



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش کنترل

عنوان

شناسایی عملی مدل تابع تبدیل مدارهای الکتریکی و

الکترونیکی

استاد راهنما

دکتر فرشاد مریخ بیات

نگارش

سپیده نجفی نیا

زمستان ۱۳۹۵

چکیده

شناسایی تابع تبدیل یک سیستم در عمل از مباحث چالش برانگیز و کاربردی در مهندسی کنترل است. در این پروژه روشی ساده و ابتکاری با استفاده از کارت صوتی کامپیوتر برای نمونه برداری و شناسایی

تابع تبدیل مدارهای الکتریکی و الکترونیکی ارائه شده است. این روش با به کارگیری ادوات قابل دسترس

این امکان را برای دانشجویان فراهم می کند تا به سادگی تابع تبدیل یک سیستم را به روش های متنوعی شناسایی کرده و نتایج را با هم مقایسه کنند. روش مورد استفاده در این پروژه، روش چگالی طیفی توان

است که برای دو فیلتر میان گذر و میان گذر به کار برده و پس از نمونه برداری از ورودی و خروجی توسط

کارت صوتی، نتایج حاصل با واقعیت مقایسه می شود. هر چند استفاده از کارت صوتی محدودیت هایی دارد اما نتیجه نهایی تا حد زیادی قابل قبول بوده و بار علمی زیادی در یادگیری روش های شناسایی سیستم

به دنبال دارد.

۱	مقدمه	۱
۲	مقدمه‌ای بر شناسایی سیستم	۲
۱.۲	تعریف سیستم دینامیکی	۲
۲.۲	گام‌های اولیه در شناسایی سیستم	۲
۱.۲.۲	دریافت اطلاعات سیستم	۳
۲.۲.۲	انتخاب مجموعه‌ای از مدل‌های احتمالی	۳
۳.۲.۲	انتخاب بهترین مدل با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده	۳
۳.۲	انتخاب سیگنال ورودی	۴
۱.۳.۲	نویز سفید	۴
2.3.2	سیگنال Chirp	۶
۴.۲	روش‌های شناسایی سیستم	۶
۱.۴.۲	روش‌های غیرپارامتری	۶
۲.۴.۲	روش‌های پارامتری	۶
۱.۲.۴.۲	روش‌های یکباره	۷
۲.۲.۴.۲	روش‌های تکراری	۷
۳.۲.۴.۲	روش‌های بازگشتی	۷
۵.۲	شناسایی تابع تبدیل یک سیستم با استفاده از نرم‌افزار متلب	۸
۳	طراحی و شناسایی یک سیستم الکترونیکی	۹
۱.۳	مدارهای طراحی شده	۹
۱.۱.۳	فیلتر میان‌گذر Bridged-T	۱۳
۱.۱.۱.۳	شبیه‌سازی و رسم نمودار بود مدار فیلتر میان‌گذر bridged-T در نرم‌افزار Pspice	۱۳
۲.۱.۱.۳	رسم نمودار بود مدار فیلتر میان‌گذر bridged-T با استفاده از تابع تبدیل در نرم‌افزار MATLAB	۱۵
۳.۱.۱.۳	طراحی فیلتر میان‌گذر bridged-T با مشخصات دلخواه	۱۸
۴.۱.۱.۳	اثر بارگذاری روی تابع تبدیل	۱۹
۲.۱.۳	فیلتر میان‌گذر (MFB) Multiple Feedback	۲۰
۱.۲.۱.۳	شبیه‌سازی و رسم نمودار بود مدار فیلتر میان‌گذر MFB در نرم‌افزار Pspice	۲۱
۲.۲.۱.۳	رسم نمودار بود مدار فیلتر میان‌گذر MFB با استفاده از تابع تبدیل در نرم‌افزار MATLAB	۲۲
۳.۲.۱.۳	طراحی فیلتر میان‌گذر MFB با مشخصات دلخواه	۲۳
۲.۳	روش استفاده شده برای شناسایی سیستم در این پروژه	۲۴
۱.۲.۳	شناسایی به روش تابع چگالی طیفی توان	۲۴

۱.۱.۲.۳	محاسبه چگالی طیفی توان سیگنال با استفاده از تابع خودهمبستگی	۲۵
۲.۱.۲.۳	محاسبه چگالی طیفی توان با روش پریود گرام	۲۶
۳.۱.۲.۳	محاسبه تابع تبدیل	۲۶
۳.۳	نحوه نمونه برداری از سیستم و ذخیره سازی آن	۲۷
۱.۳.۳	تولید سیگنال Chirp در نرم افزار متلب	۲۷
۲.۳.۳	اعمال سیگنال Chirp به ورودی مدار با استفاده از متلب	۲۷
۳.۳.۳	نمونه برداری از ورودی و خروجی	۲۸
۱.۳.۳.۳	Legacy Interface	۲۹
۴.۳	شناسایی تابع تبدیل سیستم در نرم افزار متلب	۳۰
۱.۴.۳	روش تابع خودهمبستگی	۳۰
۲.۴.۳	روش پریود گرام	۳۲
۵.۳	نتایج شناسایی سیستم	۳۴
۱.۵.۳	شناسایی تابع تبدیل فیلتر میانگذر bridged-T	۳۶
3.5.2	شناسایی تابع تبدیل فیلتر میانگذر MFB	۴۰
۴ نتیجه گیری		
۴۵		
منابع و مراجع		
۴۶		

صفحه

فهرست اشکال

- شکل ۱.۲ یک سیستم دینامیکی با خروجی y ، ورودی u ، اغتشاش قابل اندازه‌گیری w و اغتشاش غیر قابل اندازه‌گیری v [۴]..... ۲
- شکل ۲.۲ نمودار نویز سفید با میانگین صفر و واریانس چهار..... ۵
- شکل ۳.۲ سیگنال Chirp کسینوسی که در یک ثانیه بین صفر تا ۲۵۰ هرتز نوسان می‌کند..... ۵
- شکل ۱.۳ مدار مرتبه دوم با ترکیب سری سلف، خازن و مقاومت [۶]..... ۱۰
- شکل ۲.۳ استفاده از قانون کریشهف در حلقه نشان داده شده [۶]..... ۱۰
- شکل ۳.۳ فیلتر پایین‌گذر مرتبه دوم مقاومتی-خازنی..... ۱۱
- شکل ۴.۳ نمودار بود مدار شکل ۳.۳ برای $R1 = R2 = 10\text{ K}\Omega$, $C1 = 100\text{ nF}$, $C2 = 50\text{ nF}$, $\zeta = 1.76$ ۱۲
- شکل ۵.۳ نمودار بود مدار شکل ۳.۳ برای $R1 = R2 = 10\text{ K}\Omega$, $C1 = 100\text{ nF}$, $C2 = 1\text{ nF}$, $\zeta = 10.05$ ۱۲
- شکل ۶.۳ مدار فیلتر میان‌گذر bridged-T..... ۱۳
- شکل ۷.۳ شبیه‌سازی مدار فیلتر میان‌گذر bridged-T در نرم افزار Pspice..... ۱۴
- شکل ۸.۳ انتخاب تنظیمات برای رسم نمودار بود در نرم افزار Pspice..... ۱۴
- شکل ۹.۳ نمودار بود حاصل از شبیه‌سازی مدار فیلتر میان‌گذر bridged-T در نرم افزار Pspice..... ۱۵
- شکل ۱۰.۳ نمودار بود رابطه ۷.۳ برای مقادیر $R1 = R2 = 10\text{ k}\Omega$, $C1 = 1\text{ nF}$ و $C2 = 100\text{ nF}$ ۱۶
- شکل ۱۱.۳ نمودار بود فیلتر میان‌گذر برای مقادیر مختلف $C1$ و به‌ازای $C2$ و $R1 = R2 = 10\text{ k}\Omega$ و $C2 = 100\text{ nF}$ ۱۶
- شکل ۱۲.۳ نمودار بود فیلتر میان‌گذر برای مقادیر مختلف $C2$ و به‌ازای $C1$ و $R1 = R2 = 100\text{ k}\Omega$ و $C2 = 10\text{ nF}$ ۱۷
- شکل ۱۳.۳ نمودار بود فیلتر میان‌گذر برای مقادیر مختلف $R2$ و به‌ازای $C1$ و $R1 = 100\text{ k}\Omega$ و $C2 = 100\text{ nF}$ ۱۷
- شکل ۱۴.۳ اثر بارگذاری روی تابع تبدیل برای مقاومت‌های متفاوت [۸]..... ۱۹
- شکل ۱۵.۳ مدار فیلتر میان‌گذر MFB..... ۲۰
- شکل ۱۶.۳ تغذیه آپ‌امپ با دو منبع ولتاژ جداگانه [۱۱]..... ۲۱
- شکل ۱۷.۳ تغذیه آپ‌امپ با یک منبع ولتاژ با استفاده از زمین مجازی [۱۱]..... ۲۱
- شکل ۱۸.۳ راه‌اندازی آپ‌امپ با استفاده از تقسیم مقاومتی برای ایجاد ولتاژ $\frac{V_{CC+}}{2}$ [۱۱]..... ۲۱
- شکل ۱۹.۳ شبیه‌سازی مدار فیلتر میان‌گذر MFB در نرم‌افزار Pspice..... ۲۲
- شکل ۲۰.۳ نمودار بود حاصل از شبیه‌سازی مدار فیلتر میان‌گذر MFB..... ۲۲
- شکل ۲۱.۳ نمودار بود رابطه ۱۵.۳ برای مقادیر C و $R1 = 10\text{ k}\Omega$, $R2 = 100\text{ k}\Omega$, $R3 = 1\text{ k}\Omega$ و $C = 330\text{ nF}$ ۲۳

- شکل ۲۲.۳ نمودار تابع خودهمبستگی و چگالی طیفی توان نویز سفید [۱۳]..... ۲۶
- شکل ۲۳.۳ معرفی وظیفه پایه‌های کابل هندزفری [۱۴]..... ۲۸
- شکل ۲۴.۳ معرفی پایه‌های کابل هدفن سه پایه [۱۵]..... ۲۹
- شکل ۲۵.۳ رسم تابع خودهمبستگی و چگالی طیفی توان سیگنال Chirp..... ۳۲
- شکل ۲۶.۳ چگالی طیفی توان سیگنال Chirp با استفاده از پرلودگرام..... ۳۴
- شکل ۲۷.۳ تصویر مدار فیلتر میان‌گذر..... ۳۷
- شکل ۲۸.۳ نتایج حاصل از شناسایی تابع تبدیل فیلتر میان‌گذر (bridged-T) برای مقادیر
 $R1 = 10\text{ K}\Omega, R2 = 1\text{ M}\Omega, C1 = 68\text{ nF}, C2 = 100\text{ }\mu\text{F}$ ۳۹
- شکل ۲۹.۳ مقایسه نمودار بود تابع تبدیل شناسایی شده با تابع تبدیل واقعی مدار فیلتر میان‌گذر (bridged-T) برای مقادیر
 $R1 = 5.6\text{ K}\Omega, R2 = 2.7\text{ M}\Omega, C1 = 270\text{ nF}, C2 = 330\text{ }\mu\text{F}$ ۳۹
- شکل ۳۰.۳ مدار فیلتر میان‌گذر..... ۴۱
- شکل ۳۱.۳ نتایج حاصل از شناسایی تابع تبدیل فیلتر میان‌گذر MFB برای مقادیر
 $R1 = 15\text{ K}\Omega, R2 = 56\text{ K}\Omega, R3 = 560\text{ }\Omega, C1 = C2 = 100\text{ nF}$ ۴۳
- شکل ۳۲.۳ مقایسه نمودار بود تابع تبدیل شناسایی شده با تابع تبدیل واقعی مدار فیلتر میان‌گذر MFB برای مقادیر
 $R1 = 8.2\text{ K}\Omega, R2 = 33\text{ K}\Omega, R3 = 82\text{ }\Omega, C1 = C2 = 100\text{ nF}$ ۴۴

فهرست جداول	۱۳
جدول ۱.۳ کد متلب تولید و ارسال سیگنال Chirp	۲۸
جدول ۲.۳ کد متلب دریافت و ذخیره اطلاعات با استفاده از کارت صوتی	۳۰
جدول ۳.۳ کد متلب محاسبه خودهمبستگی و چگالی طیفی توان	۳۱
جدول ۴.۳ کد متلب محاسبه چگالی طیفی توان با روش پریودگرام	۳۳
جدول ۵.۳ کد نهایی شناسایی تابع تبدیل	۳۵

۱ مقدمه

تجزیه و تحلیل مشاهدات علمی و توانایی ارائه مدلی براساس این مشاهدات از دیرباز مورد توجه

دانشمندان قرار داشته است. "شناسایی سیستم" در واقع یک مدل ریاضی براساس اطلاعات مشاهده شده

از یک سیستم دینامیکی را به ما می دهد. که با استفاده از این مدل ریاضی می توان رفتار سیستم را در

موقعیت های متفاوت و در حضور اغتشاشات تخمین زد. از این رو مبحث شناسایی سیستم در صنعت

برای توجیه رفتار سیستم ها کاربرد زیادی دارد.

مباحث تئوری در زمینه روش های شناسایی سیستم و شبیه سازی این روش ها در اکثر کتب مربوط به

شناسایی سیستم مطرح شده است اما در مورد مباحث عملی مانند نحوه نمونه برداری از ورودی و خروجی

سیستم مطالب بسیار کمی موجود است. از این رو در این پروژه نحوه به کارگیری یکی از روش های

شناسایی سیستم در عمل، با استفاده از ادوات ساده و قابل دسترس بررسی شده است.

در این پایان نامه در فصل اول ابتدا تعاریف اساسی در شناسایی سیستم و گام ها و روش های شناسایی

سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. سپس در فصل دوم نحوه طراحی یک فیلتر میان گذر و یک فیلتر

میان گذر مطرح شده و در ادامه نحوه نمونه برداری از ورودی و خروجی و روش به کار برده شده برای

شناسایی بررسی می شود. در فصل سوم نتایج بدست آمده بعد از شناسایی تابع تبدیل این دو فیلتر با تابع

تبدیل واقعی آن ها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲ مقدمه ای بر شناسایی سیستم

طراحی کنترلر مناسب برای یک سیستم دینامیکی نیازمند داشتن پارامترهای دقیق و مدل مناسبی از سیستم می باشد که در عمل، مدل ریاضی دقیق برای سیستم های فیزیکی به راحتی بدست نمی آید. در این حالت از روش های شناسایی سیستم برای تخمین مدل ریاضی سیستم استفاده می شود. شناسایی سیستم، یک روش عملی برای تشخیص مدل ریاضی سیستم با استفاده از ورودی و خروجی می باشد. به این منظور با اعمال یک ورودی مشخص، خروجی سیستم اندازه گیری شده و با استفاده از روش های شناسایی سیستم تابع تبدیل آن شناسایی می شود.

۱.۲ تعریف سیستم دینامیکی

یک سیستم ترکیبی از اجزای مختلف است که در تعامل با یکدیگر سیگنال مشهود و قابل اندازه گیری تولید می کنند. این سیگنال حاوی اطلاعات مفیدی از نحوه عملکرد سیستم است و به عنوان خروجی سیستم شناخته می شود. خروجی سیستم در واقع نتیجه ی ورودی اعمال شده به آن است که گاهی در آن اغتشاشات ناخواسته ای نیز دیده می شود. در بعضی موارد این اغتشاشات قابل اندازه گیری و در سایر موارد غیر قابل اندازه گیری هستند و فقط تاثیر آنها روی خروجی نشان دهنده وجود این اغتشاشات است [۵]. شکل ۱.۲ مدل یک سیستم دینامیکی را نشان می دهد.



شکل ۱.۲ یک سیستم دینامیکی با خروجی y ، ورودی u ، اغتشاش قابل اندازه گیری w و اغتشاش غیر قابل

اندازه گیری v [۴]

۲.۲ گام های اولیه در شناسایی سیستم

شناسایی سیستم از ۳ بخش اساسی تشکیل شده است [۴]:

۱. دریافت اطلاعات سیستم (خروجی، ورودی و...)
۲. انتخاب مجموعه ای از مدل های احتمالی برای سیستم

۳. قوانینی برای ارزیابی و انتخاب مدل صحیح

هر بخش را در ادامه به اختصار توضیح می دهیم:

۱.۲.۲ دریافت اطلاعات سیستم

در برخی موارد کاربر می تواند سیستم را در شرایط خاص تست، و ورودی و خروجی را ذخیره کند. در این حالت می توان انتخاب کرد کدام سیگنال و در چه بازه زمانی ذخیره شود. همچنین می توان سیگنال ورودی را نیز به دلخواه انتخاب کرد. نمونه برداری در این شرایط ما را در دستیابی به مدل صحیح تر از سیستم کمک می کند. اما در برخی دیگر از سیستم ها کاربر توان اثر گذاری روی اطلاعات را ندارد و باید سیگنال های بدست آمده از عملکرد عادی سیستم را پردازش کند.

۲.۲.۲ انتخاب مجموعه ای از مدل های احتمالی

در این مرحله با استفاده از بینش مهندسی، مجموعه ای از مدل های مناسب برای سیستم را با توجه به اطلاعات بدست آمده و ویژگی های سیستم انتخاب می کنیم. در بعضی موارد با استفاده از ویژگی های سیستم و قوانین فیزیکی و روابط اثبات شده دیگر، می توان به برخی از پارامترهای مجهول سیستم دست یافت. در این حالت روش مدلسازی، جعبه خاکستری نامیده می شود. اما در صورتی که اطلاعاتی از ویژگی های سیستم موجود نیست و تنها راه تعیین پارامترهای مجهول سیگنال های اندازه گیری شده از سیستم است؛ روش مدلسازی جعبه سیاه انتخاب می شود.

۳.۲.۲ انتخاب بهترین مدل با استفاده از اطلاعات اندازه گیری شده

در این بخش با استفاده از روش های شناسایی سیستم به ارزیابی مدل انتخابی می پردازیم. کیفیت مدل ارائه شده بستگی به میزان تشابه اطلاعات تولید شده توسط آن با اطلاعات اندازه گیری شده در شرایط

۳.۲ انتخاب سیگنال ورودی

یکی از مهمترین مباحث که در شناسایی سیستم باید مدنظر قرار گیرد، انتخاب نوع ورودی است. اگر ورودی مناسب انتخاب نشود شناسایی کامل نبوده و ممکن است فرایند شناسایی با شکست مواجه شود.

سیگنال ورودی باید حتی الامکان شامل همه فرکانس‌های تحریک کننده سیستم در بازه فرکانسی مورد نظر برای شناسایی باشد. از این رو یک سیگنال تصادفی با توزیع گوسی (شبه نویز سفید) که دربرگیرنده طیف فرکانس وسیعی است به عنوان ورودی برخی سیستم‌ها می‌تواند مناسب باشد. از طرفی، دامنه سیگنال ورودی باید در حدی باشد که تغییرات قابل توجه در خروجی سیستم ایجاد کند و درعین حال نباید چندان زیاد باشد که باعث آسیب سیستم و یا خروج از نقطه کار فعلی آن گردد [۱]. مدت زمان اعمال ورودی نیز حائز اهمیت است و در هنگام اعمال ورودی باید در نظر گرفته شود. این زمان باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا سیستم قادر به پاسخگویی به ورودی باشد.

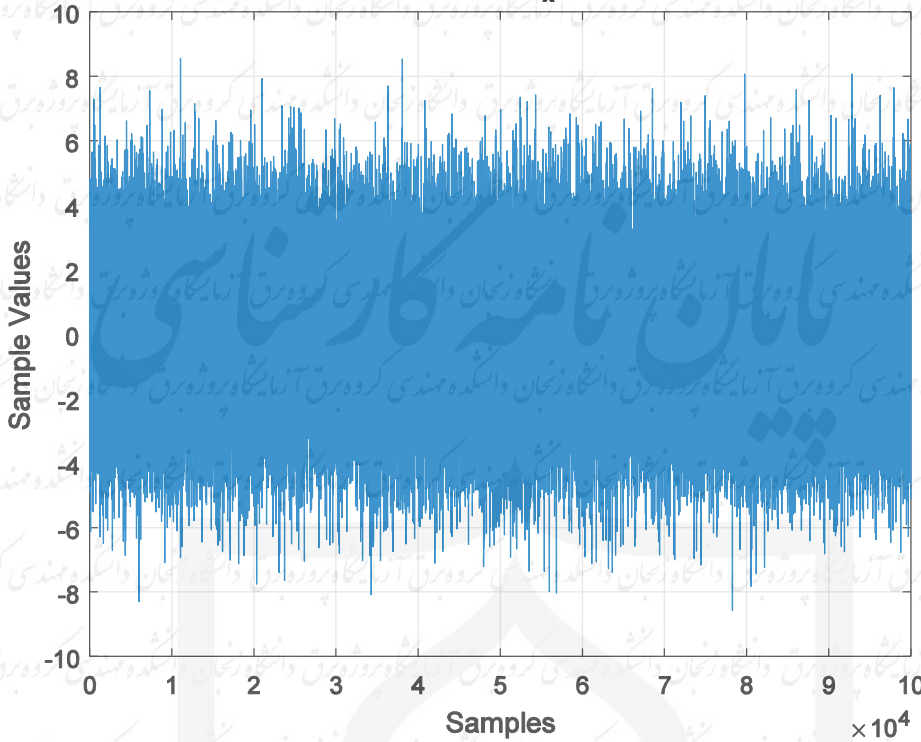
از سیگنال‌های متداول که در شناسایی سیستم استفاده می‌شوند می‌توان به نویز سفید، Chirp، سینوس، ضربه و پله اشاره کرد. که در میان آنها نویز سفید بهترین تحریک کننده سیستم است و شرط استفاده از برخی روش‌های شناسایی سیستم نیز اعمال ورودی نویز سفید است. در ادامه به معرفی دو سیگنال پرکاربرد نویز سفید و Chirp می‌پردازیم.

۱.۳.۲ نویز سفید

در پردازش سیگنال، نویز سفید به سیگنالی گفته می‌شود که در تابع چگالی توان (PSD) آن توان به‌طور یکنواخت در همه فرکانس‌ها توزیع شده و تابع خودهمبستگی آن به صورت تابع دلتای دیراک باشد [۳] (شکل ۲.۲). به عبارت ساده تر نویز سفید متشکل از مجموعه‌ای از فرکانس‌ها با شدت یکسان است. به همین دلیل در نامگذاری این نویز از صفت سفید استفاده شده است (مانند نور سفید که متشکل از همه طول موج‌های مرئی نور است).

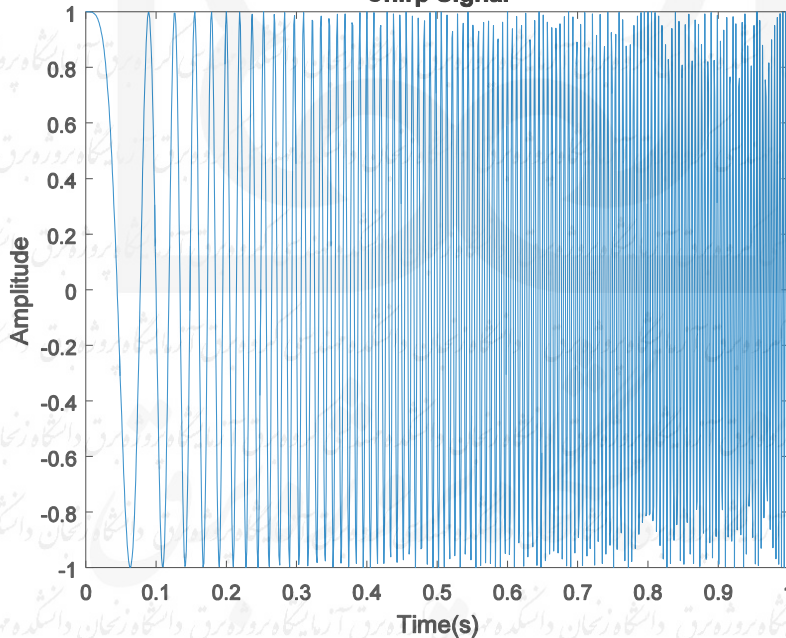
در عمل ایجاد نویز سفید واقعی و اعمال آن به سیستم دشوار است زیرا همه سیستم‌ها توان تحمل تغییرات ناگهانی فرکانس را ندارند. به همین دلیل معمولاً به جای نویز سفید از سیگنال Chirp استفاده می‌شود.

White noise : $\mu_x = 0 \quad \sigma^2 = 4$



شکل ۲.۲ نمودار نویز سفید با میانگین صفر و واریانس چهار

Chirp Signal



شکل ۳.۲ سیگنال Chirp کسینوسی که در یک ثانیه بین صفر تا ۲۵۰ هرتز نوسان می کند

۴ نتیجه گیری

در این پروژه به مفهوم شناسایی سیستم و نحوه اجرای آن در عمل با استفاده از ادوات ساده و قابل

دسترس پرداخته شد. برای شروع این کار ابتدا یک مدار مرتبه دوم طراحی کرده سپس با روش چگالی

طیفی توان، تابع تبدیل مدار شناسایی می شود. این روش یک روش آماری و غیر پارامتری برای شناسایی

تابع تبدیل سیستم بوده و شرط استفاده از آن اعمال ورودی نویز سفید است. اما به دلیل دشوار بودن

ایجاد نویز سفید واقعی به جای آن معمولاً از سیگنال Chirp به عنوان ورودی استفاده می شود. روش

اعمال ورودی به مدار بدین صورت است که پس از تولید سیگنال با نرم افزار متلب (در کامپیوتر الف)،

توسط پایه مربوط به بلندگو در کابل پورت هندزفری به برد منتقل می شود. بعد از اعمال ورودی نوبت به

نمونه برداری از مدار است که توسط پورت میکروفن یک کامپیوتر دیگر (کامپیوتر ب) و نرم افزار متلب

انجام می شود. و در آخر با به کارگیری این نمونه ها و با استفاده از چگالی طیفی توان، تابع تبدیل سیستم

بدست می آید.

تابع تبدیل محاسبه شده با استفاده از این روش دقیق نیست و به دلیل محدودیت های کارت صوتی

بیشتر از این نمی توان انتظار داشت. اما به عنوان یک روش ساده برای شناسایی سیستم های ساده در

عمل و استفاده از روش های شناسایی سیستم بسیار مناسب بوده و بار یادگیری زیادی برای دانشجویان

به دنبال دارد.

منابع و مراجع

- [۱] علی عیسی پور، شناسایی سیستم، انتشارات شیوه، ۱۳۸۷.
- [۲] مهدی کراری، شناسایی سیستم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۹۴.
- [۳] انویز سفید، برگرفته از سایت "https://fa.wikipedia.org"
- [۴] Lennart Ljung; *System Identification: Theory for the User*, Second edition, Linköping University, Sweden, 1987.
- [۵] Chirp Signal – Frequency Sweeping – FFT and power spectral density (<http://www.gaussianwaves.com>)
- [۶] Time-Response of an Inductor–Resistor–Capacitor (LRC) Circuit (<http://ctms.engin.umich.edu>)
- [۷] Notch Tone Control (<http://www.muzique.com>)
- [۸] Designing resistor-capacitor networks (<http://www.johnhearfield.com>)
- [۹] PSPICE tutorial: Frequency response; tuttle.merc.iastate.edu/ee201/spice/pspice_frequency_response.pdf
- [۱۰] Bridged T Notch Filter - Summary of Equations and Estimates of Cutoff Frequencies, Bandwidth, and Q (<https://sites.google.com/site/garydavenportelectronics/home/bridgedtnotchfilter>)
- [۱۱] Texas Instruments; A single-supply op-amp circuit collection; electro.uv.es/asignaturas/ea2/archivos/sloa058.pdf
- [۱۲] Texas Instruments; Active Filter Design Techniques; <https://focus.ti.com/lit/ml/sloa088/sloa088.pdf>
- [۱۳] Simulation and Analysis of White Noise in Matlab (<http://www.gaussianwaves.com>)
- [۱۴] National Semiconductor; Power Spectra Estimation; www.ti.com/lit/an/snoa719/snoa719.pdf
- [۱۵] How to Hack a Headphone Jack (<http://topheadphones.club>)



University of Zanjan
Department of Electrical Engineering

BSc Project

Practical transfer function identification of electrical and electronic circuits

By:

Sepideh Najafi Nia

Advisor:

Dr. Farshad Merikh-Bayat

March 2017