

“_____”_____ 2023 .

()

“ ”

151 « ’ - »

:

:

:

:

<<

>>:

<<

>>:

_____ . .

_____ . .

_____ . .

_____ . .

_____ . .

151 « _____ , _____ - _____ »

« _____ » _____ 2023 .

1. _____ : « _____ »

_____ » _____ «15» _____ 2023 . 1810/ .

2. _____ : 02.10.2023 . 31.12.2023 .

3. _____ :

4. _____ : _____ , c

o i i i i o o i o c o , i c o o o i i

i i o o i o c o , _____

_____ , _____ , _____

_____ :

5. _____ : _____ , _____ , _____

_____ PowerPoint _____

6.

-

/			
1	o i 1. o o i i o o i oc o i o o oc i	02.10.2023	
2	o i 2. c o i i i i o o i oc o	20.10.2023	
3	o i 3. i c o o o i i i i o o i oc o , o o o o o o o' i	05.11.2023	
4	4.	09.12.2023	
5		10.12.2023	
6		14.12.2023 .	
7		14.12.2023 .	

7.

8.

: "02" _____ 2023 .

_____ . .
_____ . .

«

» : 112 ., 8 ., 2

. 12 .
,

— .

— i c o o o i i

i i o o i o c o ,

.

— o o o i c o o

o i i i i o o i o c o .

— , ,

, .

: , , ,

,

,

3.4	.....	72
3.5	.....	74
4.	.....	75
4.0.	.....	75
4.1.	.....	76
4.2.	.....	78
4.3.	.....	80
	.....	82
	.....	82
5.		
	!
5.1	.....	!
5.2		!
5.3		
	!
6.	.....	!
6.1	.....	!
6.2.	.....	!
6.3.	'	!
6.4.		!
	.	
6.5.		,
	!
6.5.1	.....	!
6.5.2	.....	!
	.	

c

c c o o o i o c i i i i i i o c o , c o i i o-
 o- i c c (MEMS), c c i o o
 c , i i , i i , o o o i o i o o.
 i o c i i, o i c i c
 o i i o . i , o c o o
 c o i i , i o o c i i
 i i i o c o i .

o c i o i c o o o i c o o
 o i i i i o o i o c o , i c i i i i o o o
 o c i, o i o o o o . O c o c o
 o c c i , o o i o i c i
 i o c o o i , i
 i i o i.

ic

, o i i o o o o c i i o c , o
 i i i i o c o i c o . I i i o c o i
 i o i i c c o c o o i
 c i o o c o i o o o . o o c i o o
 c o c o i c c i i, o o o i
 c o i c o c , o o i o o
 o c i.

o i o o o o o o o i o
 c o o o i c o o o i i i i o o i o c o
 i i i i o o o o c i C i i

					23 21 91 000			
							7	112
					-213			
					8			

oc i o o c i i i oc o i , i
 i i i o i c o i i , o o
 o o i .

o o o c oc i , i i ,
 i i , o c o o c o ic . i o o c o c
 o i i i i , o i o i i c c . o
 i o o o c o c o o o i i , o i o o
 oc i o o o o i .

1.2 Oc o i o o i i i oc o i

i i i i oc o o o oc i, i
 o io ico o c o . Oc o i i o o
 i oc o - c , o . o o i
 o oc o i o o :

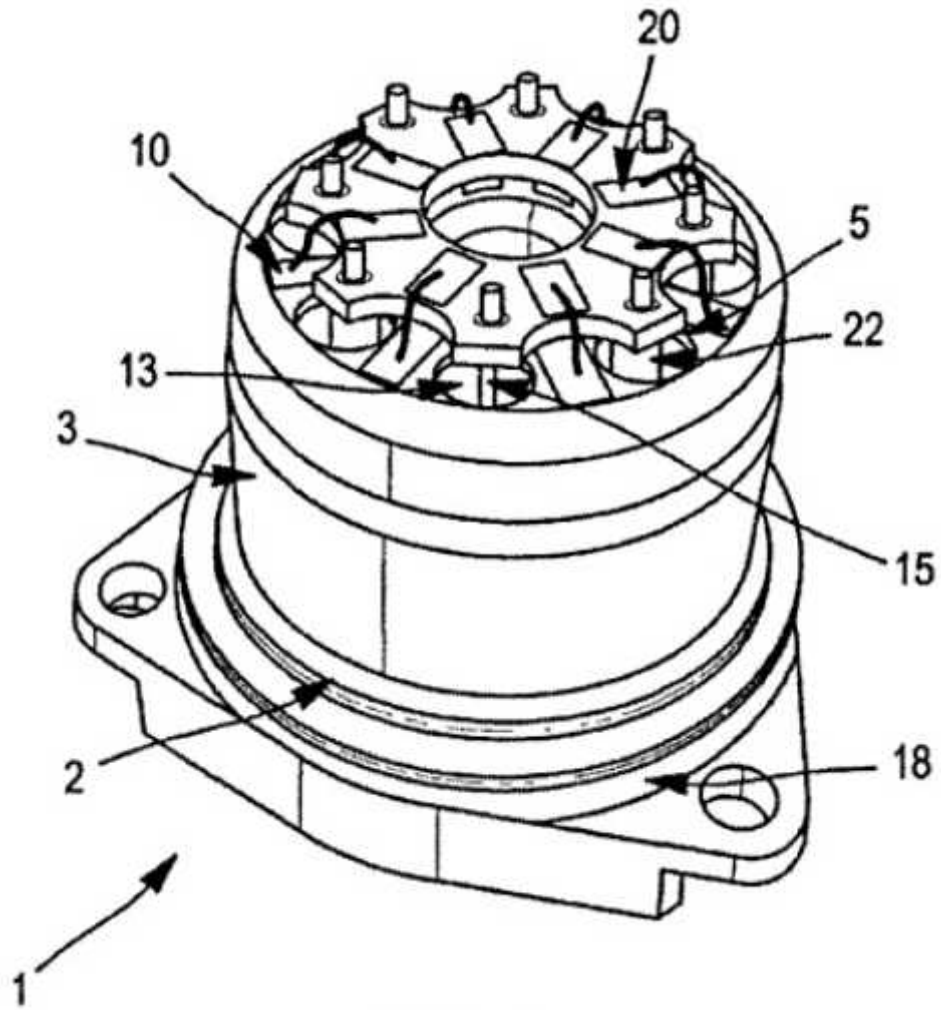
Oc o o o :

MEMS

: — ,
 , — ,
 .

i i i i oc o o c o o io ico o c , o
 o ' o o o o i. oc c o o o o
 i i o o , o o o i oc o . o o ' , o
 i oc o o , i c o o i i , i i i o o
 i c o io ico .(o)

C i i o o i o c o :



.1 (1) (2), (3), (4),
 , , , (2),
 (5),
 (13), , (10),
 (3), (18) / ,
 , (2), , (15),
 (13) (4) (3)
 , (18) , (10)
 (3)

C i i o o i o c o c i o o c o
 o o i , i o i i o o

oc i o' . o o i oc o i c
 i i o o i oc o :
 o o :
 i: o o i i o o i oc o i o i i
 i i o o . o o o ' o
 c i o i i i , c i i o
 c o .
 i: o o io o o c o i c i i
 c i , o o o i i o o
 i oc o i.

(i oc o):

, , , ,
 , .
 , ,
 , .
 .

C c c :

i: c c c i , o c
 o , i o o o o .
 i: C i c c c i ,
 o i o i o o ic o i i i oc o .
 o i o o c c :
 i: o i o o c c i o i i
 i i o , c i , o o o c
 i i .

i: o i o o o o o o , c
i o o c i o i
o i i o o oc i.

:

i: i i i i oc o i o i
o o .

i: c i o o ci o o i
i oc o i c c o o o o oi o i.

i i i:

i: o o i i i, i o i i o ic ,
o c i i c o o o c c c
i i, c i i i, i o oc i o o.

i i i i oc o c , o o c ,
o o o i c i i i o i i o o
oc i o ci. i o o c i o, o c o
c oc i i i o o o io ico o c oc co o
o oc i i .

i i :

i i o c o io i i o o
i oc o i o o o i o oc i i o o oc i
o i i. o o i o oco oc i i i o o o c i
i oc o :

i i i o o :

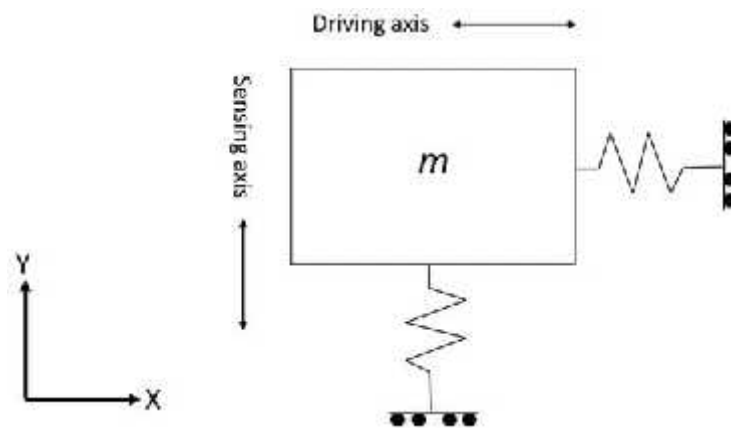
o o i oc o i c o co o c o i i o .
o oc o o o o o ' o i i i o i
i o o o i. ic o c o o ,
o o i i o .

2. $c \ o \ i \ i :$

$c \ o \ i \ i \ o \ o$ $o \ i \ o$
 $o \ o \ c \ . \ o \ o$ $o \ i \ o \ i \ o \ o \ o$ $o \ i$
 $c \ o \ c \ i \ o \ c \ o \ . \ o \ i \ c \ i$ $c \ o \ o \ o \ o$ $i \ i$
 $i \ .$

3. $o \ i \ o \ i \ c \ o :$

- $O \ c \ o$ $o \ o \ , \ o \ o \ o \ ' \ , \ o$
 $o \ o \ i \ o \ c \ o \ , \ o$ $c \ o \ i \ c \ o \ o \ i \ i \ , \ i \ i$
 $o \ o \ c \ c \ o \ i \ o \ i \ c \ o \ o \ c \ o \ . \ c$ i
 $o \ i \ o \ c \ o \ i$ $, \ o \ i \ i \ i \ c \ i \ o \ c \ i$
 $o \ ' \ (\ 1.2).$



1.1.

4. $i \ i \ i \ o \ o$ $: \ i \ i \ i \ o \ o \ o \ o$
 $c \ i \ o \ o \ i \ o \ i \ c \ o \ o \ c \ c$ $o \ o \ i \ o \ i \ i \ i \ o \ c \ o \ .$
 $i \ i \ c \ c \ o \ , \ o \ o \ i \ o \ c \ o \ i \ , \ i \ o \ c$
 $o \ o \ o \ .$

5. $i \ i :$

$i \ i \ i \ i \ i \ i \ o \ o \ . \ i$
 $i \ c \ i \ o \ i \ i \ o \ i \ o \ c \ i \ i \ o \ c \ o \ .$

6. o o i i i o o :

C c o o c i ic o ic i i o o ,
o o i i c i i i i o o i i
i i o .

i i i i o o i oc o c o ,
o o o c o o io ico i o o
oc i i o i i o' . o ic i c
c i ic o o o ic i i o o , i o i o i i
c c o o o c o i i i
c oc , i i , c i i i i ic .

o io ico :

o io ico i i o o o i i i i oc o i ,
o c o o o i i o i i o o oc i.
o o i , o i i i o
i i oc o :

1. Oc o o io ico o o :

i i o i i i oc o c i o o o' o c o oci
o io ico c . c i i i o o
i oc o , o i i o c o c oc i
o .

2. ' o i i i o :

i i i oc o i i o o i. o i oc o
i c o o i i o o i o i i o' , o
i oc o i i c o io ico i c i.

3. i :

i i o o , o o o io ico o ,
i c , o i i o i i i oc o . i
i o o o oc io' , o i o .

4. i :
 i i o o i o c o c i i i o o ,
 i i i o c o c o c i o o i i
 i o c o .

5. o ic o i i :
 i i i o o , o i o i c o o ,
 o c o i o i o c o o i o o o c i i
 o i i .

6. c i o c i :
 o o c c c i i c i i o o i i c
 i , i o o i i i o i .
 o i o i c o i i o i i o c o ,
 o i c o c i i o o i
 o i i o o o c i o ' . o i c o
 i o i i , i o o o c o c
 i i , i i c c , o o o i i i o c .

C c c : C c c i i
 i o c o i i o o i i o o i c i , o
 c i i o c i o i o i c o o i. o o
 i o c o o c i i c c :

1. i c c :
 c : O i o c o i c c
 c i , i c i i o c i o o
 i o i o i c o o o .
 o c : C c o o
 c i i o o o c i o i i i o c o .

i i ic : o oc i i c c
 o i i i ic c c i .
 2. o o c c :
 oo o o o (ADC): C , i
 , o c ooo o o o o o .
 ic : ic c oo
 ic ic c c i i o
 o o .
 i : o c o c i o c
 i , o o o ic i .
 i oo o o o co : O o i i o c i
 ic c o i oo o o oc i io o co o .
 o o i i : O i i o ii c o
 o c c o o o o o o o o i i (, UART,
 SPI, I2C).
 3. o c o o :
 c : C c oc i o c , o o i
 , c i i i oo c i o
 o io ico o o .
 O o c : O i o o ic i c o o i,
 i i ic , oi o c o
 o .
 o o c : o i o , o i c c ,
 o o c o o c i i
 o o oc i o i i .
 i i : i o i o o i i o
 ic i oc o c o c c c i o .

4. o o i :

C c o o o o o
i , o c o ic i .

5. :

c i o o ci o o i c c
o o i .

C c c i i i oc o o o
c o o , o i i i o o
i i o i i o c i o ,
io i , i i , o o o i i io ci.

o , i i i i oc o i ' o c o c c o o i ,
o ic c i ic i o o . i
o o c oc o c oc o o o i
oc i i o c c oc .

1.3 i o o i i i oc o i o ic
i .

i i i i oc o o c o o c c c c i i
i o o oc i. co o ic , o i i
i o i o , i o c i o i o i .
i o o o o i i oc o i o o
i i i oc o i .

c i i o coc o i o o i i i oc o i .

Oc o i o o i i i oc o i o c i o i
o c i c o :

C o :

o i o i ic i i o o
c . o o c i i o ,
oc i i i i i oc o . C o
o ic i o o oc i.

o :
o , o i oc o o o i
i i c oc i . o o (oc o i i
i o o c co), o i , o o o i o i o o
c o o c i ic o i . o o oc i o
o i c co .

o c :
o , o i c i oc o i o i
o o c o o i i . o c i o o
i , c i oc i o o i o o i i o i . o
c o o o o i i i i
o i.

o ic o :
o i i i oc o ic c ,
c o o i i c , c o io ic . o ic
o i c c c o i o o oc i i
o o co o o o o o c i o i , ,
o c o o i .

o :
i o c i i o o
i oc o . o o o i i ,
i c o i i i , o o o o
o o i . i o o i i o o co i

o o c o c i o i oc ii i
 i oc o .
 i o i i o o o o o o
 i o c i i c i o i o
 o i o oc i i i i i oc o i .
 o i , i o o o o .
 o o o i i i oc o o ' i o , i
 o o ic i ic i . Oc o i o ,
 o o o o o o i i i oc o , :
 1. i i :
 i o o o i o i i
 c oc i i , o o i o i
 o o i oc o .
 i i :
 i i , o i i i i o c o o i ic
 o o i i c i oc o o o o o o .
 3. o i i :
 o i i o , i i i c o o
 , o o i i o
 o i i oc o .
 4. o o i ic i i :
 i c oc i i , o c o o o i
 i oc o , o o o i ic i o c
 c o .
 5. o o o ic oc :
 o o o ic i i oc i oc o o
 o o o i i , oc occ- o i .

6. o i o :

o i o c c i o i
i c o o i o i .

7. o o o oc:

i o o o oc i i oc o o o o
oc i o o o .

8. i i :

i i o o i oc o i o o
i oc o , c i i o .

o i o i o o i o o c i o i
o c i , c o i o o o i
o oc i i i i i oc o i .

o o o i o i o o i o oc i i .

o o o i o i o o i o oc i i
i i i oc o i o i o o o
o o c o . Oc o i i o o o ' i o
c i o :

1. i :

i i oc o o co
o c i o o c . o c c
i i c i i oc o i o i o o
oc i. oc o i o c o i i o i i , i
o o o c o i ic .

2. o c i o o :

i o o o co i o o c
o c i o i o c i i i
i oc o . o o , , o o o o o c ic o i

i i o c i i
oc o i .

o o i c c o o :
o i c c o o o o c o i
o i i oc o o o c i. c o c
o o c co i, , c o i, i o
o o .

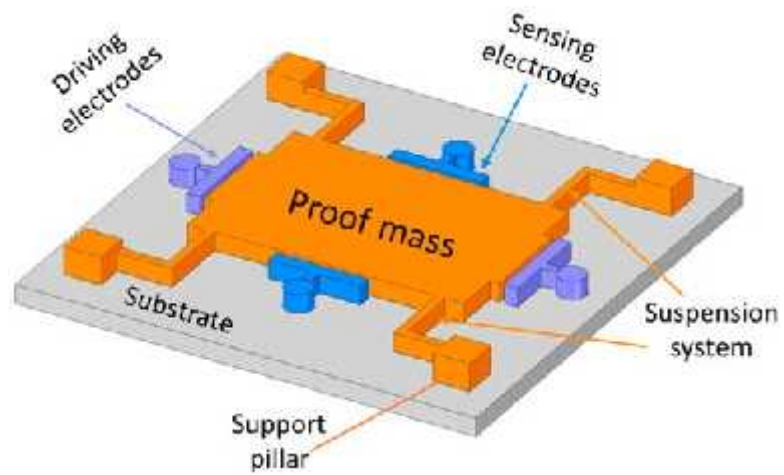
o c i i :
o o o o o c o
i , i i o i i c o . i i
o o co o c o i o , o i i

o c i i i i c c (I C):
I C o o c o o oc i i
i oc o i . I C o co i i i oc o , c o i o
o i o i i. o o o o o
o o i oc o i o i i .
o o c oc o i o o o
o i o ic i i i i oc o i . o
o i o i i o o i o o
c i c c .

i i i i oc o , c o co o ic , c i o
i o i o o , i o i i o i .
i o o oc o o i o c i i
o o oc i i i i i
i oc o i i o c i .

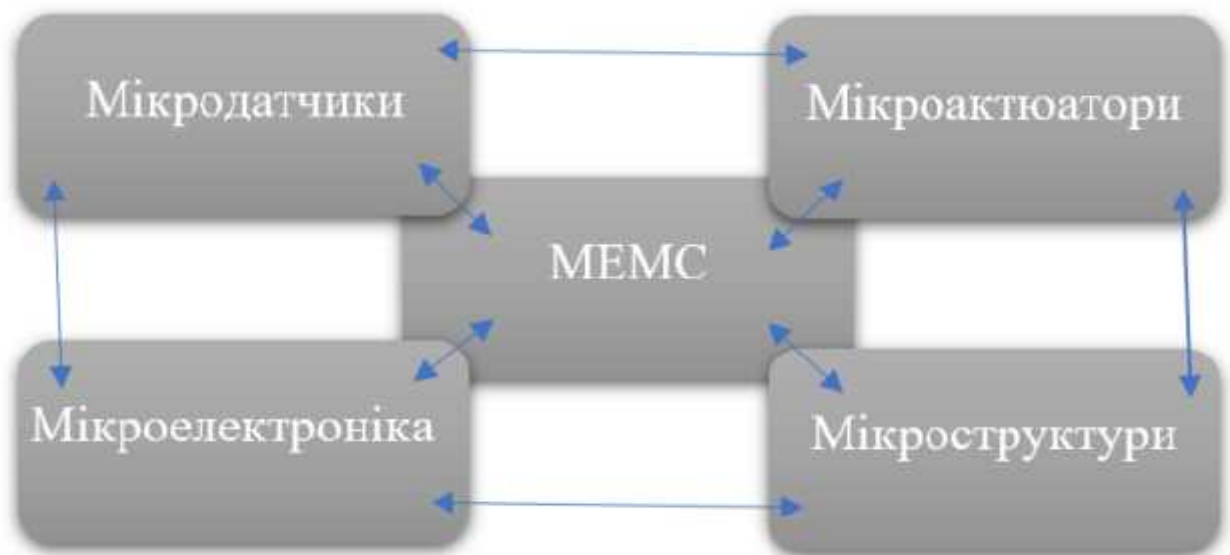
o i **1.4: Oco oc i o c i oc i i MEMS**
i oc o i

(1.3).



1.3.

MEMS - i o o a i i c c . MEMS i oc o (Micro-Electro-Mechanical System gyroscopes) — i o o a i i i oc o , i o c o c i a o o oc i o a . o ac o a o i MEMS-c co i, i o ' o i a a i i o o a i i. MEMS c a a c a i i oc , i o a i, i oa a o i i i o o i , o o ' c a o o i o i i(c.1.4). o o i oc o o o a o i a ia i .



1.4 а о' о MEMS - о о і

і о а і а о о с с с о і, і а і і, " о і, а і і, і і і а о о а і і . і о о і а о о і о а і і с а і і о а а о а , о о с о о і о і о о а о о о с о а а о с а і с с і. о а с о і (і) с о о о с а о о і і а с (IC), а і і о о о о а а с а а і і і і і а а , о с і і о а і о о . о IC а і с а а і а с о с і , о MEMS о с о с а о а і і а с о с і і , а о о о і і а і і а с о с і.

MEMS і о с о о а о і а а і о і а і а і , а і, ' о і а о с а і і о с о . О с о о о о о о :

і MEMS і о с о

' о і MEMS і о с о

о с а і MEMS і о с о

o i MEMS i oc o i a c o a a o ,i i
o o o a i o o o o ac oc a .

MEMS i oc o o a o i a oc o a a i a i
a oc i i i oc i i a oc .Oc oc o i MEMS i oc o i
a oc :

1-oc i i oc o : i o a a o o o i ici.

2-oc i i oc o : i o a a o o o a o
ic .

3-oc i i oc o : i o a a o o ci o a o
ic .

i i oc o i o o i a o a i o a i
o c o c i ac oc a a oc i i o o c a a.

1.4.1 oc i MEMS i oc o

oc i MEMS (i o o a i i c c) i oc o o a ,
co o a a , i o c o c i a o o
oc i o a o ' a oc o i. o o o o c o c i
c o , a c a o , a , o oc o o i c c a
o o o i .

Oc o oco oc o c i oc MEMS i oc o i :

o a o c i :

oc i MEMS i oc o a o a o , a i a a
o a o a a i oc o i a aca. o o o a a . o
o i a o a o oc i o
c o .

a :

i a i i o c o i o a c o c o c a ,
a i o c a o a o ' o c o . o o o i a i
a a c a o a o o a a i .

i o a a i :

o c i M E M S i o c o o o c a o o o o i o o
o o i , a i o a i . o o c o a i o c o i i c
c o o o i c .

o c a i a i :

a a o o c M E M S i o c o i a o a i a i o c a i
a i a c a i o a o o o o i
o a .

o i a o o c a :

C a i a i o o c o a o o i o
a o o o c i o a a o a o a i a i .

o i c :

o c i M E M S i o c o a a c o a i i c i ,
o o o a c o .

i o c o o c i c i o o o o c M E M S i o c o a o
a a o i c o a a a a i a i
i o a i o o i a c o c a .

1.4.2 i i M E M S i o c o

i i M E M S i o c o o o o c i i a ,
o o a o a o a o a o
a a . O c o o c i o c i i M E M S i o c o i a :

O c o o c o c o c i i M E M S i o c o i :

i i o c i :

i i i oc o o i a o ic o a o
ci o oc (X, Y a Z), o a o i o a i o i a
oc o i.

a i ic a oc o i i o o a i c c (MEMS):

(MEMS) i i i oc o o c o i o o a i i c c
i a o o oc i. MEMS- o o i o o
o i, i a o o i i oc o , i o o
o c o c i c o .

o a o i o o :

a i o io a oc i i oc o i o
o c o a c o a o i o o , a i a c o , a o
a o i oc o a oc o i i i i a .

o a ic :

i i MEMS i oc o a a a o a i o i , o
o o o c a o i c o , a c a o , a ,
a i a i ic c , o o o i a a a a o i c o .

co a o ic :

a oc i o o o o i a a o i a i a ,
i i MEMS i oc o c a c i o a a i
i a c o .

c o a i:

a a o i MEMS i oc o i c o o a i a o , o
c o a a o i, o o o o c a o i
c o o o o ic a o a.

1.4.3 o i oc a i MEMS i oc o i

o i c oc i i i i MEMS i oc o a i o a o
a a c a :

<i>a a c a</i>	<i>oc i MEMS</i>	<i>i i MEMS</i>
<i>i ic</i> <i>i a ic</i>	<i>i oc o</i> <i>a a 1 a o 2</i>	<i>i oc o</i> <i>a a 3</i>
<i>O ac</i> <i>ac oc a</i>	<i>O i a i o i</i> <i>o i, i</i> <i>i a</i>	<i>o a</i> <i>o i a i a</i> <i>i o oc o i</i>
<i>o i a</i> <i>o a ic</i>	<i>o</i> <i>o a i</i>	<i>a a i i</i> <i>o i o a o o</i> <i>i oc o i o ac a</i> <i>a i</i>
<i>C a ic</i> <i>o c i</i>	<i>a a</i> <i>o o i a</i> <i>c a a o c i</i>	<i>i</i> <i>o o i</i> <i>i a o a</i> <i>a o o o a o</i> <i>ic</i>
<i>o ic a</i> <i>c a i ic</i>	<i>a i</i> <i>o o o i, o</i> <i>o</i>	<i>a a a</i> <i>o ic a c a i ic</i> <i>i a</i> <i>o i a</i> <i>a a</i>
<i>oc o a</i>	<i>a a</i>	<i>a i</i> <i>o o o i, o</i> <i>i</i> <i>o a o i o o</i> <i>a i a o o</i> <i>c a</i>

O i o c i MEMS i o c o i a c o a a o .
o c i i o c o i a o i o o a a o i c o
o o c o o , o i i i i o c o a i
i c i a o a o c o i . O i o c i o o
o a c , o a o o i o a i i o a c o c a a i a i o i ,
o o o i a i c a .

1.4.4 o o i a a c MEMS i o c o i

MEMS i o c o a o o a a c , i o
a a a o i a c o c a . o o i a a c MEMS
i o c o i o a i a c a o c i i o o o a o i .
a a o o c o a a c MEMS i o c o i :

co a o i c :

C a c i MEMS i o c o a c o o i c i c a i i c , o o
a i a o o o c i
a c o c a , a a i a i , a i o , a o i o a o o o i a .

co a o i a a i c :

MEMS i o c o o i a a i a i i o o
o c i c o o o i o a i c . o o c
i a a i i i a o a i o a a , a a ,
c a i i a i a o o a a a a o i o a a .

o i a a o i :

MEMS i o c o o i a o i o c i o o
i a a o i a , i a o a . o o
o c o a c i a c o c a , a a i a i o c o i ,
a a c o a c o a a o i o c o c o .

c o a i :

a a o MEMS i oc o i a c o a i, o o
a o c a o i i c o o o ac, a i
c a o, a, oc i c o a IoT- c o.

o a ic :

MEMS i oc o a o a o i ic i o o
i o a i i i c o ic c . o i o ac oc a,
o o' a o aca a o a, a i o, o i i
o o, o a a a a a o i .

a a ic :

MEMS i oc o o o c o c a a ia i a
co o o o ci, o o o o o o o-
o, a a a ic c o, o
o c o c .

a o i a a c, MEMS i oc o a o c o
ac oc a i a, a a o o i o c o ic,
o o o i, a i a i i c c, o i i c o, c o i c o,
i a a ic a a a o i . o a o o a
i a a o o i c c a a c o .

o i 1.5: ac oc a i a i i oc o i c ac o o i

i a i i i oc o o a a a o c ac
o o i c c a, a a a i o oc i i a o o
oc i a c a i i a i c o . o o i a a i
ac oc a :

C a o a a c c a :

i a i i i oc o o c c ac i c a o a a
a o i a i c o a a o i o c a . o o o
a o a o o a a a o a i a o o a, o a a .
i o a a, a o i o a i c- ,

o c o c i a i i i o c o i c i o c a a a
i a o i .

A o o i a o i a:

c a c a o o i i a i i i o c o o c o c c c
c a i i a i a o o a c o a c o i . o o c o c
c c a o o c a i i a i , a o a c c a (ABS) a c c a
a i i i c o . i o c o o o a a a i c a i o c i
a o o i a o i i a o o i .

i a a a i c (VR):

VR- c o i a i i i o c o o c o c i c
o o o c a a . o o c o a i c i a a i c i
a i a o i i a o ' a .

a i a:

c o a i a a i a i i i o c o o
o c o a c i c i a i a , a a , i a c
i o o a o i c a o a i .

i o i i a i A a a (A):

i a i i i o c o o c A c a i i a i a a , o
o a o o o o , o i a o o o i .

o o o i a:

i a i i i o c o o c o c o o o i i i a a
o o o o o c i o o i . o o o o o a o o
a c o o a a a a i o o o c o i .

i a i o a a i o a i i c a c o c a i a i
i o c o i i a , o i i a a o i a i a i
o o i o a o o i c c . o c a o
o a a o a c a c a c o o o o i o o o . o

i o o a a a a a o i a i o ' i , a a a
io a ic i ic o c a i o a i c o a c c .

o i 2. c o i i i i o o i oc o

2.1 a ac a o o o i i a i oc o i

()

(K),

(Scale Factor)

$$K = \frac{\Delta\omega_{oi}}{\Delta\omega_{ii}}$$

$\Delta\omega_{oi}$ -

$\Delta\omega_{ii}$ -

23 21 91 000

33

112

-213

:

()

.

.

2.2 o i a ac a o o o i i a a o o a oc i i
a

2.2.1 o i a ac a o o o i i a

,

.

:

:

:

1. :

-

,

.

-

,

,

.

- ,
-
- 2. :
- ·
- ·
- ·
- 3. :
- ' (,
-).
- ' ·
- 4. :
- , ,
- ·
- 5. :
- ·

- ,

.

,

.

2. :

,

.

,

:

1. :

-

.

-

.

2. ' :

-

.

-

,

,

,

.

3. :

-

-

-

4. :

-

,

-

.

5. :

-

.

,

.

3. :

,

.

:

1. :

-

.

-

,

-

.

2. :

-

.

-

.

3. :

-

-

,

.

-

.

4. :

-

.

-

.

5. :

1. :
,
,
.
:

1. :
-
. .
- ,
.

2. :
-
. .
- .

3. :
-
. .
- .

4. :

-

2. :

-

-

3. :

-

,

-

4. :

-

-

5. :

-

-

,

6.

:

-

.

-

.

,

,

.

.

3.

:

.

.

:

1.

:

-

,

,

.

-

-

,

,

.

2.

:

-

.

- ,

3. :

- .

- .

4. :

- ,

- .

- .

5. :

- .

- .

- .

- ,

- .

4. :

-
,
.
,
,
:
.

1. :

-
,
,
,
.
-
.

2. - :

-
.
-
.

3. :

-
.
-
,
.

4. :

-

-

5.

-

-

2.3 a a oc i a o ca i C i oc o i

2.3.1 a a oc i C i oc o i

()

1.

() .

， ，

.

:

1.

:

-

，

，

.

-

，

.

2.

:

-

，

，

，

.

-

.

3.

:

-

，

.

-

，

.

4.

:

-

，

.

-

.

.
 ,
 ,
 .

.

2. :
 ,
 () .
 ,
 .

1. :
 - ,
 () .
 -
 ,

2. :
 - ,
 .
 - ,

3. :
 - ,
 .
 - ,
 .

4. :
- ,
.
- .

5. :
- ,
.
- ,
.

6. :
- ()
.
-

3. :
 , () .
 .

1. :
- :
 , , .
- ,
 .

2.

:

-

,

.

-

,

.

3.

:

-

.

-

,

.

4.

:

-

,

.

-

,

.

5.

:

-

-

.

6.

:

-

,

.

-

.

- , ' .
- .
5. :
- .
- .
.
, ,
.
,
.
2.3.2 a o ca i C i oc o i ()

.
:
1. :
,
() ,
.
:
1. :

- , ,
- , .
- 2. :
- , .
- .
- 3. :
- ,
- , .
- , .
- 4. :
- , .
- .
- 5. :
- .
- 6. :

-

.

,

2. :

,

,

.

:

1. :

- :

.

- :

,

.

- :

,

.

2. :

- , ,

,

.

6. :

-

,

.

- ,
.
.
4. :
- (,
) ,
.
5. :
- ,
.
6. :
- ,
.
7. :
- ,
.
.

3:

3.1

23 21 91 000

59

109

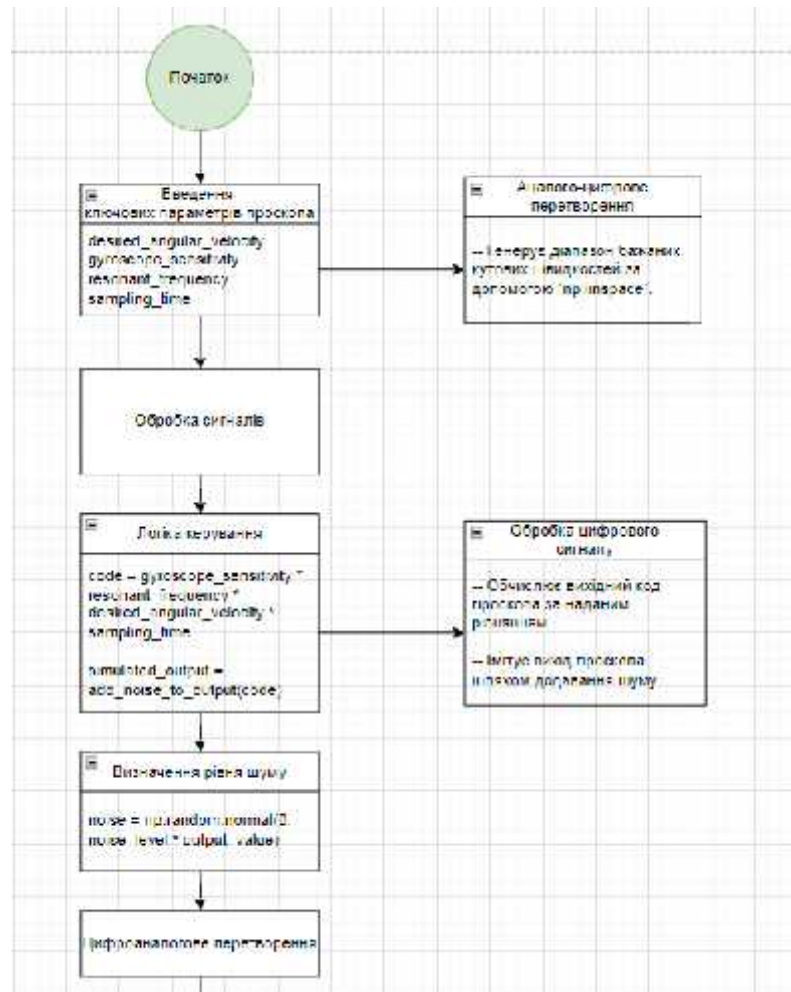
-213

3.1 –

		,
		,
		,
		,
		,
		,
		,

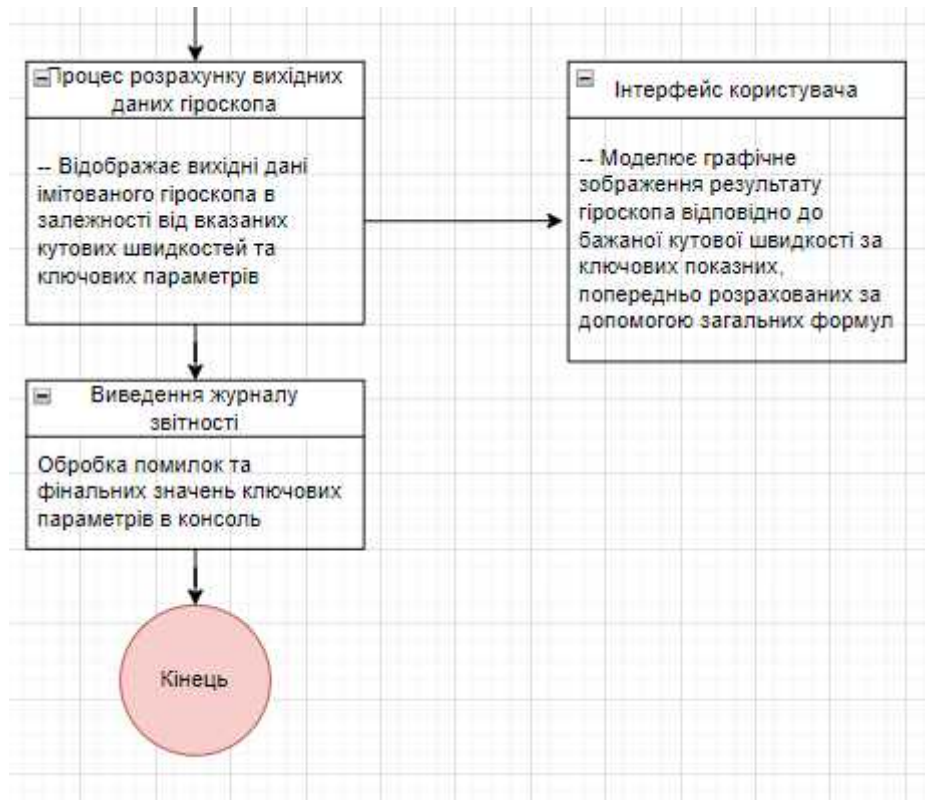
	.	.
--	---	---

3.2



3.1 –

(1)



3.2 –

(2)

3.3

. MCU,

Python,

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def simulate_angular_velocity(desired_angular_velocity,
                              gyroscope_sensitivity, resonant_frequency, sampling_time):
    code = gyroscope_sensitivity * resonant_frequency *
desired_angular_velocity * sampling_time

    simulated_output = add_noise_to_output(code)

    return simulated_output

def add_noise_to_output(output_value, noise_level=0.01):
    noise = np.random.normal(0, noise_level * output_value)
    return output_value + noise

def plot_results(desired_angular_velocity, simulated_output):
    plt.figure(figsize=(10, 6))

    plt.plot(desired_angular_velocity, simulated_output, 'o-',
label='
    plt.axhline(0, color='black', linewidth=0.5, linestyle='--',
label='
    plt.title('
1 '
    plt.xlabel('
    plt.ylabel('
    plt.legend()
```

```

plt.grid(True)

plt.show()

desired_angular_velocity = np.linspace(0, 10, 100)
gyroscope_sensitivity = 0.01
resonant_frequency = 100.0
sampling_time = 0.001

simulated_output = np.array([simulate_angular_velocity(w,
gyroscope_sensitivity, resonant_frequency, sampling_time) for w in
desired_angular_velocity])

plot_results(desired_angular_velocity, simulated_output)

print("\nResults:")
for velocity, output in zip(desired_angular_velocity, simulated_output):
    print(f"Desired Angular Velocity: {velocity:.2f} rad/s, Simulated Output
Code: {output:.4f}")

final_noise = np.std(simulated_output) / np.mean(simulated_output)
print("\nFinal Values:")
print(f"Gyroscope Sensitivity: {gyroscope_sensitivity}")
print(f"Resonant Frequency: {resonant_frequency}")
print(f"Desired Angular Velocity: {desired_angular_velocity[0]:.2f} rad/s")
print(f"Sampling Time: {sampling_time}")
print(f"Noise: {final_noise:.4f}")

input("\nPress Enter to close the program...")

```

```

1. simulate_angular_velocity

```

```

:
)
.
:
) desired_angular_velocity -
.
) gyroscope_sensitivity -
) resonant_frequency
.
) sampling_time
.

```

Process:

)
)

add_noise_to_output.

2. add_noise_to_output:

:
)

:
)

output_value -

)

noise_level (: 0.01) - ,

Process:

)
)

3. plot_results:

:
)

:
)

desired_angular_velocity -

)

simulated_output -

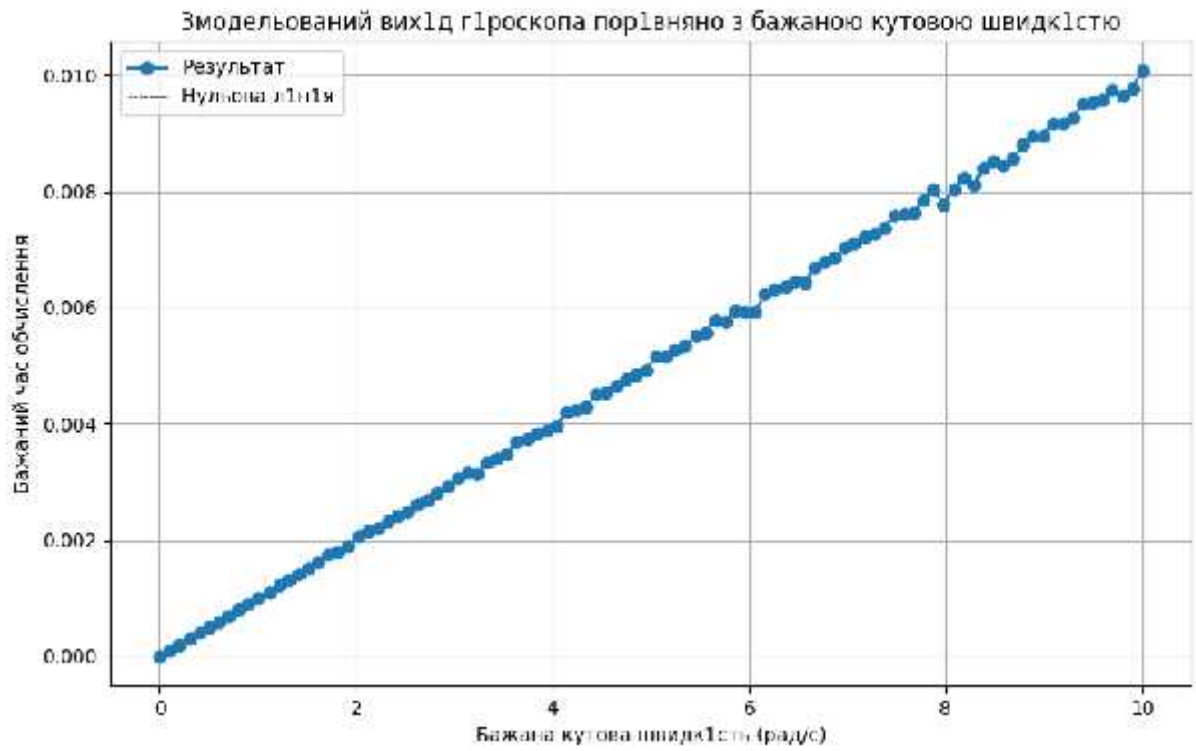
:
)
)

)
)

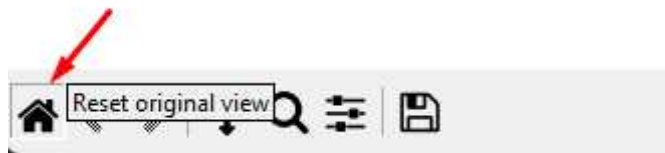
```

1.         :
   np.linspace.
2.         (
   ).
3.
4.         plot_results.
5.         ,
   ,
6.         .
   .
   .
   ,
   .
   Python

```



3.3 –



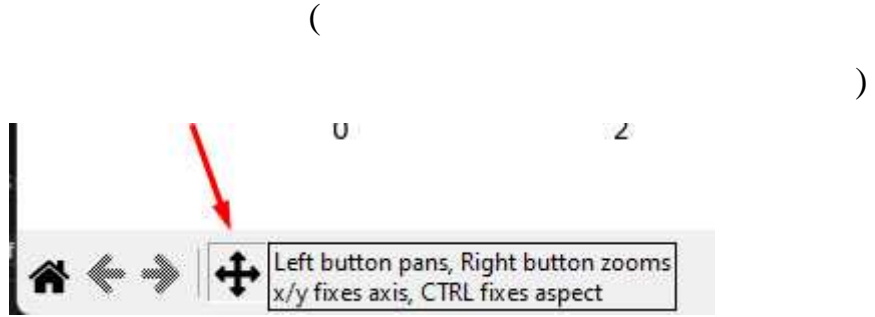
3.4 –



3.5 –



3.6 –



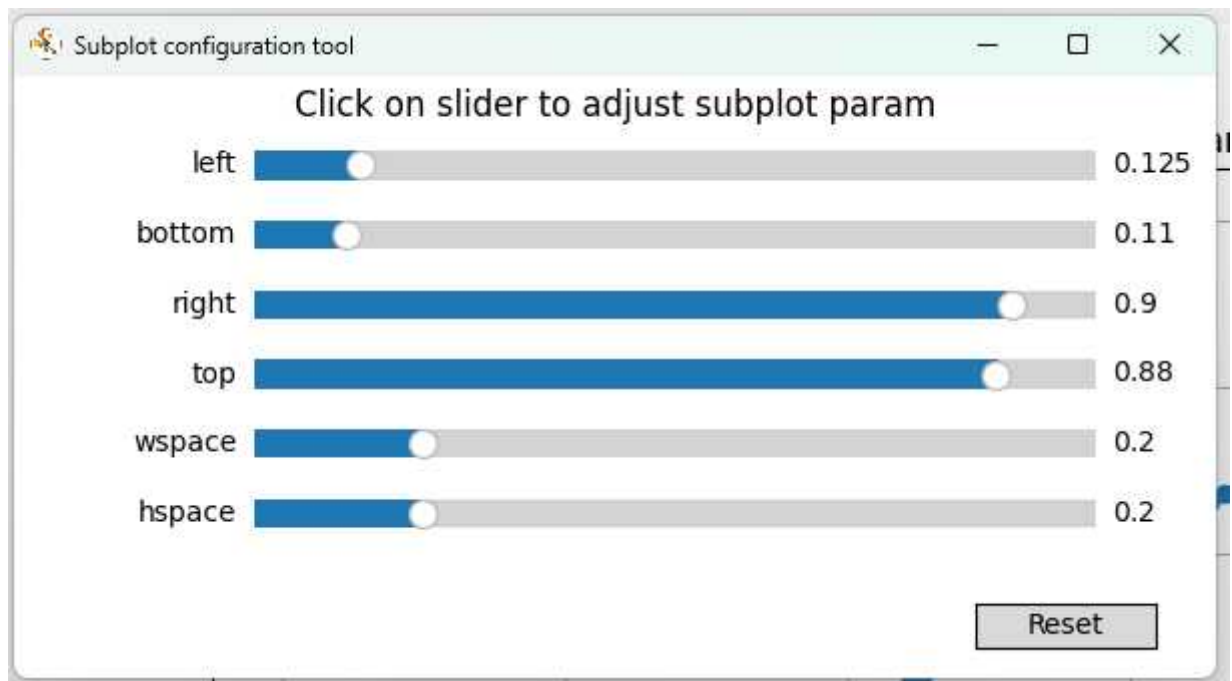
3.7 –



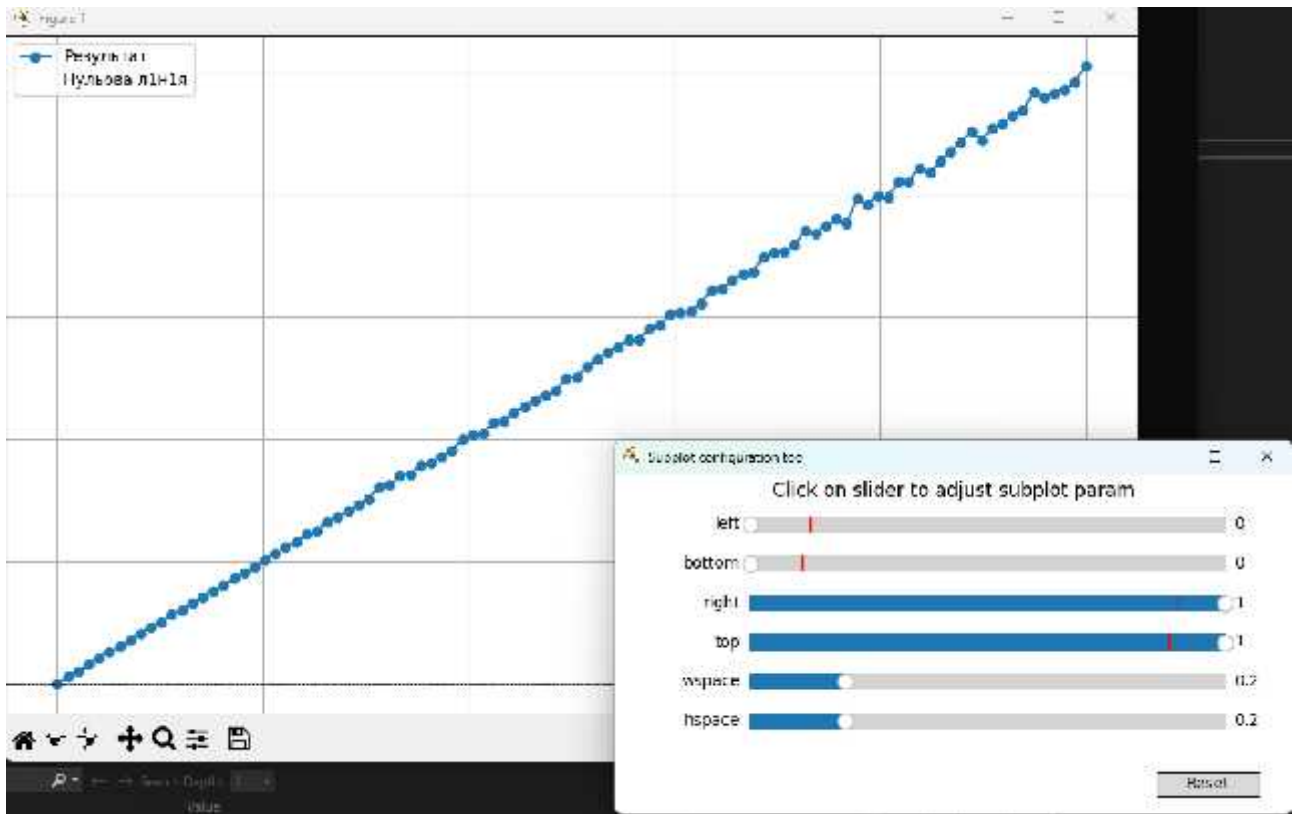
3.8 –



3.9 –



3.9.1 –



3.9.2 –



3.10 –

3.4

, , ,
.
, = $K * r * t$, ,
(K), (r)
(t).

simulate_angular_velocity

plot_results

3.5

$$= K * r * t,$$

simulate_angular_velocity

MEMS-

()

4.1.

()

3,

Sy,

. 4.1

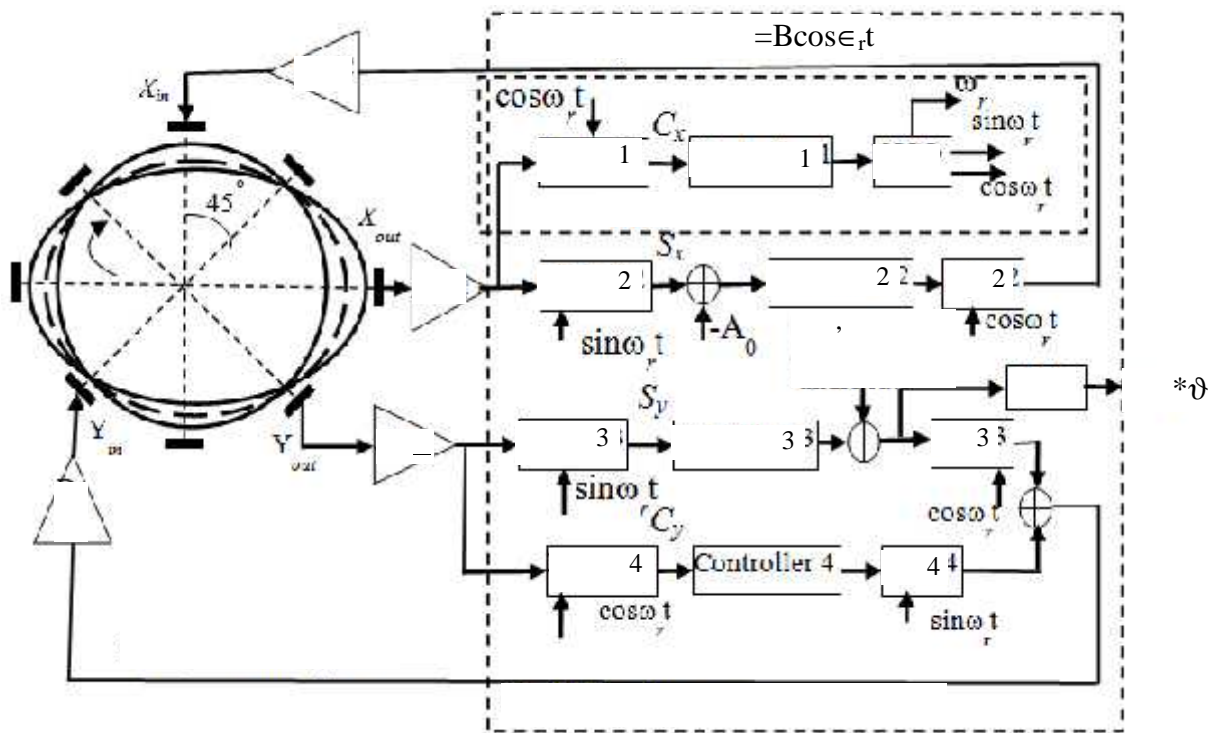
. 4.1

45

(X_{in} ,

Y_{in})

(X_{out} , Y_{out}).



X_{in}

X_{out}

()

0

2.

Y_{out} ,

3 4,
 Y_{in} ,

() S_y ,

3,

()

$v=0$.

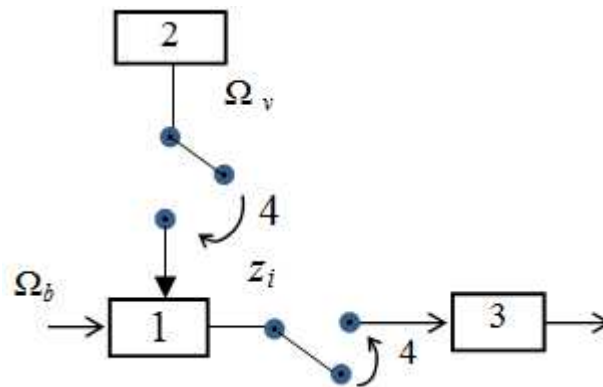
4.2.

4.2

1, 2,

3,

4



4

1

2

3, . 4.1.

$$0 \cdot v + + 0$$

$$T \quad z_{av}^+ \quad 2$$

$$T, \quad 3$$

$$T \quad z_{av}^-$$

MK,

:

$$z_{av}^+ = (\Omega_v + i \gamma) B_0 \quad (4.1)$$

$$z_{av}^- = (-\Omega_v + i \gamma) B_0$$

(4.1)

$z_{av}^+ \quad z_{av}^-$,

$$MK = \frac{z_{av}^+ - z_{av}^-}{2i\gamma} \quad (4.2)$$

()

v.

()

,

,

.

,

.

. 4.3

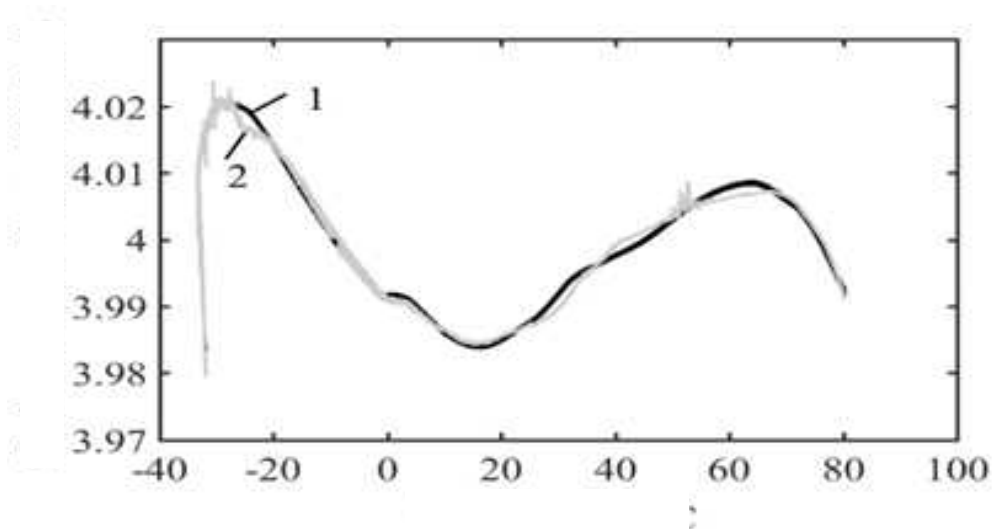
100 /

-40°C 75°C

1°C/ (

1)

(2).



4.3.

AT "Elmiz" . .

$v=\pm 100$ /

,

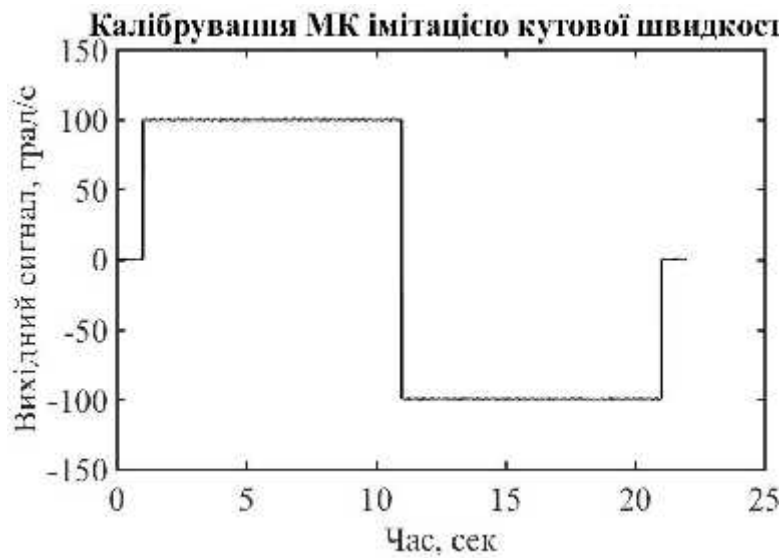
. 4.3,

± 3.9874 ,

3 (. . 4.1).

. 4.4

100 / 500 .
 100.0179 / ,
 0.0092 / .
 =10 .



=10

$$z_{av}^+ = 99.9265 / , \quad z_{av}^- = -99.9573 / . \quad (4.2)$$

:

$$MK_{\text{каліб}} = \frac{z_d^+ - z_d^-}{2\Omega_p} = \frac{9.9 - (-9.9)}{2 \cdot 10} = 0.999419 \frac{1}{\text{град/с}} \quad (4.3)$$

$$1 - 1 / (\quad /) .$$

:

$$\zeta = 1 - 0.999419 = 0.000581 /$$

:

$$\zeta / = 0.000581 / 0.999419 = 5.81 * 10^{-4} = 0.0581\%$$

1. Q. Honghui and J. B. Moore, "Direct Kalman filtering approach for GPS/INS integration," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 38, Issue: 2, Apr, 2002, pp. 687–693. <https://doi.org/10.1109/TAES.2002.1008998>

2. B. Johan and S. Willem, "Kalman filter configurations for a low-cost loosely integrated inertial navigation system on an airship," *Control Engineering Practice*, vol. 16, Issue 12, Dec, 2008, pp. 1509–1518. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2008.04.011>

3. A. Nouredin, T. B. Karamat, M. D. Eberts, and A. El-Shafie, "Performance Enhancement of MEMS Based INS/GPS Integration for Low-Cost Navigation Applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, Issue 3, March, 2009, pp. 1077– 1096. <https://doi.org/10.1109/TVT.2008.926076>

4. V. V. Chikovani, "Laser device for three-axis orientation measurement with low sensitivity to gyro errors (computer simulation results)," *Proc. SPIE*

Optical Engineering, vol. 34, no. 4, 1995, pp. 1008– 1012. <https://doi.org/10.1117/12.197150>

5. J. Ban, L. Wang, Z. Liu, and L. Zha, "Self-calibration method for temperature errors in multi-axis rotational inertial navigation system," *Optics Express*, vol. 28, no. 6/16, March, 2020, pp. 8909–8922. <https://doi.org/10.1364/OE.384905>
6. Q. Ren, B. Wang, Z., and M. Fu, "A multi-position self-calibration method Deng for dual-axis rotational inertial navigation system," *Sensors and Actuators A*, 219, 2014, pp. 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.08.011>
7. P. Gao, K. Li, L. Wang, and Z. Liu, "A selfcalibration method for tri-axis rotational inertial navigation system," *Measurement Science and Technology*, vol. 27, Oct., no. 11, 2016. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/27/11/115009>
8. D. . Rozelle, "Self-calibrating gyroscope system," US Patent # 7912664, G01C 19/00, 22 March, 2011.
9. G. Casinovi, F. Ayazi, W. K. Sung, M. J. Dalal, A. N., P. Shirazi, "Method and apparatus for self-calibration of gyroscopes," US Patent #9915532, G01C 25/00, 19/5776, 19/56, 13 March, 2018.
10. H. Gu, B. Zhao, H. Zhou, X. Liu, and W. Su, "MEMS Gyroscope Bias Drift Self-Calibration Based on Noise-Suppressed Mode Reversal," *Micromachines*, 10, 823, 2019, pp. 1–17; <https://doi.org/10.3390/mi10120823>.
11. V. V. Chikovani and O. V. Petrenko, "Vibratory gyroscope scale factor multi-parametric calibration," *IEEE Proc. Intern. Conf. on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, NAU, Kyiv, Ukraine, Oct.14-17, 2014, pp. 129–131. <https://doi.org/10.1109/MSNMC.2014.6979750>
12. V. Chikovani, H. Tsiрук, and O. Korolova, "Triple- Mode Vibratory Gyroscope," *Military Technical Collection, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy*, Lviv, Ukraine, no. 18, 2018, pp. 18–24. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.18.2018.18-25>

10 – 15 50% . ,

– , « » .

,

,

.

(,);

(,);

(-

).

5.2

– , , , , ,

,

.

:

) ;

) – ;

) ;

) , ;

) .

20 % -

13 %

() 10

5%

0,5 / 2.

6-30 .

- 22-27 ;

- 6-12 ;

- 2-12 ;

, - 2-8 ;

- 8-27 ;

- 4-27 ;

- 4-14 ;

- 4-12 .

:

,

;

-

,

,

,

;

,

,

.

,

,

12.1. 012-90:

,

,

-

,

;

,

,

,

,

.

()

;

;

.

,

.

()

v,

,

—

1/3

.

.

,

:

;

,

;

—

,

;

—

;

—

,

,

,

;

.

,

.

,

,

,

.

,

,

,

.

,

.

.

.

.

:

(

)

(

).

.

.

:

,

,

,

,

,

,

.

,

.

,

.

.

,

.

60%,

,

50%.

30%

(6)

8 .

80 .

, , , .
 , , , .
 100 .
 - .
 6-7 .
 50-70 .
 (50)
 .
 : ,
 , , .
 , , .
 () ,
 , , , .
 . ()
) .

					6. 23 21 91 000			
							99	112
							-213	
								99

6.1

,
.
,"
.
,
;
.
,
,
,
.
— :
— “ ”
.
—
—
—
,
,
,
,
,
.

)

;

)

,

;

)

—

,

,

;

)

.

,

,

,

,

,

.

.

—

,

,

,

.

.

—

.

.

—

.

,

,

,

.

,

,

,

,

,

,

.

,

.

.

,

6.3.

30

60

:

)

.

)

.

)

,

.

)

.

)

.

.

,

.

,

:

(

,

,

,

).

.

,

.

,

,

.

,

.

.

.

,

:

)

;

)

;

)

;

)

,

.

6.4.

.

,

.

«

»

,

.

,

,

,

,

.

,

,

,

,

.

,

,

,

.

,

,

.

,

,

,

,

,

,

.

,

.

6.5.

· , ,
·
· « 155
» (1981 .) -
·
, ,
, ,
, ,
, ,
, ,
, ,
;
, ;
;
·

6.5.1

· ,
, ,
·
, . 4.1.
·
4.1

		22...24° 40...60%

		0,1 /
		23...25° 40...60% 0,1...0.2 /

.4.2.

4.2

20...40 ³	30
40 ³	20

6.5.2

’ (, . .) , , , , ,

() .

20 % .

. 4.3 .

5
100 / .

20 / .

4.3

50	10 /

50	0,3 /
:	20 / 15 /

6.5.3

(4.1):

$$F = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{\eta} \quad (4.1)$$

F – , ;
E – , ; = 300 ;
S – (S=20²);
Z – (Z=1,1);
K – ,
= 1,5);
– , (
, ,
, ;
, ,
(.) ()),
= 40% =60%.

(4.2):

$$I = \frac{S}{h(A+B)} \quad (4.2)$$

S – , S = 20²;

h – , h = 2,9 ;

A – , = 4 ;

B – , = 5 .

, I=0,77

I, [.2.5-28:2018],

$\eta = 0,22$

F :

$$F = \frac{300 * 1,5 * 20 * 1,1}{0,22} = 45000 \text{ J/m}$$

LED- ,

F=10500 .

(4.3):

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} \quad (4.3)$$

N – , ;

F – ;

F – .

$$N = \frac{45000}{10500} \approx 5$$

, 5 .

4.2.5

(,)

220 .

,

,

.

,

.

.

,

,

,

“

”

”

,

«

»,

.

,

.

:

,

,

,

“

”

”

,

;

”

,

.

,

.

,

“

,

,

”

”

