



به نام خدا



دانشگاه تهران

دانشکدگان فنی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آزمایشگاه سیستم‌های کنترل خطی

آزمایش شماره 4

عارف نیک رفتار -- 810199507

کوثر اسدمسجدی -- 810199373

محمد تقی زاده -- 810198373

گروه 1

نیمسال دوم 1402-03

فهرست

شماره صفحه

عنوان

۳

چکیده

۴

بخش 2_3

۵

بخش 3_3

۸

بخش 4_3

12

بخش 3_4

17

بخش 4_4

چکیده

- در این گزارش در سه قسمت اول سعی می کنیم با روش های مختلف تابع تبدیل سیستم موتور DC را بدست آوریم.
- سپس در مرحله بعد در حوزه زمان با بدست آوردن بهره حالت ماندگار و ثابت زمانی سیستم ، تابع تبدیل سیستم را بدست می آوریم.
- در قسمت آخر نیز ، با بدست آوردن نمودار بود سیستم ، تابع تبدیل سیستم را بدست می آوریم.

بخش 3_2: اندازه گیری ناحیه مرده

برای بدست آوردن ناحیه مرده برای دو قسمت CW و CCW ابتدا درصد ولتاژ اعمالی به موتور را از طریق تنظیمات از صفر شروع به افزایش می کنیم تا جایی که موتور شروع به حرکت کند. این ناحیه از صفر درصد تا درصد اعمالی مورد نیاز برای حرکت را ناحیه مرده می گوییم.

برای ناحیه CW داریم:

درصد اندازه گیری شده از دستگاه = 28%

$$\frac{28}{100} \times 12 = 3.36 v$$

برای ناحیه CCW داریم:

درصد اندازه گیری شده از دستگاه = 27%

$$\frac{27}{100} \times 12 = 3.24 v$$

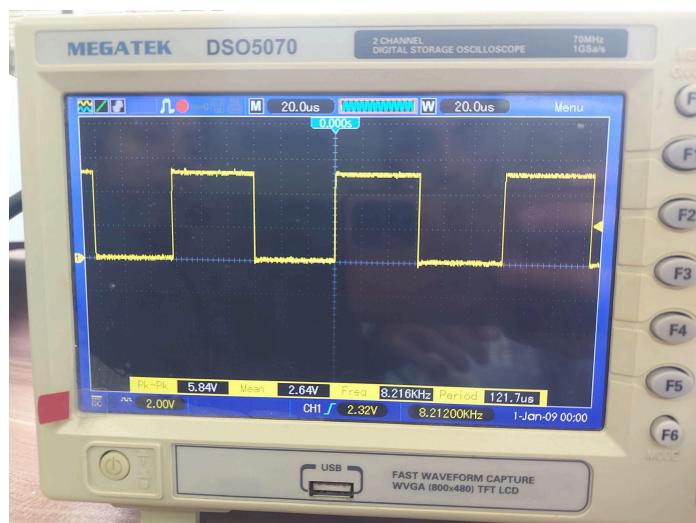
بخش 3_3: انکودر

در این قسمت با استفاده از خروجی های انکودر و مشاهده آن ها در اسیلوسکوپ سعی می کنیم سرعت چرخش و جهت چرخش موتور را تعیین کنیم.

به ازای هر دور کامل موتور انکودر 1024 پالس موج مربعی تولید می کند. لذا با استفاده از فرمول زیر میتوانیم سرعت چرخش را در سرعت های مختلف که دوره تناوب از آن حاصل میشود را بدست آوریم.

$$speed(RPM) = \frac{60}{T \times 1024} \quad (\text{رابطه 1})$$

- تصویر 1_3_3 سرعت در تنظیمات موتور به روی 500RPM ست شده است:

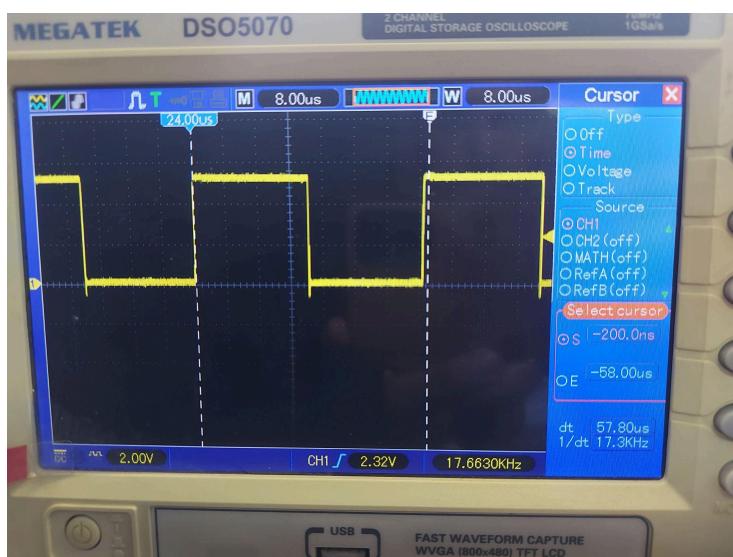


تصویر 3_1

طبق رابطه 1 سرعت واقعی اندازه گیری شده برای موتور در این قسمت برابر است با: (دوره تناوب = 120us)

$$\text{speed} = 488.28 \text{ RPM}$$

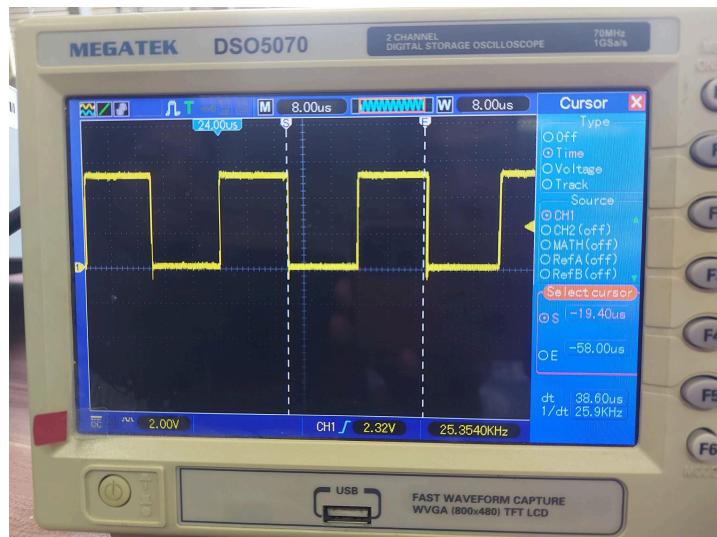
- تصویر 3_3_2 سرعت در تنظیمات موتور به روی 1000RPM ست شده است:



تصویر 3_2

طبق رابطه 1 سرعت واقعی اندازه گیری شده برای موتور در این قسمت برابر است با: (دوره تناوب = 57.8us)
 speed = 1013.73 RPM

- تصویر 3_3_3 سرعت در تنظیمات موتور به روی 1500RPM است شده است:



تصویر 3_3_3

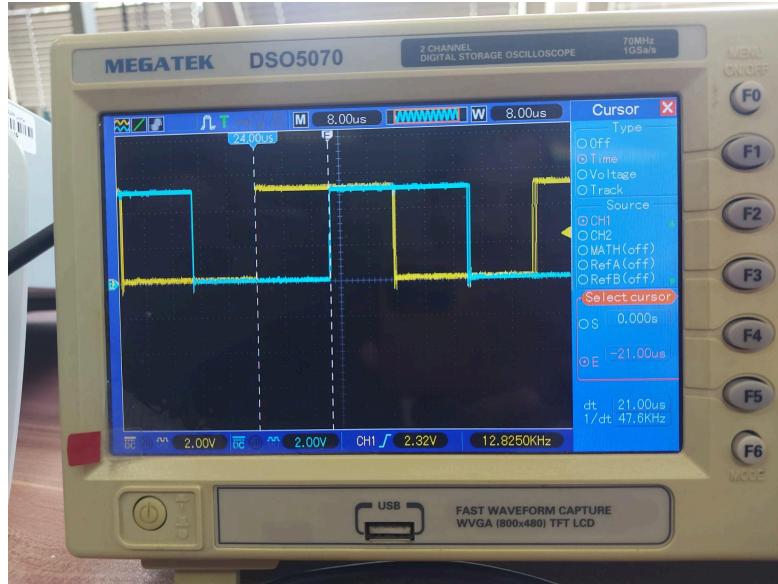
طبق رابطه 1 سرعت واقعی اندازه گیری شده برای موتور در این قسمت برابر است با: (دوره تناوب = 38.6us)
 speed = 1517.97 RPM

OPEN LOOP	سرعت اندازه گیری شده با استفاده از خروجی انکودر
500RPM	488RPM
1000RPM	1013RPM
1500RPM	1517RPM

جدول 1: مقایسه سرعت موتور با استفاده از خروجی انکودر و سرعت واقعی

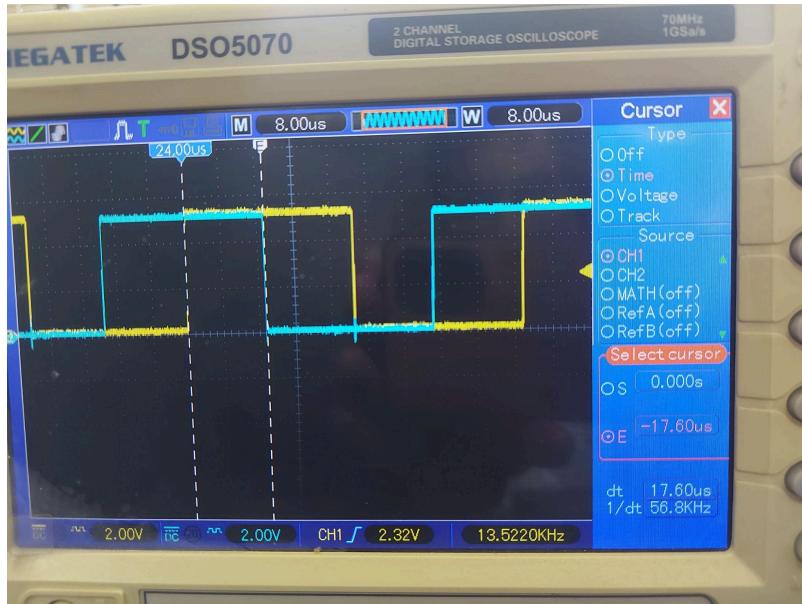
- جهت چرخش: برای محاسبه جهت چرخش همانطور که در دستور کار گفته شده بود متوجه شدیم که اگر شکل موج خروجی A از شکل موج خروجی B جلوتر باشد جهت چرخش CCW و اگر بر عکس باشد جهت چرخش CW می باشد.

در شکل 3_4 می بینیم که سیگنال A (سیگنال زرد) از B (سیگنال آبی) عقب تر است پس جهت چرخش میباشد. CW



شکل 3_3

در شکل 3_5 می بینیم که سیگنال A (سیگنال زرد) از B (سیگنال آبی) جلو تر است پس جهت چرخش CCW میباشد.



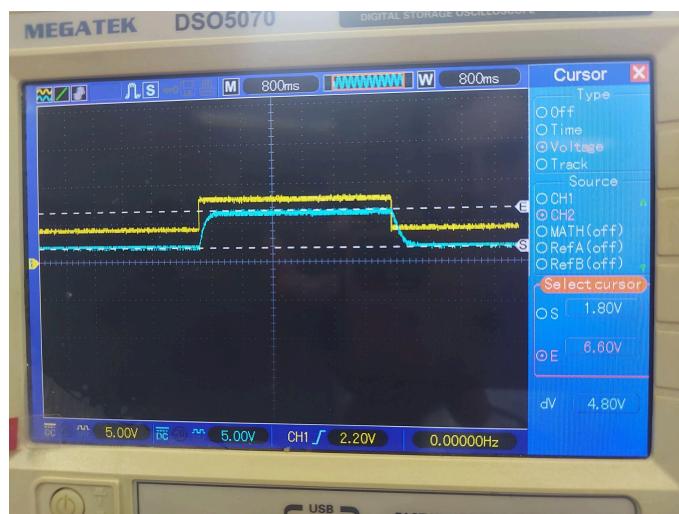
شکل 3_5

بخش 3_4: شناسایی تابع تبدیل موتور DC با بررسی پاسخ زمانی

برای انجام این آزمایش، طبق صورت گزارش کار، مولد سیگنال را به گونه ای تنظیم می کنیم که سیگنال مربعی با دامنه پیک تا پیک 4 ولت و فرکانس 100 میلی هرتز باشد همچنین در ابتدا آفست آن را روی 6 ولت تنظیم می کنیم. حال شکل موج سرعت موتور را از طریق خروجی حسگر سرعت آن بر روی اسیلوسکوپ مشاهده می کنیم و با ورودی نیز مقایسه می کنیم.

در حالت بدون بار:

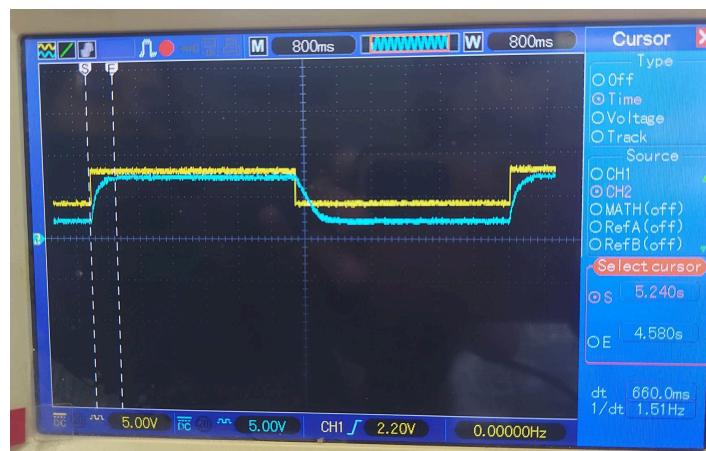
در شکل 1_4_3 می بینیم که ولتاژ پیک تا پیک خروجی برابر 5.2 ولت می باشد و ورودی را نیز 4 ولت پیک تا پیک تنظیم کرده ایم پس نتیجه میگیریم بهره حالت ماندگار $\frac{5.2}{4}$ می باشد.



شکل 1_4_3 شکل موج خروجی سرعت موتور در حالت بدون بار (دامنه)

در شکل 2_4_3 نیز با استفاده از cursor زمان که نشان داده شده می توانیم مقدار ثابت زمانی را محاسبه کنیم(63) در صد حالت ماندگار، اندازه گیری با cursor اشتباہ انجام شده و اعداد به صورت تخمینی از رو تصاویر محاسبه شده اند)

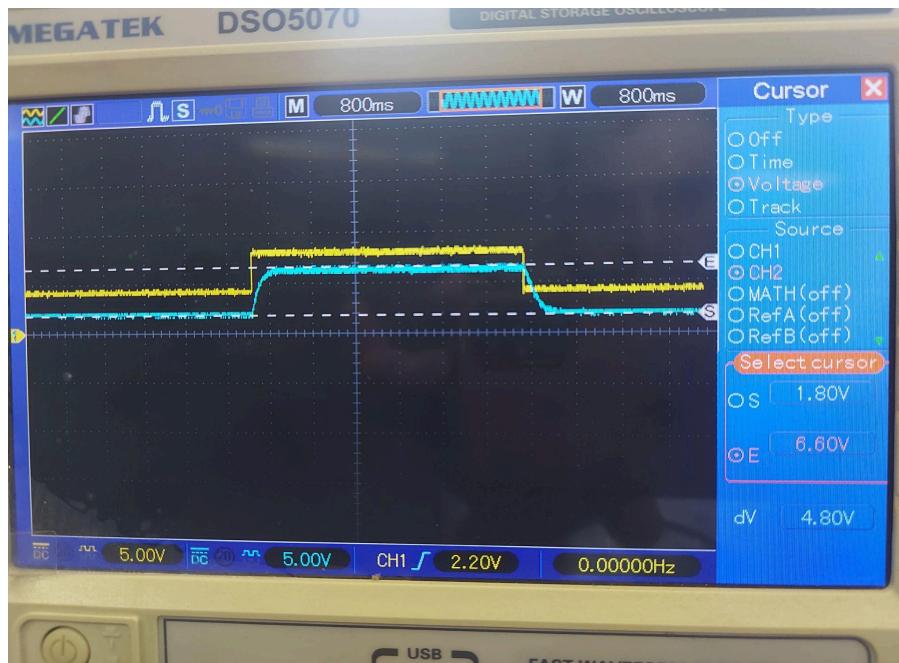
با توجه به اینکه هر خانه زمانی در عکس برابر 800 میلی ثانیه می باشد ثابت زمانی در این حالت برابر 150 میلی ثانیه است.



شکل 2_4_3 شکل موج خروجی سرعت موتور در حالت بدون بار (ثابت زمانی)

حالت با بار:

در شکل 3_4_3 می بینیم که ولتاژ پیک تا پیک خروجی برابر 4.8 ولت می باشد و ورودی را نیز 4 ولت پیک تا پیک تنظیم کرده ایم پس نتیجه میگیریم بهره حالت ماندگار $\frac{4.8}{4}$ می باشد.



شکل 3_4_3 شکل موج خروجی موتور در حالت با بار (دامنه)

در شکل 3_4_4 نیز با استفاده از cursor زمان که نشان داده می توانیم مقدار ثابت زمانی را محاسبه کنیم(63) درصد حالت ماندگار، اندازه گیری با cursor اشتباہ انجام شده و اعداد به صورت تخمینی از رو تصاویر محاسبه شده اند)

ثابت زمانی طبق عکس در این حالت برابر 170 میلی ثانیه است.

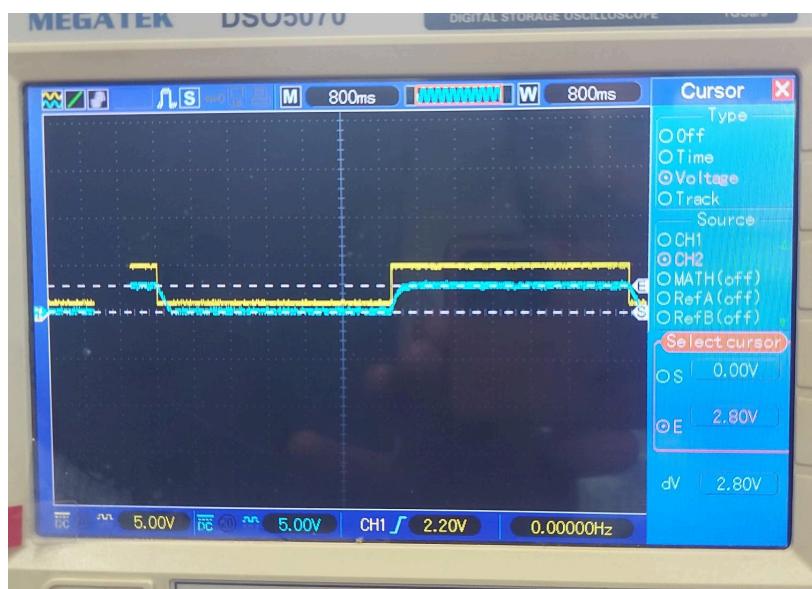


شکل 3_4_4 شکل موج خروجی موتور در حالت با بار (ثبت زمانی)

- آفست ورودی 3 ولت پیک تا پیک:

حالت بی بار:

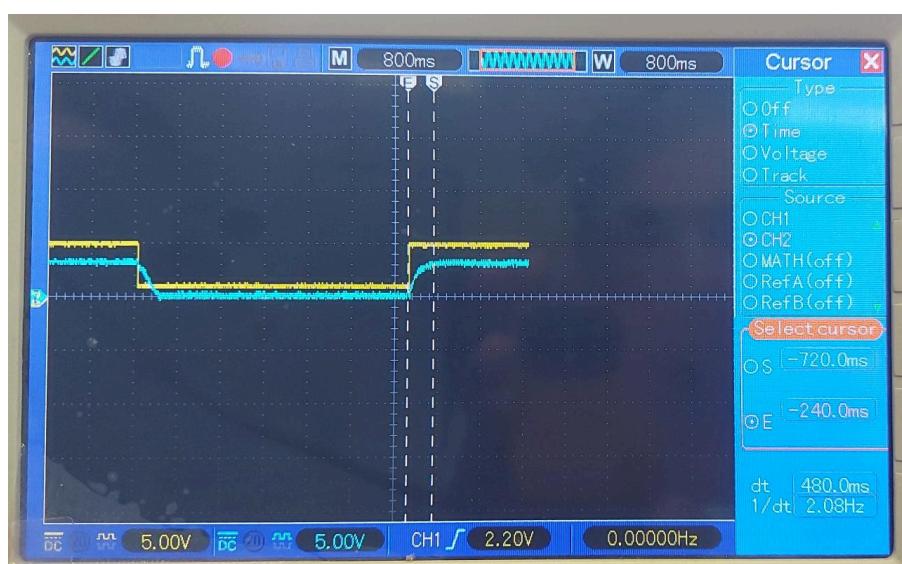
در شکل 4_3 5 می بینیم که ولتاژ پیک تا پیک خروجی برابر حدوداً 3.5 ولت می باشد و ورودی رانیز 4 ولت پیک تا پیک تنظیم کرده ایم پس نتیجه میگیریم بهره حالت ماندگار $\frac{3.5}{4}$ می باشد.



شکل 4_3 5 شکل موج خروجی سرعت موتور در حالت بدون بار با آفست 3 ولتی

در شکل 4_3 6 نیز با استفاده از cursor زمان که نشان داده شده می توانیم مقدار ثابت زمانی را محاسبه کنیم(63) درصد حالت ماندگار، اندازه گیری با cursor اشتباہ انجام شده و اعداد به صورت تخمینی از رو تصاویر محاسبه شده اند)

دیده میشود که ثابت زمانی دقیقا به اندازه یکی از خطوط مدرج مبایشد که برابر 160 میلی ثانیه است.



شکل 4_3 6 شکل موج خروجی سرعت موتور در حالت بدون بار با آفست 3 ولتی(ثابت زمانی)

حالت با بار:

در شکل 3_4_7 می بینیم که ولتاژ پیک تا پیک خروجی برابر 2.8 ولت می باشد و ورودی را نیز 4 ولت پیک تا پیک تنظیم کرده ایم پس نتیجه میگیریم بهره حالت ماندگار $\frac{2.8}{4}$ می باشد.



شکل 3_4_7 موج خروجی موتور در حالت با بار

در شکل 3_4_8 نیز با استفاده از cursor زمان که نشان داده شده می توانیم مقدار ثابت زمانی را محاسبه کنیم(63 درصد حالت ماندگار، اندازه گیری با cursor اشتباہ انجام شده و اعداد به صورت تخمینی از رو تصاویر محاسبه شده اند)

در این مرحله نیز بنظر ثابت زمانی تقریبا 150 میلی ثانیه است.



شکل 3_4_8 موج خروجی موتور در حالت با بار (ثابت زمانی)

ثابت زمانی	بهره حالت ماندگار	دامنه خروجی	دامنه ورودی	
150 ms	1.3	5.2 v	4 v	حالت بدون بار
170 ms	1.2	4.8 v	4 v	حالت با بار

جدول 2: شناسایی تبدیل موتور در حوزه زمانی (بایاس 6 ولت)

ثابت زمانی	بهره حالت ماندگار	دامنه خروجی	دامنه ورودی	
160 ms	0.9	3.6 v	4 v	حالت بدون بار
150 ms	0.7	2.8 v	4 v	حالت با بار

جدول 3: شناسایی تبدیل موتور در حوزه زمانی (بایاس 3 ولت)

مقایسه حالت بی بار و حالت با بار: همانگونه که در جدول های بالا دیده میشود، بهره حالت ماندگار هنگامی که موتور در حالت بی باری قرار دارد بیشتر است.

مقایسه آفست 3 ولت و 6 ولت: همانگونه که از جدول های بالا دیده میشود به ازای ولتاژ بایاس 3 ولت بهره حالت ماندگار کاهش یافته است و ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی به دست آمده است. چرا که در ولتاژ بایاس 3 ولت، سیستم در ناحیه مرده قرار دارد اما در ولتاژ بایاس 6 ولت اینگونه نیست. به همین دلیل داده های بدست آمده در حالت 6 ولت را برای بدست آوردن تابع تبدیل استفاده میکنیم.

$$Km \approx 1.25$$

$$Tm = 0.16$$

$$G(s) = \frac{Km}{1 + Tms} = \frac{1.25}{1 + 0.16s}$$

بخش 4_3: شناسایی تابع تبدیل موتور در حوزه فرکانس

با کاهش فرکانس منبع اختلاف فاز ورودی و خروجی کم می شود یعنی رابطه ورودی و خروجی و بهره یک رابطه خطی می باشد. اما برای فرکانس های بزرگ ، اختلاف فاز ورودی و خروجی افزایش می یابد و در حالتی که اختلاف فاز به 90 درجه برسد نمودار ورودی-خروجی شکل دایره ای طبق تصاویر دستور کار پیدا خواهد کرد. در نتیجه با افزایش فرکانس ، رابطه ورودی و خروجی شکل دایره ای تر پیدا می کند و با کاهش فرکانس رابطه ورودی و خروجی شکل خطی پیدا می کند. حال طبق دستور کار پیدا می رویم و داده های موجود را روی موتور اعمال می کنیم و اختلاف فاز دو سیگنال را با استفاده از رابطه زیر محاسبه می کنیم:

$$\theta = 2\pi ft = 360ft$$

حال داده های جدول را بدست می آوریم:(شکل برخی از فرکانس ها در گزارش کار آورده شده)

- فرکانس منبع 0.1 هرتز:

شكل 4_3_1 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز خروجی و ورودی در فرکانس منبع 0.1 را نشان میدهد:



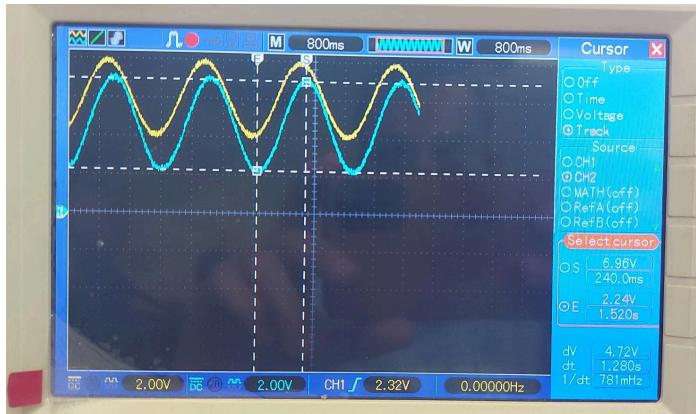
شكل 4_3_1 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز ورودی خروجی

اختلاف فاز زمانی: 250ms

$$\theta = 360 \times 0.1 \times 0.25 = 9 \text{ degree}$$

- فرکانس منبع 0.4 هرتز:

شكل 4_3_2 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز خروجی و ورودی در فرکانس منبع 0.4 را نشان میدهد:



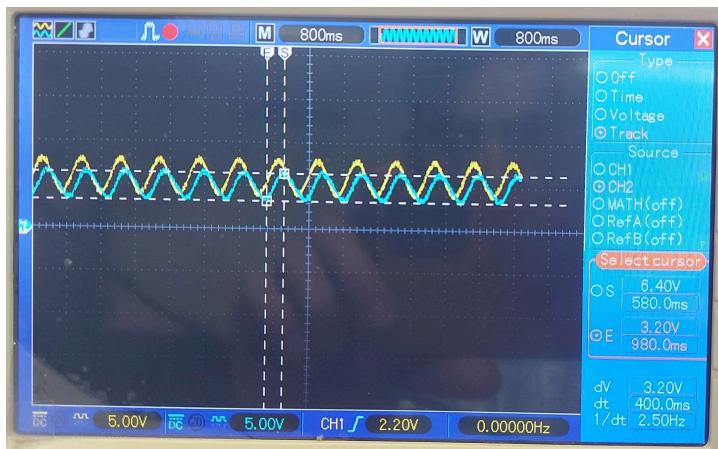
شکل 2_3_4 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز ورودی خروجی

اختلاف فاز زمانی: 200ms

$$\theta = 360 \times 0.4 \times 0.2 = 28.8 \text{ degree}$$

فرکانس منبع 0.8 هرتز: -

شکل 3_4 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز خروجی و ورودی در فرکانس منبع 0.8 را نشان میدهد:



شکل 3_4 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز ورودی خروجی

اختلاف فاز زمانی: 170ms

$$\theta = 360 \times 0.8 \times 0.17 = 48.96 \text{ degree}$$

فرکانس منبع 2.2 هرتز: -

شکل 4_3_4 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز خروجی و ورودی در فرکانس منبع 2.2 هرتز را نشان میدهد:



شکل 4_3_4 دامنه پیک تا پیک و اختلاف فاز ورودی خروجی

اختلاف فاز زمانی: 90ms

$$\theta = 360 \times 2.2 \times 0.09 = 71.28 \text{ degree}$$

برای محاسبه بر حسب دسیبل نسبت های به دست آمده را در $\log_{10} 20$ قرار داده و نتایج را یادداشت میکنیم. از کد پایتون برای محاسبات استفاده کرده ایم.

Frequency_amp	Amp_ratio	Result
0.1	1.300	2.28
0.2	1.270	2.08
0.3	1.200	1.58
0.4	1.175	1.40
0.5	1.150	1.21
0.6	1.200	1.58
0.7	1.100	0.83
0.8	0.950	-0.45
0.9	0.900	-0.92
1.0	0.900	-0.92
1.1	0.800	-1.94
1.2	0.800	-1.94
1.3	0.750	-2.50
1.4	0.700	-3.10
1.8	0.540	-5.35
2.0	0.500	-6.02

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	فرکانس (Hz)
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------------

0.95	1.1	1.2	1.15	1.175	1.2	1.27	1.3	نسبت دامنه خروجی به ورودی
-0.45	0.83	1.58	1.21	1.40	1.58	2.08	2.28	نسبت دامنه خروجی به ورودی(dB)
2	1.8	1.4	1.3	1.2	1.1	1	0.9	فرکانس (Hz)
0.5	0.54	0.7	0.75	0.8	0.8	0.9	0.9	نسبت دامنه خروجی به ورودی
-6.02	-5.35	-3.10	-2.50	-1.94	-1.94	-0.92	-0.92	نسبت دامنه خروجی به ورودی(dB)

جدول 5: نسبت دامنه خروجی به ورودی به ازای فرکانس های مختلف ورودی

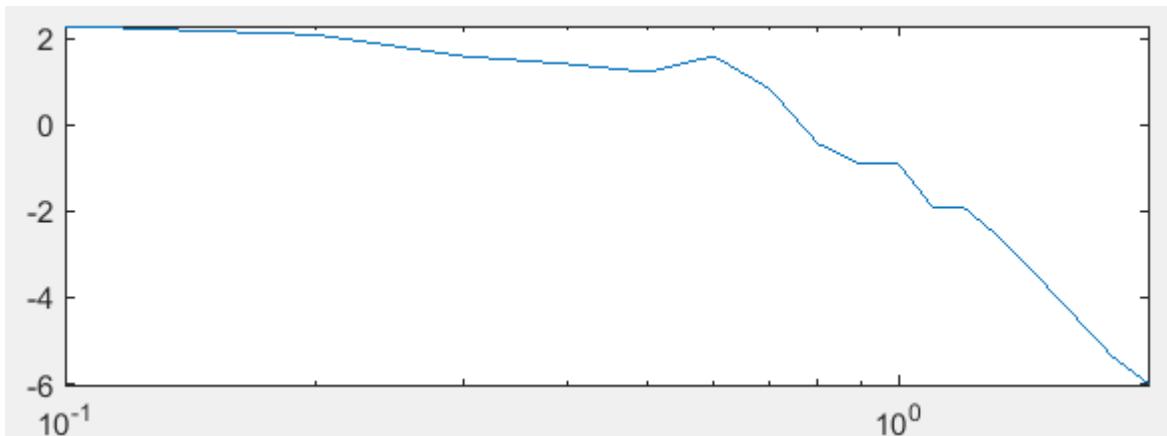
برای محاسبات این بخش و تبدیل اختلاف فاز ورودی و خروجی کد به زبان پایتون نوشته و زمان های اندازه گیری شده را درجه تبدیل کنیم.

Frequency	Delta t	Theta
0.1	250	9.00
0.4	200	28.80
0.8	170	48.96
1.0	150	54.00
1.2	140	60.48
1.5	130	70.20
2.2	90	71.28
3.0	80	86.40
4.0	78	112.32
6.0	62	133.92

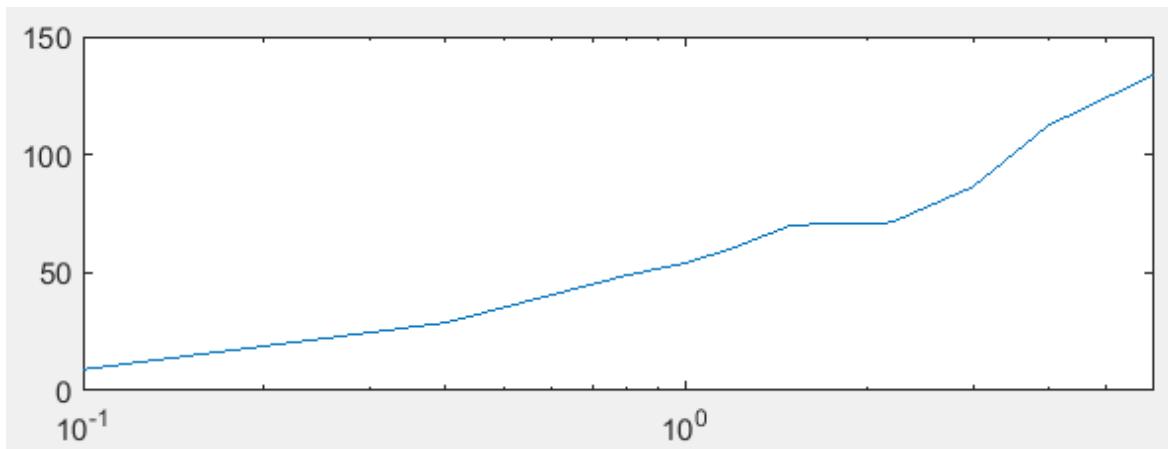
نتایج به دست آمده:

1.5	1.2	1	0.8	0.4	0.1	فرکانس (Hz)
130	140	150	170	200	250	اختلاف فاز ورودی و خروجی (ms)
70.20	60.48	54	48.96	28.8	9	اختلاف فاز ورودی و خروجی (درجه)
45	20	6	4	3	2.2	فرکانس (Hz)
-	-	62	78	80	90	اختلاف فاز ورودی و خروجی (ms)
-	-	133.92	112.32	86.40	71.28	اختلاف فاز ورودی و خروجی (درجه)

جدول 5: اختلاف فاز ورودی و خروجی به ازای فرکانس های مختلف ورودی



نمودار Bode اندازه تبدیل



نمودار Bode فاز تبدیل

با توجه به نتایج بدست آمده به پرسش های زیر پاسخ میدهیم:

- با افزایش فرکانس ورودی سینوسی، اختلاف فاز خروجی و ورودی سیستم نهایتاً به چه مقداری همگرا می شود؟

براساس نمودار بالا میتوان مشاهده کرد که با افزایش فرکانس ورودی سیستم، اختلاف فاز خروجی و ورودی سیستم به حدود مقدار منفی 90 درجه همگرا می شود.

- پارامتر بهره حالت ماندگار K_m با استفاده از نمودار اندازه چه مقداری بدست می آید؟

برای محاسبه K_m می توانیم اندازه تابع تبدیل در فرکانس شروع را به عنوان بهره حالت ماندگار در نظر بگیریم. $K_m = 1.32$ است.

- فرکانس قطع در این سیستم چند رادیان بر ثانیه میباشد؟

در فرکانس 0.9Hz اندازه تبدیل به 3dB مقدار ورودی میرسد پس فرکانس قطع برابر با 0.9Hz است.

- آیا رابطه ای بین فرکانس قطع بهره سیستم با ثابت زمانی سیستم می توان یافت؟

با افزایش فرکانس قطع سیستم، ثابت زمانی سیستم کاهش پیدا میکند در نتیجه داریم:

$$fc = \frac{1}{2\pi Tm}, Tm = 0.17$$

• مقدار فاز تابع تبدیل سیستم در فرکانس قطع چند درجه است؟

در فرکانس 0.9Hz ، فاز تبدیل به حدود -45 درجه میرسد.

بخش 4_4: مقایسه تابع تبدیل موتور در حوزه زمان و فرکانس

در نهایت تابع تبدیل سیستم به صورت زیر بدست می آید که تقریباً با تابع تبدیل به دست آمده با حوزه زمانی یکسان است.

تابع تبدیل حوزه فرکانسی به صورت زیر میباشد:

$$G(s) = \frac{Km}{1+Tms} = \frac{1.32}{1+0.17s}$$

همانطور که در حوزه زمان داشتیم نیز:

$$G(s) = \frac{Km}{1+Tms} = \frac{1.25}{1+0.16s}$$