

БАБУШКИН С. В.

*Численные методы для
электроники в среде
MatLAB*

КОЛОМНА

ИЗДАТЕЛЬСТВО КИ (Ф) МГОУ 2010

УДК 51-74:621

ББК 32.973.26-018.2

Б12

Б12

Бабушкин С. В. Методы Численные методы для электроники MatLAB. – Коломна: Издательство КИ (ф) МГОУ, 2010.

Приводиться изложение приемов обработки информации для ее последующего наглядного представления. Приведены основные этапы, необходимые для численной обработки данных.

Книга будет полезна широкому кругу читателей интересующихся способами численной обработки данных. Для студентов технических специальностей.

УДК 51-74:621

БДК 32.973.26-018.2

© Бабушкин Сергей Владимирович, 2010

Оригинал-макет данного издания является собственностью автора, и его репродуцирования (воспроизведение) любым способом без согласия автора запрещено.

Введение

Предисловие

При составлении данного материала использовался цифровой осциллограф ZET 302, математический пакет MatLAB и алгоритм по обработки данных эксперимента, конкретно – метод наименьших квадратов (МНК).

В ходе моих исследований передо мной была поставлена задача оценки потребляемой мощности, спроектированной мною схемы, от сети. Работа была нацелена на снижение энергопотребления. Схема и описание к ней приведены в приложении.

Имея цифровой осциллограф и математический пакет или среду визуального (желательно) программирования возможно провести исследование стенда (устройства и т.п.) на предмет энергопотребления, шумов, устойчивости, анализа переходных процессов и т.д. Остановимся на применении знаний численных методов для обработки сигналов и вычисления их параметров.

Исходные данные и предпосылки

Цифровой осциллограф обладает частотой дискретизации равной 50 МГц . Привлекая теорему Котельникова-Найквиста, можно утверждать, что используемый осциллограф точно воспринимает сигналы (гармоники) с частотами до 10 МГц . Учитывая, что осциллограф пропускает постоянный сигнал, можно заключить, что диапазон воспринимаемых частот составляет $f \in [0; 10] \text{ МГц}$.

Учитывая, что схема работает на электромагнитный клапан газового дизель-генератора и частоты его работы невелики и составляют величину $f = 8..15 \text{ Гц}$ (это командный сигнал (КС)), то такой осциллограф подходит и даже с излишками. Хотя используется импульсный командный сигнал, его фронты, как видно из осциллограмм, нормальные.

Произведем анализ работы стенда и потребляемую мощность в зависимости от активного сопротивления нагрузки. При этом в запирающей части триггера ток остается постоянным и не зависит от сопротивления нагрузки.

Как видно из электрической принципиальной схемы, ток, потребляемый всем стендом, находится путем сложения тока в ветви нагрузки с током в запирающей ветви. Ток, потребляемый логическим блоком, составляет примерно $30..50 \text{ мА}$ и им можно пренебречь.

Расчет мощности

1. Основные формулы и соотношения

Мощность рассчитывается по простейшей формуле:

$$P = UI \quad (2.1)$$

Эта формула справедлива лишь для постоянного тока. Т.к. мы имеем дело с импульсным током, то эта формула говорит нам о том, что среднее значение потребляемой мощности есть произведение средних значений тока и напряжения.

Среднее же значение мощности можно получить по формуле:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.2)$$

Здесь функция $p(t)$ и есть функция мощности. Эту функция можно получить по выражению:

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (2.3)$$

Т.к. мы имеем дело с дискретными сигналами, то вид всех функция приводиться к виду:

$$p_i = u_i i_i \quad (2.4)$$

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (2.5)$$

Т.е. мы работаем с отсчетами сигналов.

В этих формулах T – период сигнала. Этот период может быть как именно период повторения КС, так и время в течении которого производилось наблюдение (время которое осциллограф записал в файл).

2. Метод наименьших квадратов (МНК)

МНК – один из методов интерполяции экспериментальных данных. Также этот метод можно применить и для экстраполяции данных на неизмеренный диапазон. Экстраполяцию можно применять этим методом лишь для сигналов, чья физическая или логическая природа не предполагает резких перепадов, наличия неопределенностей или точек разрыва, а также не предполагает сложного характера функции.

Сам метод состоит в отыскании некой интерполирующей функции, представленной в виде полиномиальной функции:

$$\varphi = \sum_{j=0}^n a_j (v(x))^j \quad (2.6)$$

Здесь функция $v(x)$ может быть представлена как просто в виде $v(x) \equiv x$, так и быть любой алгебраической функцией, например, $v(x) \equiv \sin(x)$ или любой другой. Это можно утверждать, т.к.

при использовании данного метода, решаемые системы уравнений будут линейны относительно искомым элементов в этом уравнении, а именно линейны относительно a_j .

Итак, условие поиска:

$$\Phi(a_0, \dots, a_{m-1}) = \sum_{i=0}^{m-1} (\varphi(x_i, a_0, \dots, a_{m-1}) - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2.7)$$

Оно достигается путем поиска экстремума по всем неизвестным, итого:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Phi}{\partial a_0} \Big|_{x=x_0} = \sum_{i=0}^{m-1} (\varphi(x_i, a_0, \dots, a_{m-1}) - y_i) \frac{\partial \varphi}{\partial a_0} \Big|_{x=x_0} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial a_{m-1}} \Big|_{x=x_{m-1}} = \sum_{i=0}^{m-1} (\varphi(x_i, a_0, \dots, a_{m-1}) - y_i) \frac{\partial \varphi}{\partial a_{m-1}} \Big|_{x=x_{m-1}} = 0 \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Подставив в (2.8) выражение (2.6) и продифференцировав, получим в итоге выражение для вычисления коэффициентов полинома (2.6) в виде линейной система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m \sum_{i=0}^n a_j (v(x_i))^{j-1} x_i^q = \sum_{i=0}^n y_i x_i^q \\ q = 0, m-1 \end{array} \right. \quad (2.9)$$

Именно в соответствии с этой формулой и идет вычисления МНК в приведенном в приложении листинге кода.

3. Численное интегрирование

Для расчета мощности можно использовать непосредственно приведенную формулу 2.5, но, т.к. было упомянуто что мы будем руководствоваться формулой 2.2, то нам потребуется один из методов численного интегрирования. Воспользуемся формулой Симпсона.

$$\begin{aligned} I &= \frac{\Delta t}{3} (p_1 + 4S_1 + 2S_2 + p_n) \\ S_1 &= p_2 + p_4 + \dots \\ S_2 &= p_3 + p_5 + \dots \end{aligned} \quad (2.10)$$

4. Непосредственный расчет

Этап осциллографирования я опускаю. Осциллограммы приведены в приложениях.

Итак, мощность мы рассчитываем вызовом команды численного интегрирования среднего значения мощности за период:

```
>> P=mean_calk(u_30_1.*i_30_1,t)
```

```
P =
```

```
15.5682
```

Теперь, если вспомнить формулы 2.5 и вызвать расчет среднего значения в массиве сигнала p , то мы получим:

```
>> mean(u_30_1.*i_30_1)
```

```
ans =
```

```
15.5752
```

Незначительная разность объясняется применением численного интегрирования методом парабол, т.к. при этом идет и интерполяция сигнала по трем точкам.

Листинг М-функции приведен в приложении.

Аналогичными методами вычисляем мощности на разных нагрузках и при наличии и отсутствии транзисторов. Полученные графики приведены в приложениях.

Далее вычисляем процент использования мощности оптимизированной схемы от не оптимизированной. График приведен в приложении.

Как видно, все упомянутые графики имеют явно вогнутую нелинейность, нелинейность вида гиперболы, а точнее полиномиальная нелинейность. Для ее интерполяции с последующей экстраполяцией применим метод МНК. Используя полином третьей степени, получаем коэффициенты полинома по алгоритму и строим кривую. Кривые приведены на графиках.

При интерполяции закладываем в вид кривой тот факт, что с ростом тока нагрузки, т.е. с уменьшением активного сопротивления нагрузки, ток в запирающей ветви оказывает малое влияние. Как видно по графикам, прогнозные кривые при приближении к нулю сближаются!

Заключение

Как видно, при современном развитии вычислительных машин и развитии электроники и ее применения для цифровых вычислителей, гораздо удобнее производить работу с сигналами путем их оцифровки, квантования с последующей обработкой на ЭВМ.

Ярким примером такого симбиоза («наблюдатель»-«вычислитель»-«анализатор») может выступить осциллограф. На современном этапе развития электроники и ЭВМ, этот незаменимый прибор электронщиков, стал сопрягаться с ЭВМ, что позволило напрямую, используя оцифрованный сигнал, работать с параметрами сигналов и производить его исследование.

Был разобран один из самых эффективных методов расчета мощности, потребляемой схемой, аналогичным путем можно провести расчет мощности потребляемой транзистором для расчета охладителя к нему. Около двух десятков лет назад, подобный расчет производили в ручную, используя перерисованную на миллиметровку осциллограмму сигналов тока и напряжения, с последующим вычислением площади под кривой мощности (геометрический смысл определенного интеграла).

Сейчас же производить подобные «телодвижения» стало бессмысленно, т.к. есть уже оцифрованный сигнал тока и напряжения. Лишь путем буквально нескольких кликов мыши можно проделать работу, на которую можно было затратить достаточное время.

Помимо преимуществ скорости вычислений, с полученным оцифрованным сигналом можно произвести и любые другие манипуляции: произвести его фильтрацию; промоделировать проход оцифрованного сигнала через любое динамическое звено не имея оно и т.д.

В данном контексте, преимущества «цифры» неоспоримы, но есть и подводные камни, надо учитывать теоремы по работе с цифровыми сигналами, теоремы используемые при переводе аналогового сигнала в цифровой. Учитывать особенности оцифровки и предполагать возможные неприятности.

Список используемой литературы

1. Бабушкин С. В., Кузин В. Е. Силовые электронные устройства: Методические указания к лабораторной работе. – Коломна: Издательство КИ (ф) МГОУ, 2010. – 30 с.
2. Вержбицкий В. М. Основ численных методов: Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 2005. – 840 с.: ил.
3. Лазарев Ю. Ф. Начала программирования среде MatLAB: Учебное пособие. – Киев: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с.

Приложение А. Листинг М-функции для получения среднего

значения сигнала

```
function [P]=mean_calk(p,t);
[n,m]=size(p);
if n==1
    n=m;
end;
s1=0;
s2=0;
h=t(2)-t(1);
T=t(n)-t(1);
P=p(1)+p(n);
j=2;
while (j<n-1)
    s1=s1+p(j);
    s2=s2+p(j+1);
    j=j+2;
end;
P=h*(P+4*s1+2*s2)/3;
P=P/T;
```

Приложение Б. Листинг метода МНК (язык Delphi)

...

```
type masy=array of array of real;
     masx=array of real;
```

...

```
function vx(w:real;par:string):real;stdcall;
begin
if par='x' then result:=(w);
if par='sin' then result:=sin(w);
if par='exp' then result:=exp(w);
if par='ln' then result:=ln(w);
end;
```

```
procedure GaussSLY(a:masy;b:masx;n:integer;var x:masx);stdcall;
```

```
label 1,2,3;
```

```
var
```

```
i,j,k,r,q,m:integer; c,s,c1:real;
```

```
begin
```

```
for i:=1 to n-1 do begin
```

```
  if a[i-1,i-1]=0 then begin
```

```
    for r:=i+1 to n do begin
```

```
      if a[r-1,i-1]<>0 then begin
```

```
        for m:=1 to n do begin
```

```
          c1:=a[i-1,m-1];
```

```
          a[i-1,m-1]:=a[r-1,m-1];
```

```
          a[r-1,m-1]:=c1;
```

```
        end;
```

```
      end;
```

```
      c1:=b[r-1];
```

```
      b[r-1]:=b[i-1];
```

```
      b[i-1]:=c1;
```

```
      goto 1;
```

```
    end;
```

```
  end;
```

```
1: for j:=i+1 to n do begin
```

```
  c:=(-a[j-1,i-1])/(a[i-1,i-1]);
```

```
  b[j-1]:=b[i-1]*c+b[j-1];
```

```

    for k:=1 to n do begin
        a[j-1,k-1]:=a[i-1,k-1]*c+a[j-1,k-1];
    end;
end;
end;
x[n-1]:=b[n-1]/a[n-1,n-1];
for i:=n-1 downto 1 do begin
    s:=0;
    for q:=n downto i+1 do s:=s+a[i-1,q-1]*x[q-1];
    x[i-1]:=((-1)*s+b[i-1])/(a[i-1,i-1]);
end;
end;

procedure LeastSquaresMethod(x:masx;y:masx;n,m:integer;param:string;
var a:masx);stdcall;
var i,j,q:integer;s1,s2:real;
a1:masy;b:masx;
begin
setlength(a1,m+1,m+1);
setlength(b,m+1);
s1:=0;s2:=0;
for q:=0 to m do begin
    for j:=0 to m do begin
        for i:=0 to n-1 do
            s1:=s1+power(vx(x[i],param),j)*power(vx(x[i],param),q);
        a1[q,j]:=s1;
        s1:=0;
    end;
    for i:=0 to n-1 do s2:=s2+power(vx(x[i],param),q)*y[i];
    b[q]:=s2;
    s2:=0;
end;
GaussSLY(a1,b,m+1,a);
finalize(b);
finalize(a1);
end;
...

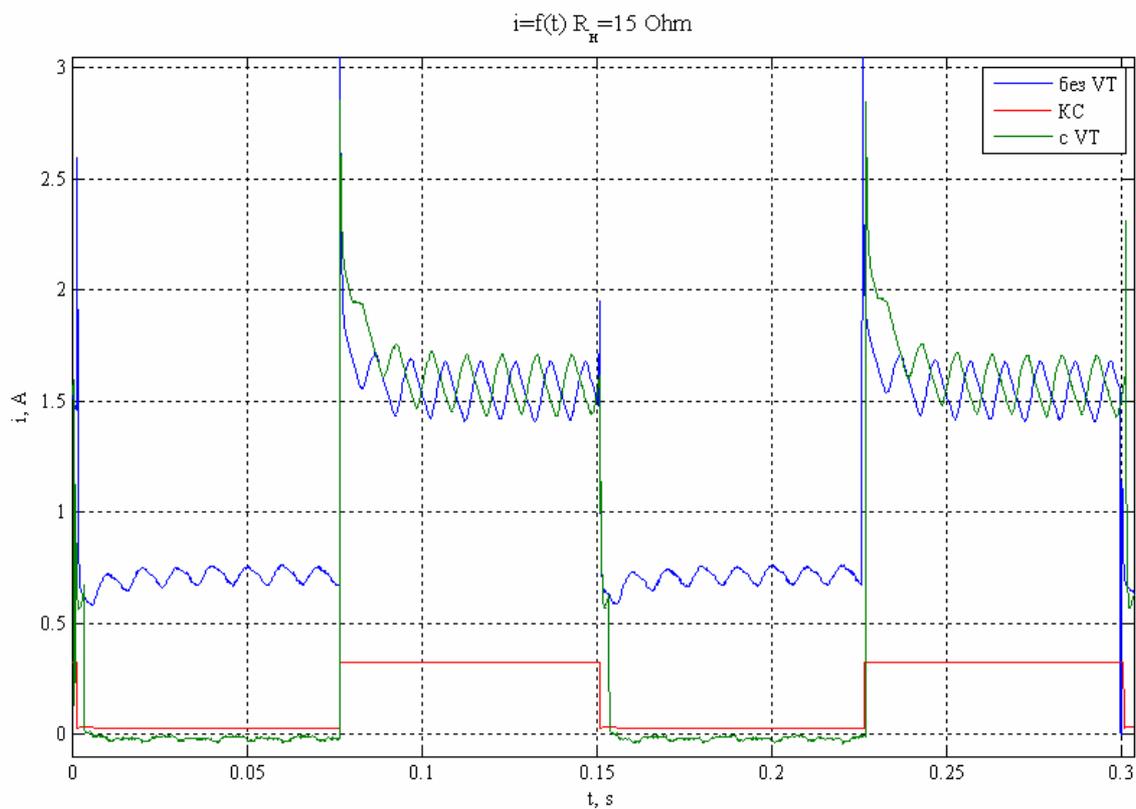
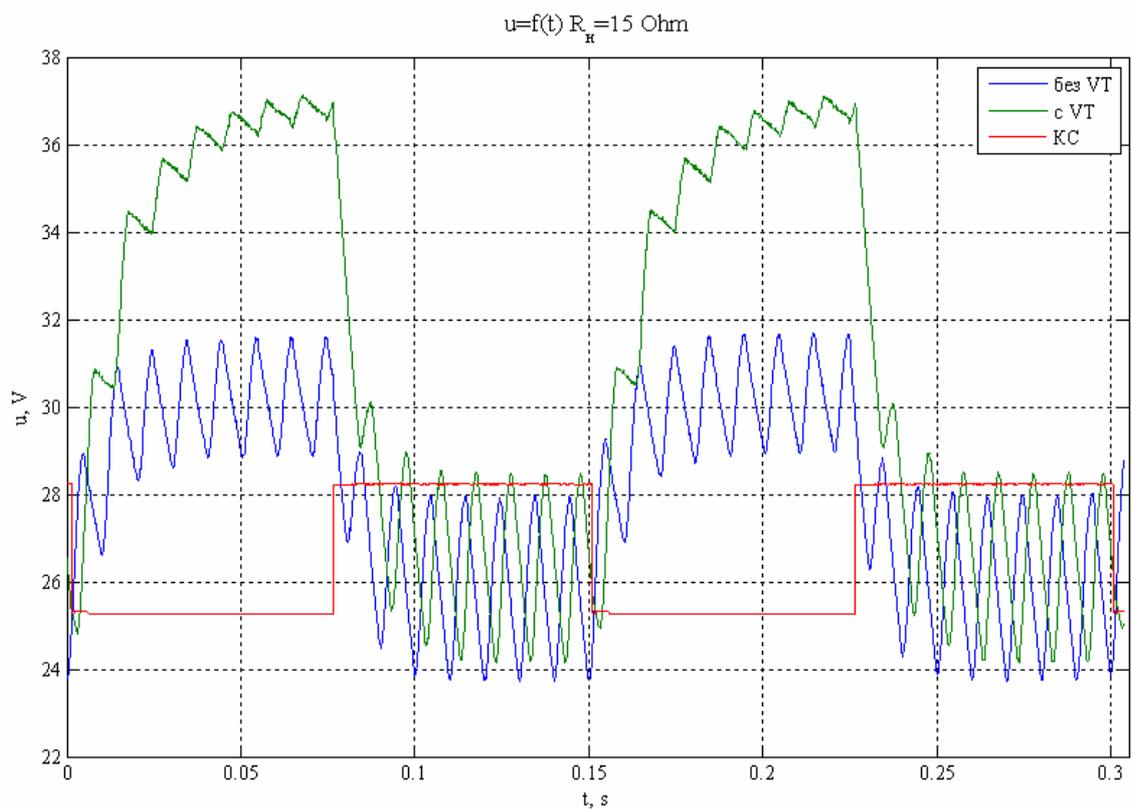
```

Вызов метода из dll-библиотеки осуществляется путем ее подключения:

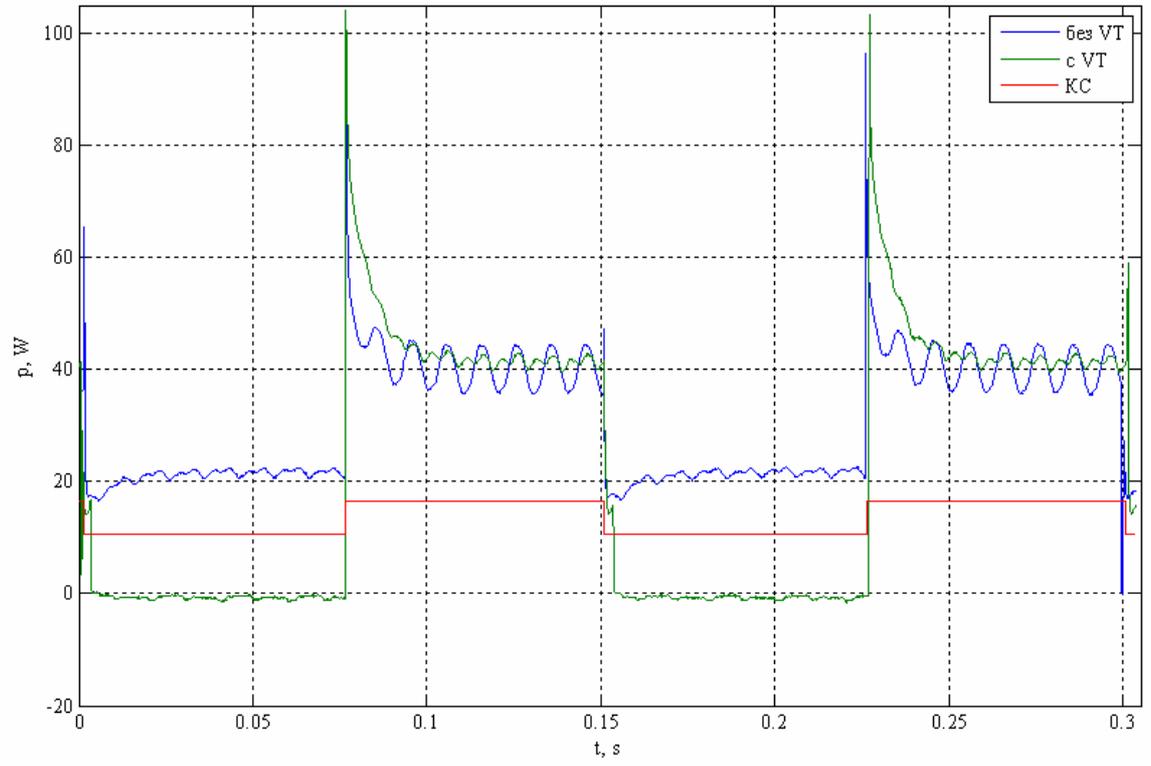
```
procedure LeastSquaresMethod(x:masx;y:masx;n,m:integer;param:string;  
var a:masx);stdcall; External 'interpolationmethods.dll';
```

Как видно, здесь применен еще и метод численного решения систем линейных уравнений – метод Гаусса. Приведенный листинг способен решать проблему интерполяции не только для простейших функций, но и для линейной комбинации некоторых математических функций.

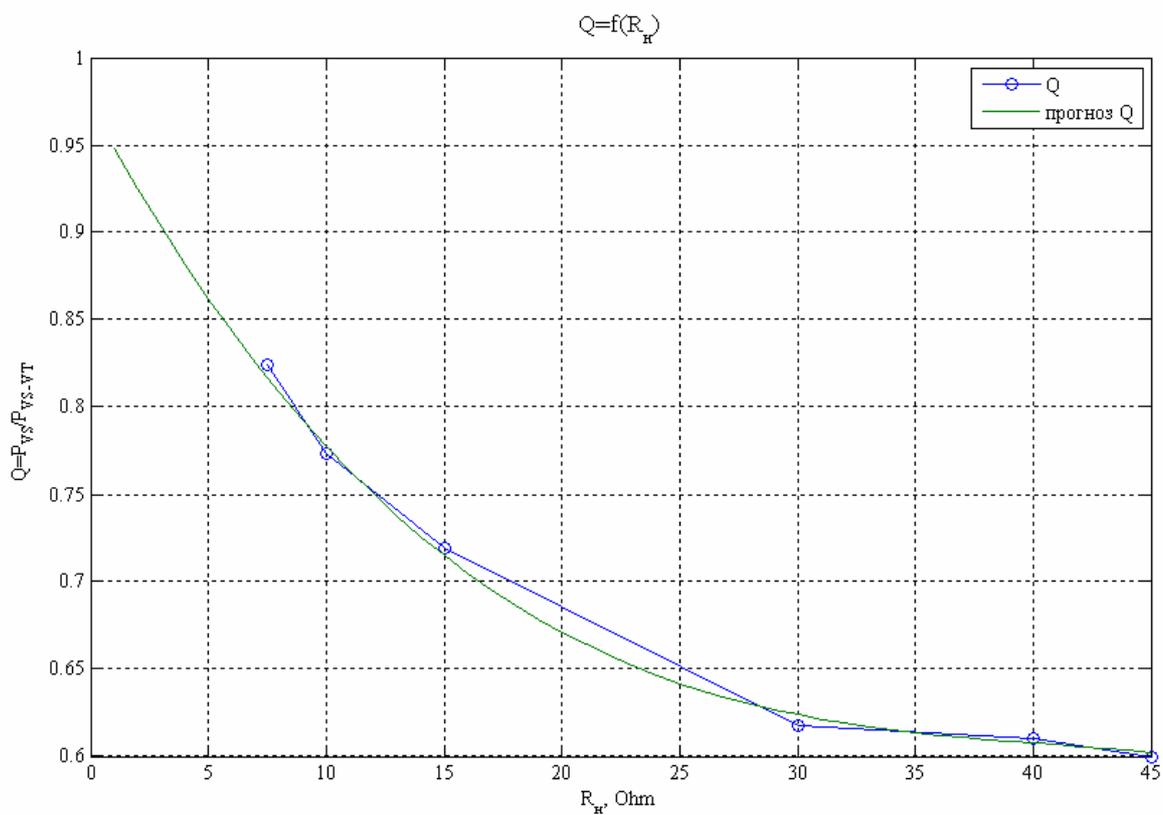
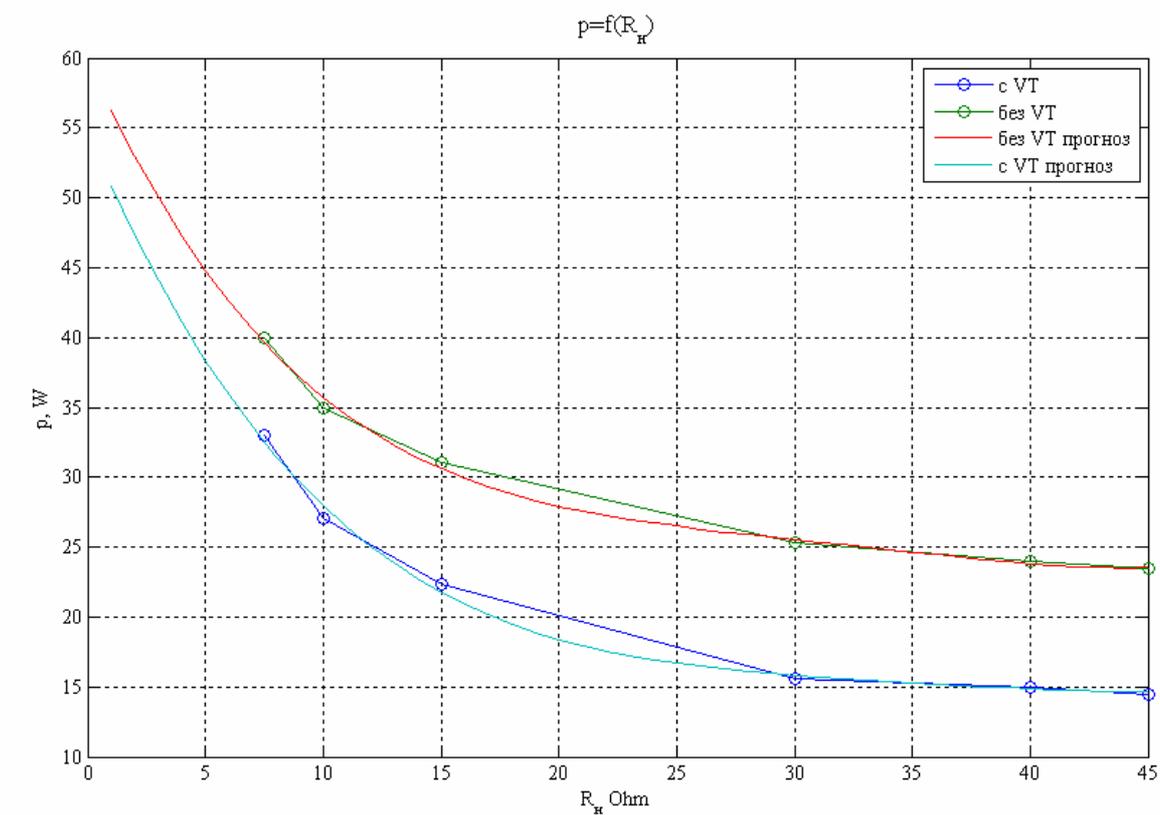
Приложение В. Осциллограммы сигналов



$p=f(t) R_r=15 \text{ Ohm}$

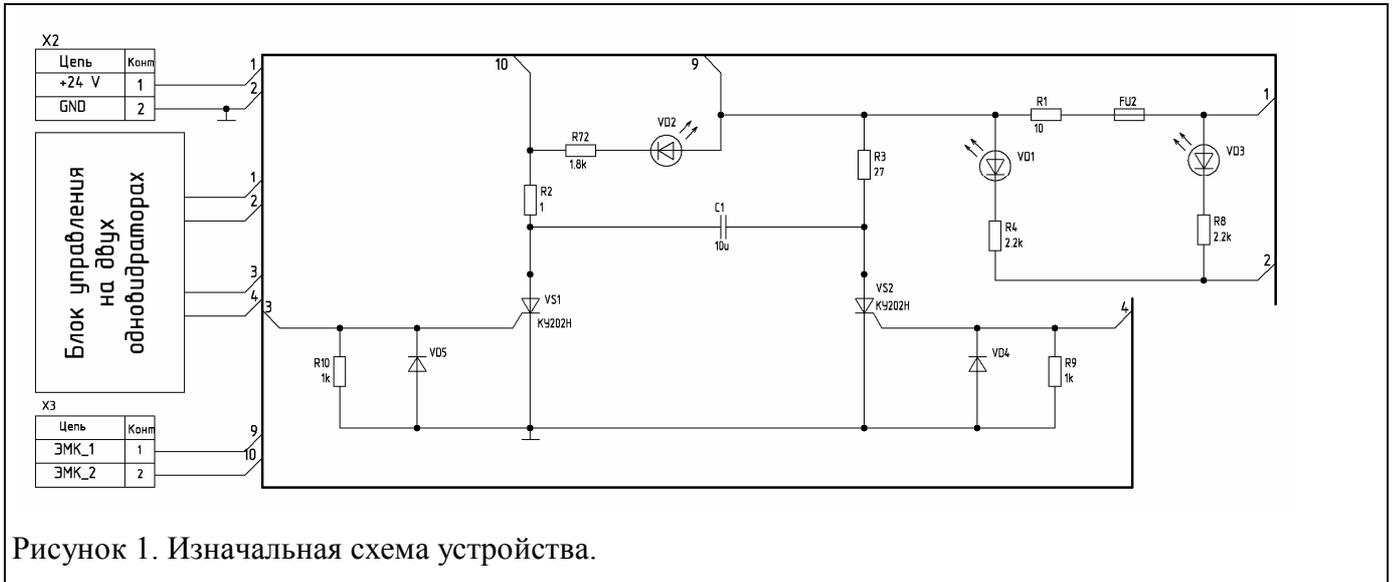


Приложение Г. Мощность и Процент оптимизации

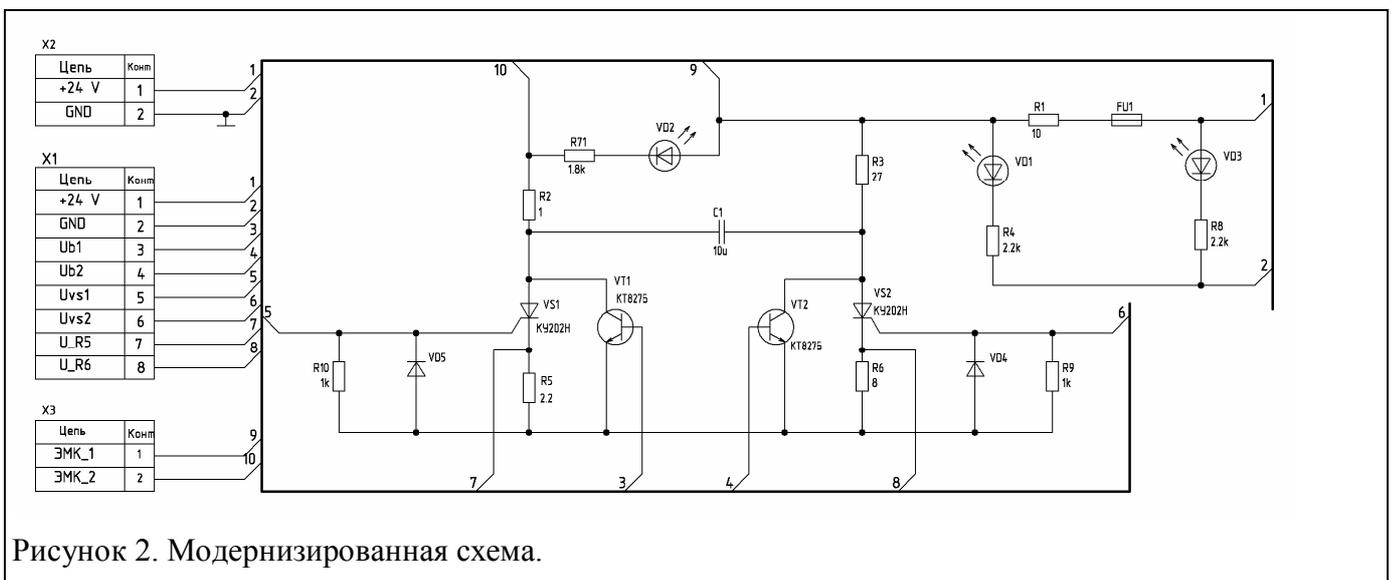


Приложение Д. Исследуемый стенд

Исследуемый стенд был разработан на основе имеющейся конструкции схемы управления для управления электромагнитным клапаном. Но у имеющегося стенда есть недостаток – повышенное энергопотребление.



Так каков же принцип работы стенда (смотри рисунок 1)? А принцип прост! Схема работает на основе простейшей триггерной ячейки, собранной на двух тиристорах. По приходу сигнала с генератора происходит включение первого тиристора. По заднему фронту КС включается второй тиристор, тем самым подключая конденсатор в обратной полярности в первому тиристор. Тиристор при этом запирается. Т.к. клапан состоит из индуктивности катушки и ее активного сопротивления, то возникает колебательный переходный процесс, который, при достаточной своей мощности, может закрыть второй тиристор. Если же мощность мала, то второй тиристор остается открытым и по нему в течении всего времени паузы протекает ток. Это и понижает КПД схемы. По приходу очередного КС процесс перезаряда емкости повторяется, но уже для второго тиристора.



В новой схеме, за состоянием второго тиристора следит сконструированный логический блок, который, при наличии тока в запирающем контуре, генерирует сигнал на базу транзистора, для шунтирования тиристора на необходимое время запирания (один из способов запретить тиристор – шунтировать его, т.е. создать альтернативный, более выгодный путь, для течения тока).

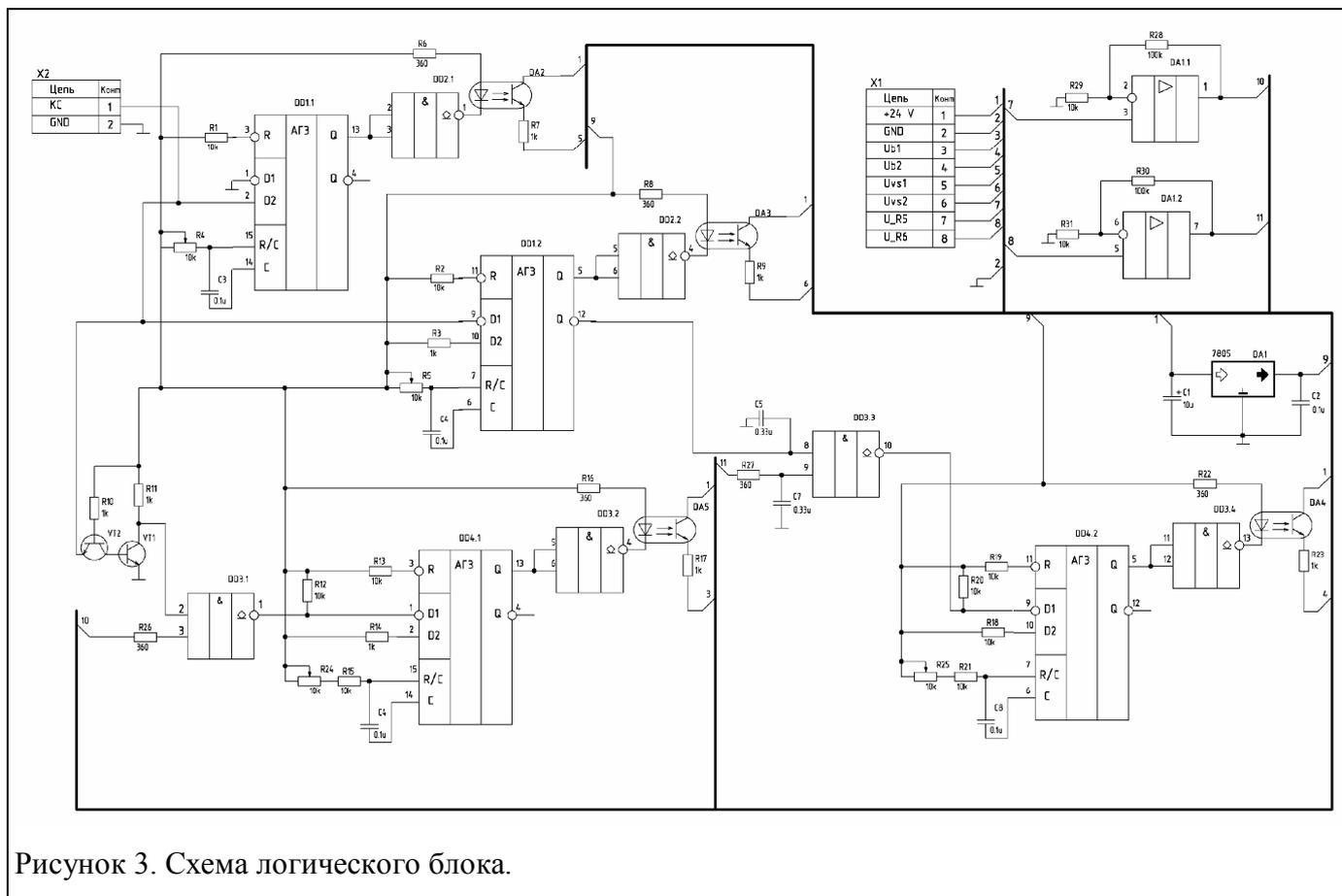


Рисунок 3. Схема логического блока.

В данной статье и исследуется эффективность сконструированной схемы на предмет энергозатратности.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПРЕДПОСЫЛКИ	3
РАСЧЕТ МОЩНОСТИ	4
1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ И СООТНОШЕНИЯ	4
2. МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (МНК).....	4
3. ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ.....	5
4. НЕПОСРЕДСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ	5
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	7
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	8
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ЛИСТИНГ М-ФУНКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ СИГНАЛА	9
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЛИСТИНГ МЕТОДА МНК (ЯЗЫК DELPHI)	10
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ОСЦИЛЛОГРАММЫ СИГНАЛОВ	13
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. МОЩНОСТЬ И ПРОЦЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ	15
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ИССЛЕДУЕМЫЙ СТЕНД	16
ОГЛАВЛЕНИЕ	18