подсистеми на микроконтролери

Следвайки концепцията от т.3.1, тук са представени обобщеномрежови модели на няколко често използвани подсистеми в микроконтролери: таймерна подсистема, подсистема за аналогово-цифрово преобразуване и подсистема за последователен асинхронен обмен на данни.



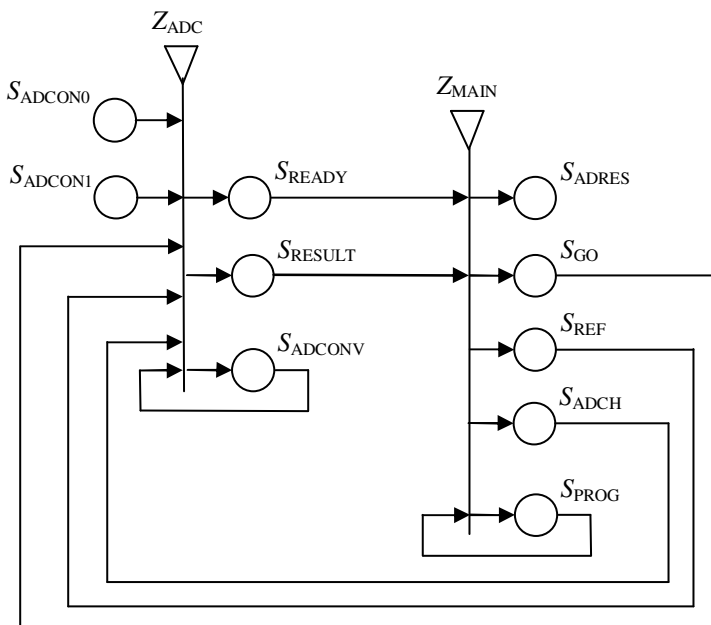
Фиг. 3.4. Обобщеномрежов модел на Таймер 0 на микроконтролер PIC16Fxxx

На Фиг. 3.4 е показан графично обобщеномрежови модел на част от таймерната подсистема (Таймер 0) на микроконтролер PIC16Fxxx. В разработването на модела е включена и работата на евентуалната потребителска програма. Моделът е съдържа два прехода, чиито входни и изходни позиции съответстват на регистри и/или отделни битове, свързани с работата на подсистемата. Преходите съответстват на следните процеси:

- $Z_{TMR0}$  – работа на подсистемата Таймер 0;
- $Z_{MAIN}$  – работа на потребителската програма.

На Фиг. 3.5 е показан графично обобщеномрежови модел на АЦП подсистема на микроконтролер PIC16Fxxx. Моделът съдържа два прехода, които описват следните процеси:

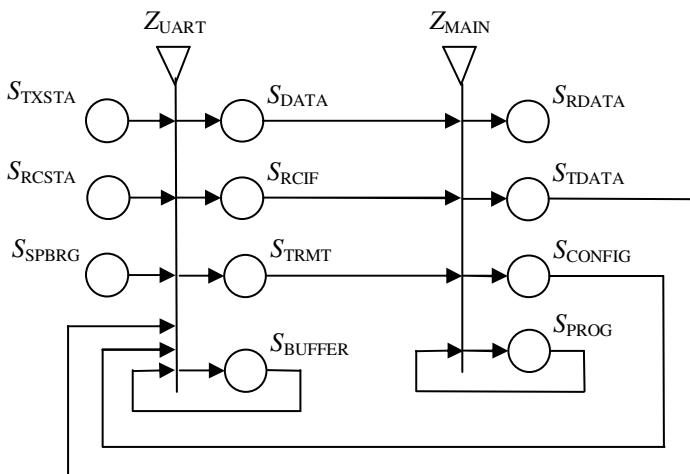
- $Z_{ADC}$  – работа на подсистемата АЦП;
- $Z_{MAIN}$  – работа на потребителската програма.



Фиг. 3.5. Обобщеномрежов модел на АЦП подсистема на микроконтролер PIC16Fxxx

На Фиг. 3.6 е показан графично обобщеномрежови модел на UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) подсистема на микроконтролер PIC16Fxxx. Моделът съдържа два прехода, които описват следните процеси:

- $Z_{UART}$  – работа на подсистемата UART;
- $Z_{MAIN}$  – работа на потребителската програма.



Фиг. 3.6. Обобщеномрежов модел на UART подсистема на микроконтролер PIC16Fxxx

### 3.3. Обобщеномрежов модел на система за снемане и съхранение на температурни данни

Разработената вградена система дава възможност за измерване и съхранение на температурни данни за относително дълъг период от време, с цел последваща обработка и анализ. Системата е предназначена за измерване на две температурни стойности – температурата на определена част от повърхността на човешкото тяло (кожата), и температурата на въздуха в непосредствена близост. Измерванията се извършват през предварително зададени интервали от време, като измерените стойности се записват във външна EEPROM памет. Дадена е възможност за комуникация на вградената система с персонален компютър, чрез RS232 интерфейс. При подадена

заявка от персоналният компютър, чрез разработената приложна програма, всички данни от EEPROM паметта се прехвърлят в компютърната система.

Микроконтролерът (Фиг. 7) осигурява три типа серийна комуникация – 1-Wire, I<sup>2</sup>C и UART. Връзката с външната EEPROM памет се осъществява също чрез I<sup>2</sup>C комуникационен протокол.

През по-голямата част от времето, между две измервания и запис, системата работи в режим на ниска консумация (SLEEP). В този режим работи единствено модулът *Таймер 1*, от таймерната подсистема на микроконтролера. Преминаването в активен режим на работа на микроконтролера се извършва при настъпило прекъсване на Таймер 1, т.е. при преминаване на брояча от състояние FFFF в състояние 0000.

В активен режим се извършват следните действия:

- прочитане на данните от двата сензора;
- запис на данните във външната EEPROM памет;
- при евентуално постъпила заявка по UART от PC - прочитане и изпращане на данните от външната памет, чрез UART, към PC.

Прехвърлянето на данните от външната EEPROM памет към персонален компютър се извършва чрез разработен приложен софтуер, посредством RS232 комуникационен интерфейс. Когато във входния буфер на подсистемата USART на микроконтролера постъпи необходимата кодова дума, се стартира цикъл на прочитане и изпращане на данни от EEPROM към PC, до достигане на максималния адрес на EEPROM.

На Фиг. 3.11 е представен обобщеномрежовият модел на системата. Обобщената мрежа съдържа следното множество от преходи A:

$$A = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7\},$$

Отделните преходи описват следните процеси:

$Z_1$  – работа на брояча Timer1;

$Z_2$  – прочитане на данните от сензорите;

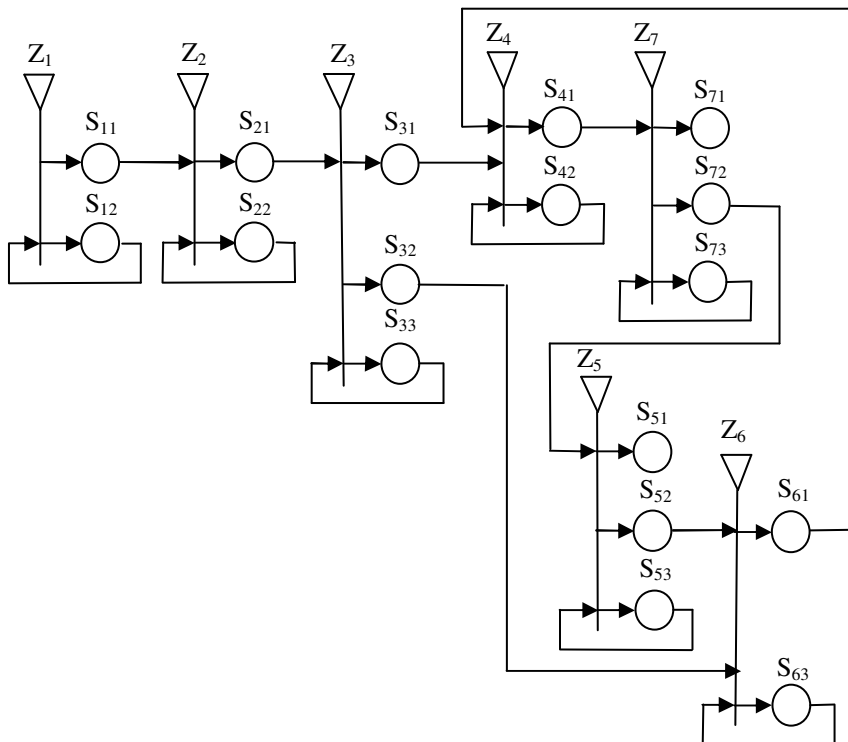
$Z_3$  – преизчисляване на поредния адрес за запис в EEPROM;

$Z_4$  – процедури за комуникация по UART;

$Z_5$  – преизчисляване на поредния адрес за четене от EEPROM;

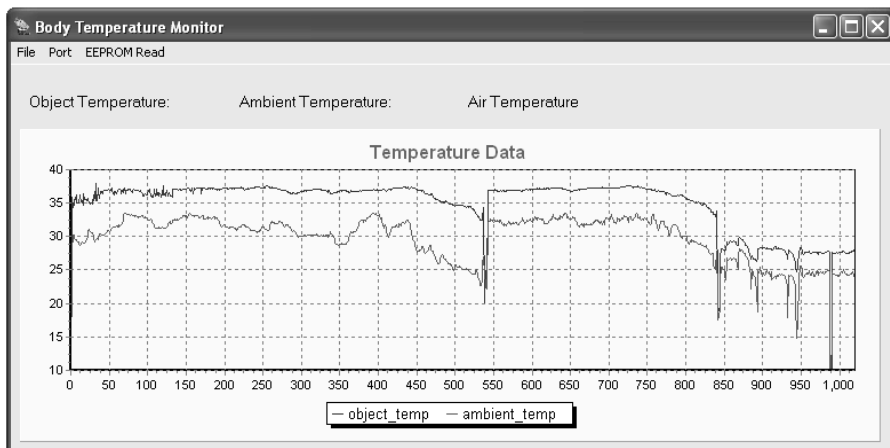
$Z_6$  – четене/ запис на данни от/ в EEPROM;

$Z_7$  – преобразуване и запис на данните в масив.



Фиг. 3.11. Обобщеномрозов модел на вградена система за измерване и съхранение на температурни данни

На Фиг. 3.12 е показан изгледът на прозореца на разработения приложен софтуер, с изобразени графично, реално измерени температурни стойности при различни условия.



Фиг. 3.12. Изглед на прозореца на приложния софтуер към системата за снемане на температурни данни

### 3.4. Обобщеномрежов модел на система за визуализация на данните от 3D сензор за линейно ускорение

Разработената вградена система съдържа аналогов 3D акселерометър MMA7361L и 8-битов микроконтролер PIC18F4550. Сензорът е свързан към три от мултиплексираните аналогови канали на микроконтролера. Връзката на вградената система с персонален компютър се осъществява, чрез USB комуникационен интерфейс. Чрез този интерфейс се получава и захранването (5V) за вградената система. Това напрежение се редуцира до 3,3V и се подава като захранващо за сензора и еталонно за АЦП на микроконтролера.

Алгоритъмът на приложната програма следва няколко основни етапа:

- приемане на данните;
- преобразуване на данните от 8 в 16 битови;
- филтриране;
- запис (опресняване) на данните в масив;
- визуализация.



Разработени са процедури и функции, позволяващи няколко вида визуализация на данните в реално време:

- времедиаграми на данните от трите измерения (x, y и z), с възможност за едновременно изменение на времевата и амплитудната развивка и параметрите на филтъра, и поотделно изменение на вертикалното отместване;
- времедиаграми на данните от едно измерение, с прилагане на различни методи на филтрация и обработка;
- управление на 3D виртуален обект на базата на данните от трите измерения, получавани от сензора;
- 3D вектор, образуван от данните по трите направления на сензора в 3D координатна система, с прилагане на различни типове обработка.

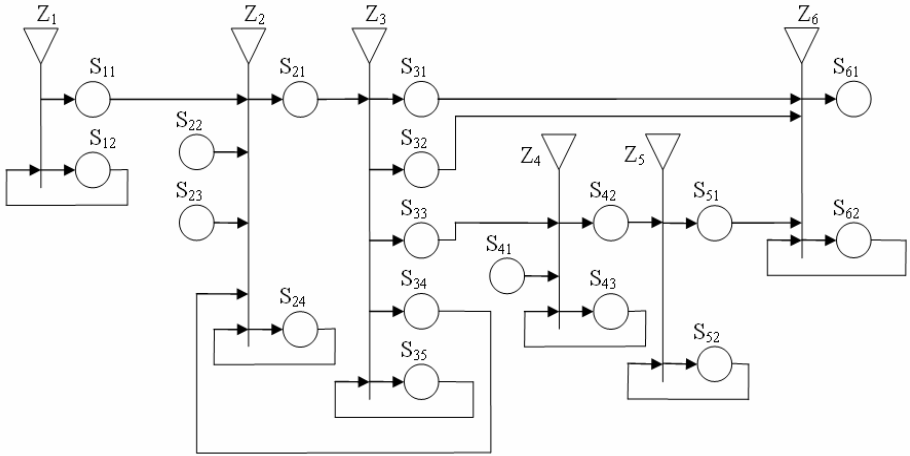
За визуализация на данните във вид на времедиаграма са използвани едномерни масиви за съхраняване на данните. Опресняването на данните се извършва като след всяко постъпване на данни, елементите на целия масив се преместват с една позиция, като последно постъпилата стойност се записва под индекс "0", а най-старата стойност (тази с максимален индекс) отпада. Броят на елементите на масивите зависи от избраната времева развивка.

Обобщеномрежовият модел на системата е представен графично на Фиг. 3.18. Обобщената мрежа съдържа следното множество от преходи A:

$$A = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6\}$$

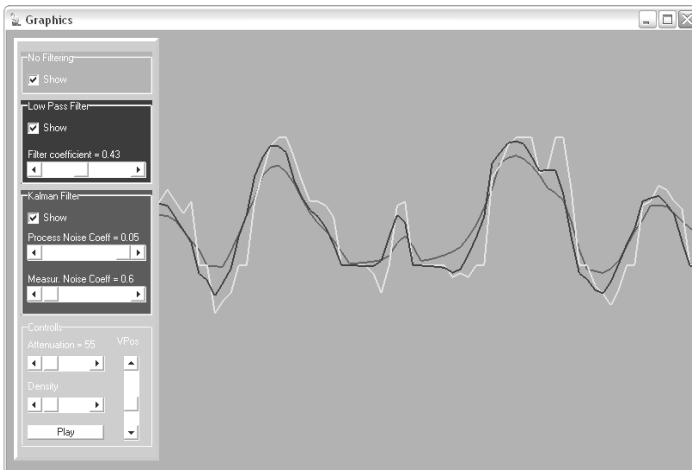
Отделните преходи описват следните процеси:

- $Z_1$  – Преобразуване на капацитет в напрежение;
- $Z_2$  – Аналогово-цифрово преобразуване, външни прекъсвания (бутони), обслужване на USB заявки;
- $Z_3$  – Обслужване на комуникационния интерфейс, преобразуване и съграняване на постъпващи данни;
- $Z_4$  – Филтриране;
- $Z_5$  – Опресняване на данните в масиви;
- $Z_6$  - Визуализация.



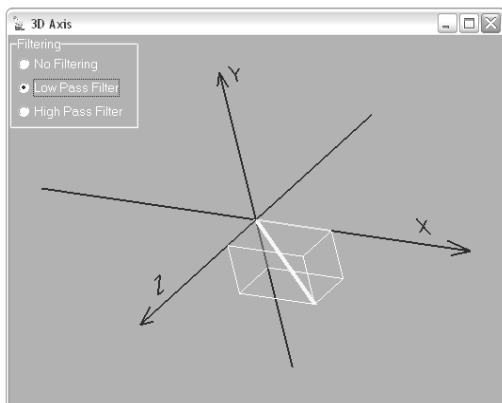
Фиг. 3.18. Обобщено-мрежов модел на система за визуализация и обработка на данни от акселерометър.

На Фиг. 3.19 е показан изглед от графичния интерфейс на приложния софтуер, с изобразени данни във времето, от едно от направленията на сензора,, с прилагане на различни видове филтри.



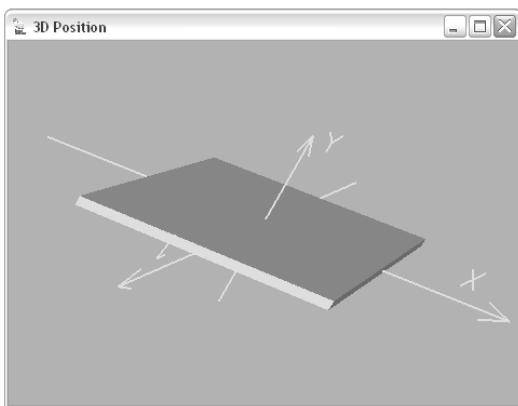
Фиг. 3.19. Визуализация на данните от едно от направленията с използване на различни филтри

На Фиг 3.20 е показан изглед от графичния интерфейс, на който е изобразен вектора за ускорението в триизмерна координатна система, с възможност за прилагане на различни видове филтри.



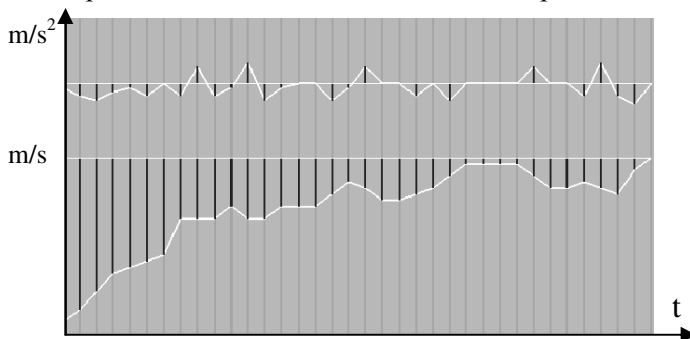
Фиг. 3.20. Визуализация на данните от трите измерения в пространствена координатна система

На Фиг. 3.21 е показан изглед от графичния интерфейс, изобразяващ виртуален пространствен обект, чиато позиция в пространството, зависи от положението на сензора за линейно ускорение.



Фиг. 3.21. Управление на виртуален пространствен обект, в зависимост от данните от трите измерения на сензора

На Фиг. 3.22 са показани резултатите от визуализацията на данните за ускорението по едно от направленията на сензора и графика, изобразяваща изчислената моментна скорост.



Фиг. 3.22. Визуализация на линейното ускорение по едно от направленията на сензора и получената скорост.

### 3.5. Обобщеномрежов модел на система за ултразвуково сканиране на околното пространство

В тази вградена система са включени 8-битов микроконтролер с вградени модули за комуникация по I<sup>2</sup>C и USB комуникационни протоколи PIC18F4550, комбиниран сензор – акселерометър-магнитометър LSM303DLH и ултразвуков сензор LV-MaxSonar-EZ1. Комбинираният сензор е използван като *електронен компас*, за определяне на текущото направление на системата спрямо магнитния север, а ултразвуковият – за определяне на разстоянието до най-близкото препятствие в съответното направление.

Разработени са две програми: за вградената система и приложен софтуер за компютърна система. Програмата за вградената система изпълнява следните задачи:

- комуникация с комбинирания сензор по шина I<sup>2</sup>C, инициализация и периодично прочитане на данните от сензора;
- преобразуване на данните от акселерометъра и магнитометъра и изчисляване на ъгъла спрямо магнитния север;

- преобразуване на напрежението от аналоговия изход на ултразвуковия сензор, пропорционално на разстоянието до най-близкия обект;
- изпращане на данните, чрез USB интерфейс към персонален компютър..

Приложният софтуер изпълнява следните задачи:

- приемане на данните от вградената система;
- преобразуване, запис (опресняване) на данните в масив;
- графично изобразяване на данните;

След началното установяване (reset) на микроконтролера, към комбинирания сензор се изпращат няколко командни байта за настройка на неговата работа. Данните, прочитани периодично от сензора, са във формат знакови, целочислени. Определянето на ъгъла спрямо действителния магнитен север се извършва на базата на данните от магнитометъра и акселерометъра.

Стойностите за разстоянието до най-близкото препятствие се получават след аналогово-цифрово преобразуване на напрежението от изхода на ултразвуковия сензор. Тази стойност, заедно с изчислената стойност на текущия азимут се изпращат към персонален компютър. Следва съхраняване на данните в масив, съдържащ 360 елемента, като индексът на съответния елемент, представлява ъгъла (азимута) между магнитния север и текущото направление на ултразвуковия сензор. Така организирани, данните представляват координати на точки в полярна координатна система.

Обобщенорежовият модел на системата е представен графично на Фиг. 3.26. Обобщената мрежа съдържа следното множество от преходи  $A$ :

$$A = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6\},$$

където преходите описват следните процеси:

$Z_1$  – Преобразуване на капацитет в напрежение и ток в напрежение;

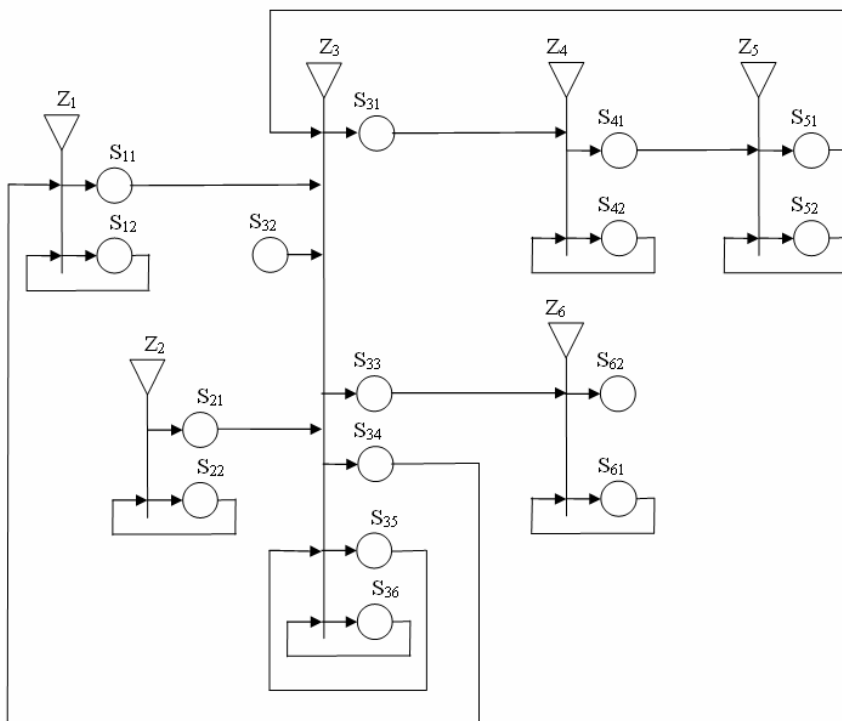
$Z_2$  – Измерване на времето между два ултразвукови импулса,

$Z_3$  – Приемане на данните, мащабиране, аналогово-цифрово преобразуване;

$Z_4$  – Изчисляване на азимута;

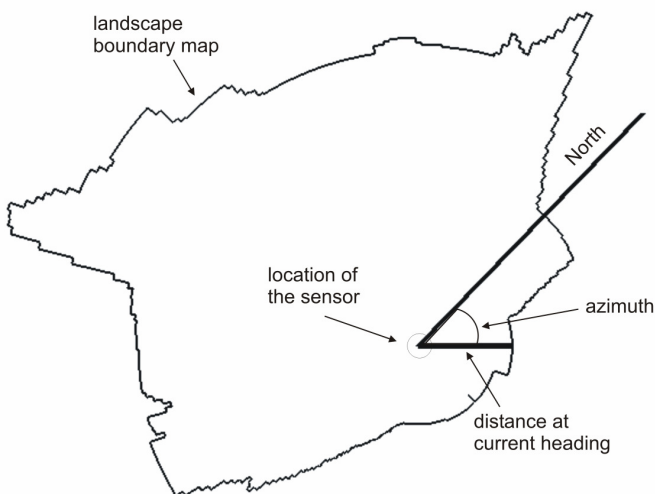
$Z_5$  – Филтриране.

$Z_6$  – Съхраняване (опресняване) на данните, изобразяване на данните..



Фиг. 3.26. Обобщено-мрежов модел на системата за сканиране на илюлната среда с използване на магнетометър, акселерометър и ултразвуков сензор

На Фиг. 3.27 е показан резултата от сканирането на произволно пространство с помощта на разработения модул. Отсечката “North” е с константна дължина и показва текущата посока “север”. По-късата (в конкретната позиция) отсечка показва текущото направление на ултразвуковия сензор. Общата точка на двете отсечки е позицията на модула. Фигурата с неправилна форма представлява множество от свързани точки (общо 360), като разстоянието между всяка точка и пресечната на двете основни линии е пропорционално на разстоянието от модула до най-близкото препятствие.



Фиг. 3.27. Резултати от визуализацията на данните от сензорите в 360 градусов обхват

### 3.6. Обобщеномрежов модел на UI характернограф

Тази вградена система е изградена на базата на 8-битов микроконтролер PIC16F87х, и представлява компютърен модул за снемане на семейства волт-амперни характеристики на биполярни транзистори и полупроводникови диоди (Фиг. 3.28).

В използвания микроконтролер са вградени следните подсистеми, необходими за работата на модула като цяло:

- 10-битов АЦП, с възможност за свързване към 13 аналогови канала;
- три пълни (8 разредни) входно-изходни порта;
- подсистема за обслужване на серийна асинхронна комуникация UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

Необходимите еталонни напрежения и токове се получават чрез цифров код, подаван паралелно от два от портовете на

микроконтролера, към два дискретни цифрово-аналогови преобразуватели (ЦАП). Те са реализирани чрез резисторни R-2R матрици, като изходите им са свързани към буферни схеми, реализирани чрез операционни усилватели, където напреженията се преобразуват, мащабираят и отместват. Напреженията непосредствено след ЦАП, както и това след преобразувателя ток/напрежение, се подават към 4 мултиплексирани аналогови канала на микроконтролера. Напреженията се преобразуват последователно от 10-битовия АЦП, вграден в микроконтролера. Преобразуваните стойности се предават чрез сериен интерфейс (RS232) към компютърна система за съхранение и визуализация.

Програмното осигуряване се състои от две части: програма за вградената система и приложна програма за компютърна система.

Програмата за микроконтролера е разработена на асемблерен език и изпълнява следните основни функции:

- изчаква сигнал за старт на измерванията;
- генерира 12 битови двоични кодове, необходими за двата дискретни цифрово-аналогови преобразувателя;
- преобразува последователно аналоговите напрежения
- изпраща преобразуваните данни чрез UART.

Приложната програма от своя страна изпълнява следните задачи:

- приема данните по серийния комуникационен интерфейс;
- преобразува (мащабира) получените данни;
- записва данните в масиви;
- визуализира данните в координатна система.

Освен изброените функции, които изпълнява приложната програма, са добавени и някои допълнителни функции:

- мащабиране на цялата координатна система;
- изобразяване, по избор, на определени квадранти на координатната система

Обобщената мрежа (Фиг.3.30) съдържа следното множество от преходи A:

$$A = \{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_7\},$$

като преходите описват следните процеси:

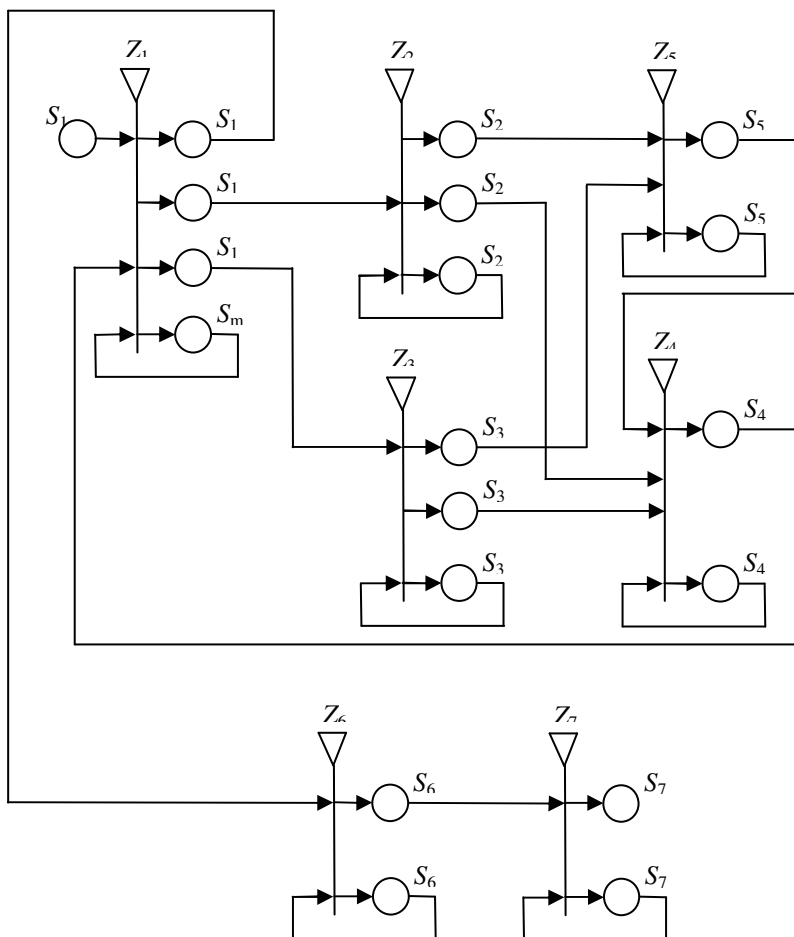
$Z_1$  – Процедури в микроконтролера;

$Z_2$  – Преобразуване на цифров код в ток (ЦАП1);

$Z_3$  – Преобразуване на цифров код в ток (ЦАП2);



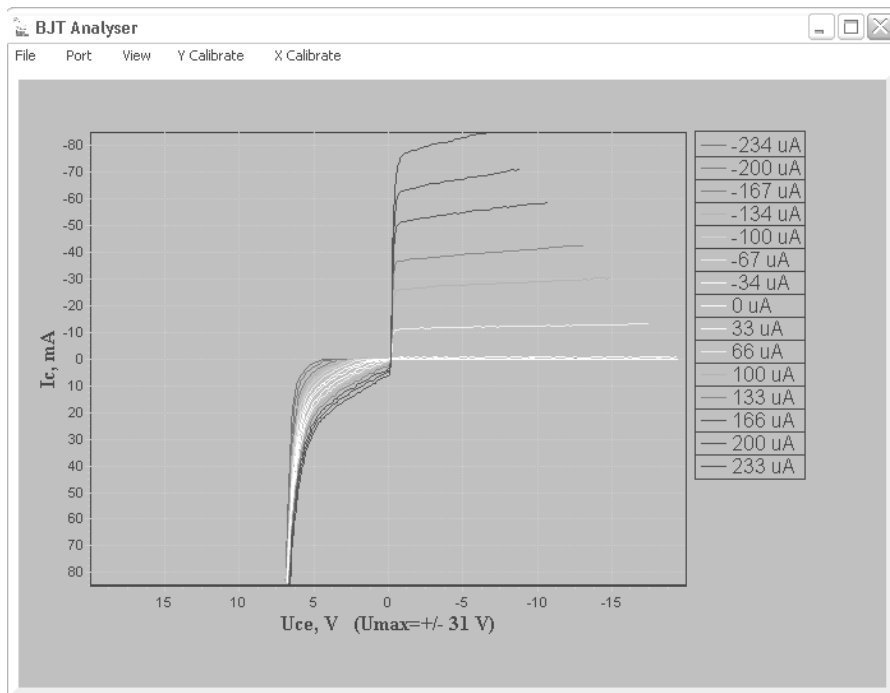
$Z_4$  – Избор на NPN или PNP транзистор;  
 $Z_5$  – Преобразуване на аналоговото напрежение в цифров код;  
 $Z_6$  – Мщабиране и преобразуване на данните за визуализация;  
 $Z_7$  – Визулизация на данните.



Фиг. 3.30. Обобщено-режов модел на UI характернограф

На Фиг. 3.31 е показан изглед от графичния интерфейс на разработения приложен софтуер, на който са изобразени графично резултатите от измерване на волт-амперните характеристики на NPN

биполярен транзистор. Различните нюанси на графиките съответстват на различни базови токове.



Фиг. 3.31. Визуализация на данните в четирите квадранта на координатната система

## Научно-приложни и приложни приноси към дисертационния труд

Приносите в дисертацията с научно-приложен характер се свеждат до създаването на обобщеномрежови модели в неразработен диапазон, а приносите с приложен характер представляват реализирани приложни програми и вграден софтуер. Приносите в дисертационния труд с научно-приложен характер могат да се формират по следния начин:

- Предложени са обобщеномрежови модели, базови за логически вентили, комбинационни цифрови схеми – дешифратор, компаратор, суматор, мултиплексор, и на последователности цифрови схеми – SR, JK, D тригери, двоичен брояч, последователен и паралелен преместващ регистър;
- Предложени са обобщеномрежови модели на подсистеми на микроконтролер - таймер, подсистема за аналогово-цифрово преобразуване, подсистема за последователен асинхронен обмен на данни, както и на вградени системи - за снемане и съхранение на температурни данни, за снемане и визуализация на данни от 3D сензор за линейно ускорение, за ултразвуково сканиране на околното пространство, и на система за снемане и визуализация на волт-амперни характеристики на биполярни транзистори.

Към приносите с приложен характер могат да се отнесат реализираните приложни програми и вграден софтуер за вградена система за снемане и съхранение на температурни данни, за ултразвуково сканиране на околното пространство и за снемане и визуализация на волт-амперни характеристики на биполярни транзистори.

## Публикации, свързани с дисертационния труд

1. Ербаканов Л., Едно приложение на 3D сензор за линейно ускорение за описание на 3d контур чрез анализ и обработка на данни, Management and Education Vol IX(6), 2013, 133-137
2. Erbakanov L., K. Atanassov, S. Sotirov, Generalized Net Model of a Body Temperature Data Logger Embedded System, International Journal Bioautomation, 19(2), 2015, 237-244
3. Erbakanov L., S. Sotirov, Generalized net model of the procedures of IV curve tracer, In Intelligent Systems (IS), 6th IEEE International Conference, 2012, 184-186,
4. Erbakanov L., S. Sotirov, Modeling the eCompass based area scanning, 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), IEEE, 2014, 1-4
5. Erbakanov L., S. Sotirov, Modeling the work of motion tracking using MEMS accelerometer, Issues in IFS and GNs, Vol. 10, 2013, 193-200
6. Erbakanov L., T. Kostadinov, T. Petkov, S. Sotirov, V. Bureva, Modeling Logic Gates and Circuits with Generalized Nets, In Novel Developments in Uncertainty Representation and Processing, Springer International Publishing, 2016, 243-256