Journal of Acoustical Society of Iran, Vol. 13, No. 1, 2025

(Research Article)
Innovative Method for Detecting Ultrasonic Transducer Disconnection in Sonar Systems

Saeid Jafari*, Najmeh Cheraghi Shirazi
Department of Electrical Engineering, Bu.C., Islamic Azad University, Bushehr, Iran
Received: 2025/05/04, Accepted: 2025/10/15

Abstract:

In ultrasound-based systems such as echo-sounders and sonar, if the transducer becomes disconnected from the device due to cable damage, short-circuit, or transducer failure, no ultrasound waves are transmitted into the water, and consequently, no echo is received. This article presents an innovative method for detecting the connected/disconnected status of the transducer. The technique exploits the inherent ringing behavior (decay time) of the transducer's diaphragm after the excitation pulse ends. When the transducer is properly connected, its diaphragm continues to vibrate for a short period (decay time); however, if disconnected, no such persistent vibration occurs. By measuring the transducer's voltage immediately after the transmission phase and processing its decay time, a disconnection can be detected, and appropriate warnings can be issued to the system operator. The proposed approach employs analog circuitry to capture the decay signal, followed by digital processing in a microprocessor. The method is first validated through simulation of the transducer, transmitter, and receiver circuits in Multisim. It is then successfully implemented in a commercial echo-sounder device designed by the authors, and the practical results are presented and discussed.

Keywords: Ultrasound, Sonar, Transducer, Echo-sounder, Filter.

pp. 77-85 (In Persian)

* Corresponding Author: Jafari@cibco-marine.com

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

مقاله پژوهشی

مجله انجمن علوم صوتی ایران

سال: ۱۴۰۴، دوره: ۱۳، شماره ۱، صفحات: ۷۷-۸۵

روش نوآورانه برای تشخیص قطع اتصال تراگذار فراآوایی در سامانه‌های سونار

سعید جعفری*، نجمه چراغی شیرازی

گروه مهندسی برق، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

چکیده

در سامانه‌های مبتنی بر فراآوایی مانند پژواک‌سنج-صداها و سونار، در صورتی که ارتباط تراگذار با دستگاه به دلیل آسیب کابل، اتصال‌کوتاه یا خرابی تراگذار قطع شود، امواج فراآوایی به درون آب ارسال نشده و در نتیجه هیچ پژواکی نیز دریافت نمی‌شود. در این مقاله روشی نوآورانه برای تشخیص وضعیت وصل یا قطع بودن تراگذار ارائه شده‌است. در این روش، از رفتار ذاتی زنگ (ادامه‌داربودن بسامد دیافراگم) دیافراگم تراگذار پس از پایان ارسال تپ تحریک استفاده شده است. در صورت قطع ارتباط تراگذار با دستگاه، برای مدت کوتاهی (زمان واپاشی) به ارتعاش ادامه می‌دهد. با این حال اگر قطع شود، چنین ارتعاش مداومی رخ نمی‌دهد. دیافراگم با اندازه‌گیری ولتاژ تراگذار بلافاصله پس از پایان مرحله ارسال و پردازش زمان واپاشی آن می‌تواند قطع‌شدن ارتباط تراگذار را تشخیص داده و هشدارهای لازم را به اپراتور سامانه صادر نماید. رویکرد پیشنهادی، روش آشکارسازی اتصال تراگذار با استفاده از مدارات آنالوگ و پردازش آن توسط ریزپردازنده می‌باشد. در این روش ابتدا از طریق شبیه‌سازی مدارهای یک تراگذار، فرستنده و گیرنده در نرم‌افزار مولتی‌سیم اعتبارسنجی می‌شود. سپس ساختار یک دستگاه پژواک‌سنج-صدا تجاری طراحی‌شده توسط نویسندگان پیاده‌سازی شده و نتایج ارائه و بحث می‌شود.

کلیدواژه‌ها: فراآوایی، سونار، تراگذار، پژواک‌سنج-صدا، صافی.

۱. مقدمه

در یک سامانه پژواک‌سنج-صدا[1] یا سونار مبتنی بر امواج فراآوایی[2]، تراگذار[3] نقش اساسی در عملکرد این سامانه‌ها را ایفا می‌کند.

در این تجهیزات، امواج فراآوایی از طریق تراگذار به اعماق آب فرستاده می‌شود [۱] و پژواک[4]های برگشتی از اجسام زیرشناور پس از حذف نوفه و تقویت‌کنندگی، برای اندازه‌گیری عمق دریا مورد پردازش قرار می‌گیرند [۳,۲].

با توجه به شرایط فیزیکی و ازدحام کابل‌کشی‌های مختلف که در انواع شناورها و کشتی‌ها وجود دارد، در شرایط خاص مانند کشیده‌شدن کابل‌ها به اجسام برنده، طی عملیات‌های اضطراری و غیره، احتمال پاره‌شدن کابل رابط بین تراگذار و دستگاه پژواک‌سنج-صدا وجود دارد. در چنین مواقعی، تشخیص قطع‌شدن ارتباط تراگذار با دستگاه پژواک‌سنج-صدا جهت اطمینان از سلامت عملکرد سامانه، برای اپراتور[5] سامانه اهمیت فراوانی دارد. از جمله این ضرورت‌ها می‌توان به تفکیک شرایط بدون پژواک از خرابی تراگذار اشاره کرد [۴].

در این مقاله روش نوآورانه‌ای برای بررسی عملکرد تراگذار معرفی شده است. در این روش، پردازنده سامانه قادر خواهد بود در صورت قطع‌شدن ارتباط کابلی تراگذار، از طریق رفتار ذاتی زنگ[6] «ادامه‌دار بودن حرکت نوسانی دیافراگم» تراگذار پس از پایان ارسال تپ[7]ها [۵] آن را در سریع‌ترین زمان ممکن تشخیص‌داده و هشدارهای لازم را از طریق صفحه[8] کاربری برای رسیدگی سریع و تست سلامت تراگذار روی شناور، صادر کند و کاربر را مطلع‌سازد.

* نویسنده پاسخگو: Jafari@cibco-marine.com

[1] Echo-sounder
[2] Ultrasonic waves
[3] Transducer
[4] Echo
[5] Operator
[6] Ringing behavior
[7] Pulse
[8] Panel

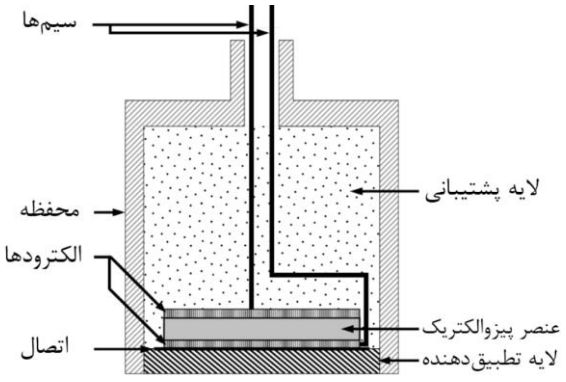
[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

در این مقاله، ابتدا مروری بر ساختار تراگذارهای فراآوایی انجام شده است. سپس بخش‌های مختلف یک سامانه مبتنی بر تراگذار فراآوایی معرفی خواهد شد. در ادامه، مدار پیشنهادی برای تشخیص قطعی تراگذار مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج شبیه‌سازی و عملی روش پیشنهادی بررسی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. مروری بر ساختار تراگذارهای فراآوایی

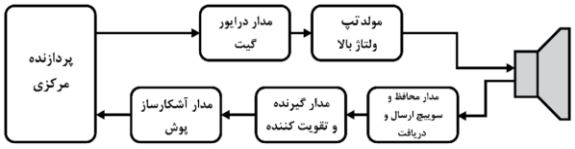
همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده‌شده‌است، ساختار داخلی تراگذارهای فراآوایی، مانند بلندگوهای پیزوالکتریک[1] می‌باشد. در این ساختار، با اعمال ولتاژ به ورودی‌های تراگذار، انبساط و انقباض متناسب در کریستال‌های پیزوالکتریک داخلی رخ می‌دهد که باعث تولید امواج مکانیکی می‌شود. آهنگ این انبساط و انقباض‌ها با بسامد تپ‌های ورودی رابطه مستقیم دارد [۶]. کریستال‌های پیزوالکتریک به صورت یک قرص[2] درون یک غشای فلزی قرار گرفته‌اند [۷].



شکل ۱ ساختار داخلی تراگذار فراآوایی [۶].

۲-۲. کاربرد تراگذار فراآوایی در سامانه پژواک‌سنج-صدا

در شکل ۲ یک مثال از بلوک دیاگرام ساده شده از یک سامانه پژواک‌سنج-صدا آورده شده‌است. علامت[3] ارسالی به صورت تپ از پردازنده به تراگذار ارسال و علامت‌های دریافتی پس از تقویت به پردازنده وارد می‌شوند.



شکل ۲ بلوک دیاگرام یک سامانه فرستنده و گیرنده فراآوایی.

۲-۳. بلوک فرستنده

برای ارسال امواج فراآوایی به زیر آب، تپ‌هایی با ولتاژ بسیار بالا در بازه چند صد ولت به تراگذار اعمال می‌گردد. بسامد این تپ‌ها براساس بسامد کاری تراگذار انتخاب می‌شوند.

در کاربردهای پژواک‌سنج-صدا معمولا این بسامد ۵۰ کیلوهرتز، ۲۰۰ کیلوهرتز یا سایر بسامدها می‌باشد [۸]. هرچه دامنه تپ‌های ورودی بیش‌تر باشد، شدت لرزش دیافراگم تراگذار و در نتیجه آن امواج فراآوایی تولیدشده توسط تراگذار بیش‌تر خواهد بود و امکان نفوذ در عمق‌های بیش‌تری را فراهم می‌کند. این تپ‌ها توسط پردازنده مرکزی با کنترل بسامد دقیق تولید می‌شوند. از طرفی، پایه[4]های خروجی پردازنده توانایی لازم چه از نظر سطح ولتاژ و چه جریان برای راه‌اندازی ترانزیستورهای ماسفت[5] بخش کلید[6] قدرت را ندارند [۹]، بنابراین این تپ‌ها به مدار درایور گیت واردشده تا به مقدار لازم تقویت شوند.

پس از آن، مدار مولد تپ ولتاژ بالا که عموما یک ترانسفورماتور افزاینده که توسط ماسفت‌های قدرت به صورت پوش-پول[7] راه‌اندازی شده‌است [۱۰]، این تپ‌های تقویت‌شده را به تپ‌هایی با دامنه چند صد ولت تبدیل می‌کند و به تراگذار اعمال می‌کند.

۲-۴. بلوک گیرنده

پس از پایان ارسال علامت، امواج برگشتی، با عبور از مدار کلید ارسال/دریافت[8] به مدار گیرنده وارد می‌شوند [۱۱]. با توجه به این که دامنه علامت‌های دریافتی از عمق آب بسیار کوچک است، در این مرحله علامت طی چند طبقه توسط مدارات تقویت‌کننده عملیاتی با بهره متغیر تقویت‌شده و سپس قله‌های

[1] Piezoelectric
[2] Disk
[3] Signal
[4] Pin
[5] MOSFET; Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
[6] Switch
[7] Push-pull
[8] Transmit/receive switch

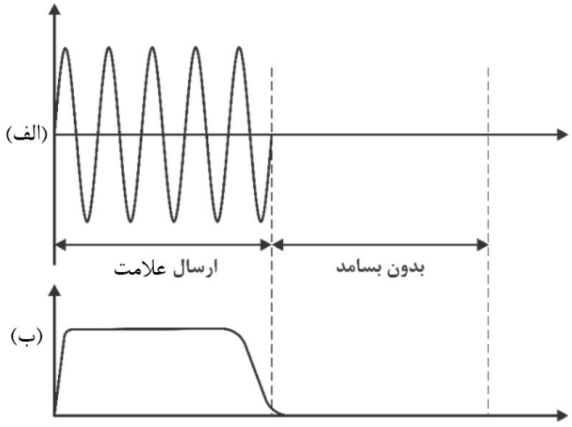
[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

علامت توسط مدار آشکارساز پوش[1] آشکار شده [۱۲] و به پردازنده مرکزی وارد می‌شود.

۲-۵. تحلیل علامت ارسال و دریافت

۲-۵-۱. متصل‌بودن تراگذار

در شکل ۳ مراحل ارسال تپ و ادامه بسامد در تراگذار پس از پایان ارسال نشان داده شده‌است.



شکل ۳ علامت روی تراگذار در حالت قطع کابل.

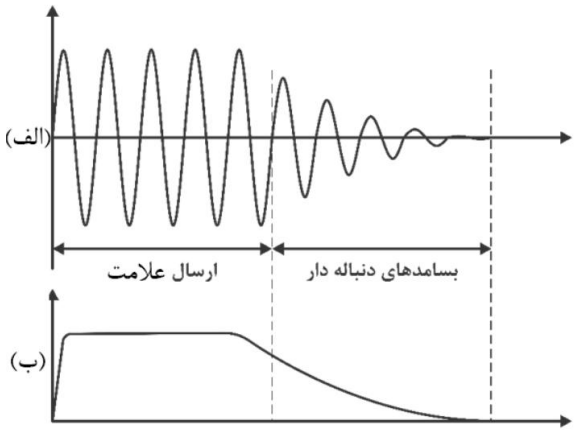
شکل ۳ (الف) علامت خروجی ولتاژ بالا اعمال شده به تراگذار، و شکل ۳ (ب) علامت خروجی آشکارساز پوش می‌باشد. در مرحله ارسال علامت، ولتاژ تحریک در حدود ۴۰۰ ولت (قله[2]) و با بسامد ۲۰۰ کیلوهرتز به تراگذار اعمال می‌شود.

پس از پایان ارسال تپ‌های تحریک، در مرحله بسامدهای ادامه‌دار، بسامد علامت روی تراگذار تا مدتی ادامه دارد و با گذشت زمان دامنه آن به صفر می‌رسد [۱۳]. مدت زمانی که این بسامدها ادامه دارد، بسته به الگو تراگذار، متفاوت است.

۲-۵-۲. قطع‌شدن کابل تراگذار

در شکل ۴ علامت ورودی مدار را در حالت قطع ارتباط تراگذار نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، پس از پایان یافتن ارسال تپ‌های تحریک تراگذار، ولتاژ خروجی بلافاصله افت کرده و به صفر می‌رسد. به این دلیل که در غیاب تراگذار در خروجی مدار، نوسان علامت ادامه پیدا نمی‌کند.

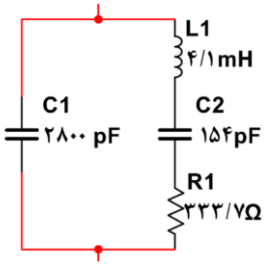


شکل ۴ علامت روی تراگذار در حالت متصل [۵].

در روش پیشنهادی در این مقاله، با اندازه‌گیری مدت زمان ولتاژ خروجی پس از مرحله ارسال پشت‌سرهم[3] و مقایسه آن با مقدار مرجع واسنجی‌شده، قطع یا وصل بودن تراگذار را تشخیص خواهیم داد.

۲-۶. الگوسازی تراگذار فراآوایی

برای انجام شبیه‌سازی این مقاله، در ابتدا باید یک مدار معادل مناسب برای تراگذار فراآوایی در نظر گرفته شود.



شکل ۵ مدار معادل تراگذار فراآوایی.

در مدار شکل ۵ یک نمونه مدار معادل برای تراگذار نشان داده شده است. مقادیر اولیه المآن‌های این الگو براساس قطعه به شماره ۴۰۰اِیی‌آر۲۵۰[4] انتخاب شده است [۱۴] و سپس برای رزونانس کاری ۲۰۰ کیلوهرتز

[1] Envelop detector
[2] Peak
[3] Burst
[4] 400ER250

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

بهینه شده‌اند. از آن‌جایی که $C_1 >> C_2$ می‌باشد، بسامد رزونانس[1] این الگو از رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$fc = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \times C_2}} = \frac{1}{2\pi\times\sqrt{4/1\times10^{-3}\times154\times10^{-12}}} = 200/3 \text{ کیلوهرتز} \quad (1)$$

۲-۷. مدار آشکارساز تراگذار

در مدار شکل ۶ یک نمونه مدار ارسال، دریافت و آشکارسازی امواج فراآوایی نشان داده شده‌است. برای سهولت در تحلیل، مدار به ۷ زیر بخش تقسیم بندی شده است. در ادامه هر یک از زیر بخش‌ها توضیح داده شده است.

در بلوک ۱ برای شبیه‌سازی علامت فراآوایی از یک منبع ولتاژ سینوسی با ولتاژ ۴۰۰ ولت (قله) و بسامد ۲۰۰ کیلوهرتز استفاده شده است.

علامت پس از عبور از دیودهای مسدودکننده D_1 و D_2، از طریق رله مجازی K_1 و زمان‌بندی از طریق منبع تپ V_2، تعداد ۱۰ چرخه از آن، به تراگذار اعمال می‌شود. در بلوک ۲ مدار معادل تراگذار قرار دارد.

کلید S_1 برای شبیه‌سازی قطع و وصل شدن کابل تراگذار مورد استفاده قرار گرفته است.

در بلوک ۳ مدار کلیدکننده ارسال و دریافت یا مدار کلید ارسال و دریافت قرار دارد. از آن‌جایی که ولتاژ تولیدشده توسط مدار فرستنده بسیار بالا می‌باشد، اگر در زمان ارسال، این ولتاژ به مدارات گیرنده وارد شود، صدمات برگشت‌ناپذیر به آن‌ها وارد خواهد کرد.

این مدار با ترکیب مقاومت R_2 و دو دیود D_3 و D_4 ولتاژ ورودی را به اندازه ولتاژ افت بایاس مستقیم دیودها که حدود ۰/۹ ولت می‌باشد، محدود خواهد کرد.

این ولتاژ سپس از یک مدار مشتق‌گیر متشکل از خازن C_3 و مقاومت R_3 در بلوک ۴ عبورکرده تا هرگونه بخش آفست[2] ولتاژ مستقیم[3] در علامت ورودی حذف گردد.

برای اطمینان از کم‌ترین تاثیر این مدار برروی علامت اصلی، بسامد قطع این مدار در حدود ۱۰ برابر کوچک‌تر از بسامد کاری تراگذار که ۲۰۰ کیلوهرتز می‌باشد، انتخاب شده است.

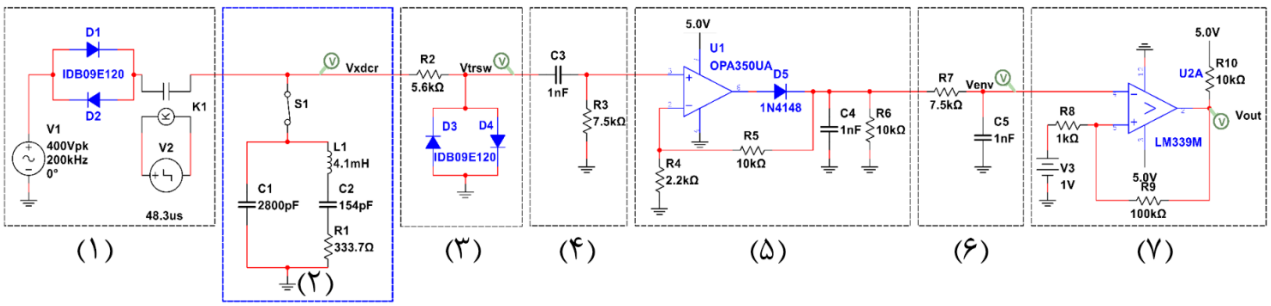
محاسبه بسامد قطع f_{-3db} این مدار با توجه به مقادیر انتخاب شده در رابطه ۲ آمده است.

$$f_{-3db} = \frac{1}{2\pi R_3 C_3} = \frac{1}{2\pi\times7/5\times10^{3}\times1\times10^{-9}} = 21/221 \text{ کیلوهرتز} \quad (2)$$

در بلوک ۵ علامت ورودی از طریق تقویت‌کننده U_1 و دیود D_5 به صورت نیم‌موج، یکسوسازی می‌شود. این مدار علاوه بر حذف نیم‌دوره[4] منفی، نیم‌دوره مثبت را با بهره حدود ۵/۵ برابر تقویت می‌کند.

آرایش تقویت‌کننده عملیاتی اُپی‌آ ۳۵۰[5] در این مدار به صورت تقویت‌کننده غیرمعکوس‌کننده می‌باشد که بهره[6] آن از رابطه ۳ بدست می‌آید:

$$A_V = 1 + \frac{R_9}{R_{10}} = 1 + \frac{10\times10^{3}}{2/2\times10^{3}} = 5/54 \quad (3)$$



شکل ۶ مدار آشکارساز تراگذار.

[1] Resonance frequency
[2] Offset
[3] DC voltage
[4] Cycle
[5] OPA350
[6] Gain

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

ولتاژ خروجی تقویت‌کننده عملیاتی[1] پس از عبور از دیود D_5 در خازن C_4 ذخیره می‌شود. با توجه به این‌که مسیر دشارژ این خازن به واسطه بایاس معکوس دیود D_5 با صرف نظر از جریان بسیار کوچک ۱۰پیکوآمپر ورودی منفی تقویت‌کننده عملیاتی [۱۵]، فقط از طریق مقاومت‌های R_4، R_5 و R_6 می‌باشد.

این مسیر دارای مقاومت ظاهری[2] بسیار بالاتری نسبت به طبقه خروجی تقویت‌کننده عملیاتی در مسیر شارژ که مقداری کم‌تر از ۱۰ میلی اهم [۱۵] می‌باشد. بنابراین قله ولتاژ ورودی روی این خازن برای مدت کوتاهی تا رسیدن دوره بعدی ذخیره می‌شود.

در ادامه این علامت پوش[3] به مدار صافی پایین‌گذر شامل مقاومت R_7 و خازن C_5 در بلوک ۶ وارد می‌شود. در این مرحله علامت، صافی شده و نوسان‌های آن کاهش می‌باشد. در این صافی نیز مشابه بلوک ۴ بسامد قطع در حدود ۱۰ برابر کوچک‌تر از بسامد مرکزی علامت ورودی در نظر گرفته شده است تا نوسان‌های ۲۰۰ کیلوهرتز برروی علامت به مقدار کافی حذف شوند.

در انتها علامت پوش به بلوک ۷ وارد می‌شود. این مدار شامل مقایسه‌کننده آنالوگ U_2 می‌باشد که ولتاژ ورودی را با یک ولتاژ مرجع به مقدار ۱ ولت مقایسه‌کرده و تپ خروجی را برای ارسال به میکروکنترلر تولید می‌کند. آرایش مقایسه‌گر اِل‌اِم۳۳۹[4] در این مدار به صورت مقایسه معکوس به همراه پنجره هیسترزیس[5] می‌باشد. دلیل استفاده از هیسترزیس در این مقایسه‌کننده این است که مصونیت بالاتری در برابر نوفه ولتاژ ورودی درآستانه مقایسه یعنی ۱ ولت ایجادشده و از تولید تپ‌های نوسانی در خروجی جلوگیری گردد.

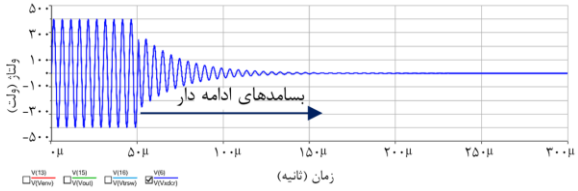
هم‌چنین به دلیل نوع خروجی کالکتور باز[6] در مقایسه‌گر U_2، خروجی آن توسط مقاومت R_{10} بالا کشیده[7] شده‌است [۱۶]. با توجه به آرایش این مدار مقایسه‌کننده، تپ خروجی در شرایطی که علامت ورودی وجود داشته باشد، با صفر و با قطع‌شدن علامت، با یک نمایش داده خواهد شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. شبیه‌سازی علامت ارسال

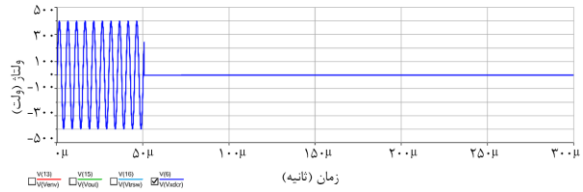
در شکل‌های ۷ و ۸ شبیه‌سازی علامت ارسال با مشخصات ۴۰۰ ولت (قله) و ۲۰۰ کیلوهرتز در دو وضعیت وصل و قطع بودن تراگذار نشان داده شده‌است.

همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، در زمان متصل‌بودن تراگذار، پس از پایان روند ارسال، ولتاژ نوسان‌ی روی پایه‌های تراگذار برای مدتی ادامه داشته و سپس از بین می‌رود.



شکل ۷ شبیه‌سازی علامت ارسال در حالت وصل تراگذار.

این در حالی است که با قطع‌شدن تراگذار در شکل ۸، ولتاژ خروجی نیز بلافاصله صفر می‌شود. در ادامه، از همین ولتاژ برای تشخیص قطع‌شدن تراگذار استفاده خواهدشد.



شکل ۸ شبیه‌سازی علامت ارسال در حالت قطع تراگذار.

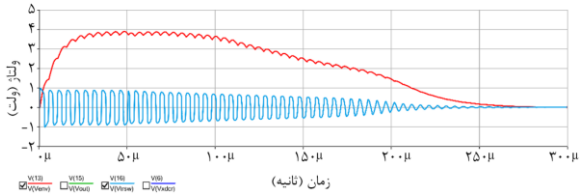
۳-۲. شبیه‌سازی علامت پوش

در شکل ۹ نتیجه شبیه‌سازی خروجی بلوک ۳ و ۶ در حالت وصل‌بودن تراگذار نشان داده شده‌است. در شکل ۱۰ نتیجه شبیه‌سازی خروجی این بلوک‌ها در حالت قطع بودن تراگذار آمده‌است.

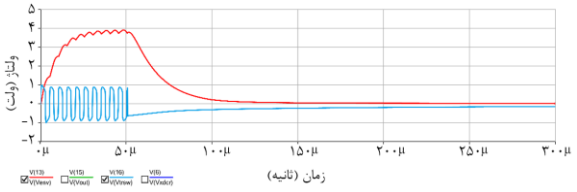
[1] Operational amplifier
[2] Impedance
[3] Envelope
[4] LM339
[5] Hysteresis
[6] Open collector
[7] Pull up

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

در این بخش از شبیه‌سازی‌ها، شکل موج آبی، ولتاژ محدود شده در بازه افت ولتاژ، به دیودهای D_3 و D_4 اعمال می‌شود. شکل موج قرمز خروجی، پوش تقویت‌شده می‌باشد.



شکل ۹ شبیه‌سازی علامت پوش در حالت وصل تراگذار.

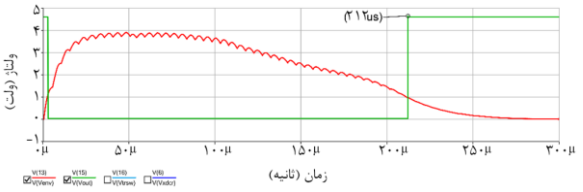


شکل ۱۰ شبیه‌سازی علامت پوش در حالت قطع تراگذار.

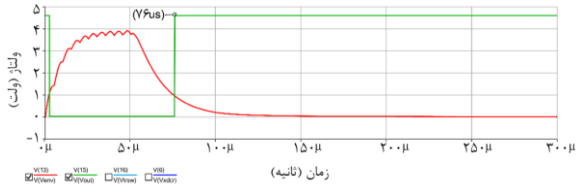
۳-۳. شبیه‌سازی مقایسه‌کننده و تپ خروجی

در بخش نهایی شبیه‌سازی‌ها، در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ ولتاژ پوش با ولتاژ مرجع مقایسه شده و تپ نهایی برای پردازش پهنای آن ایجاد می‌شود.

در این شبیه‌سازی‌ها، شکل موج سبز، تپ خروجی مقایسه‌کننده می‌باشد. همان‌طور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شوند، در حالتی که تراگذار به سامانه متصل است، تپ خروجی دارای پهنایی به اندازه ۲۱۲ میکروثانیه و زمانی که تراگذار قطع می‌شود، پهنای این تپ به ۷۶ میکروثانیه کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱ شبیه‌سازی علامت پوش در حالت وصل تراگذار.



شکل ۱۲ شبیه‌سازی علامت پوش در حالت قطع تراگذار.

۴-۳. پردازش علامت خروجی و صدور فرمان هشدار

پس از ایجاد تپ خروجی مقایسه‌کننده، می‌توان آن را توسط میکروکنترلر و زمان‌سنج[1] مورد پردازش قرارداده و با اندازه‌گیری پهنای تپ، با استفاده از الگوریتم اشاره شده در رابطه ۴، متصل بودن یا نبودن تراگذار را تشخیص داد. در صورت لزوم نسبت به ارسال علامت فرمان هشدار به کاربر اقدام نمود.

$$\text{وضعیت تراگذار} = \begin{cases} \text{حالت قطع}, & t < ۹۰ \text{ میکروثانیه} \\ \text{حالت وصل}, & t > ۱۹۰ \text{ میکروثانیه} \end{cases} \quad (۴)$$

در این الگوریتم t مدت زمان پهنای تپ خروجی می‌باشد. همچنین برای رعایت حداقل پنجره خطا[2] در اندازه‌گیری پهنای تپ، آستانه‌های شروط زمانی مقداری با فاصله از نتایج شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند.

۵-۳. واسنجی[3]

زمانی که این روش در یک سامانه واقعی مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان یک فرآیند واسنجی طراحی کرد که در آن مقادیر آستانه‌های زمانی مقایسه برای تپ خروجی تعیین شوند. فرآیند واسنجی به شرح زیر می‌باشد:

(الف) تراگذار از سامانه جداشده و پهنای تپ خروجی را اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار در حافظه‌ای به نام T_1 ذخیره می‌شود.

(ب) تراگذار مجدد به سامانه متصل‌شده و پهنای تپ اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار در حافظه‌ای به نام T_2 ذخیره می‌شود.

(ج) زمان آستانه برای حالت وصل تراگذار برابر ۱۰ درصد کم‌تر از T_2 محاسبه شده و ذخیره می‌گردد.

[1] Timer
[2] Head room
[3] Calibration

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

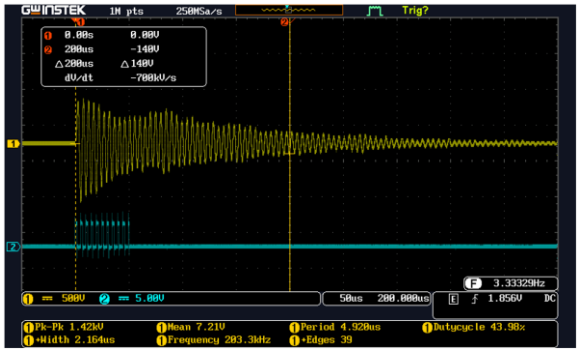
(د) زمان آستانه برای حالت قطع تراگذار برابر ۱۰ درصد بیش‌تر از T_1 محاسبه شده و ذخیره می‌گردد.

این روش تشخیص وضعیت اتصال تراگذار، در یک سامانه پژواک‌سنج-صدای تجاری بررسی و با موفقیت تست شده‌است.

در سامانه مذکور به دلیل استفاده از پردازنده پیشرفته، به جهت کاهش حجم سخت افزار، پهنای بخش بسامدهای ادامه‌دار در خروجی تراگذار به‌طور مستقیم از خروجی بلوک ۶ به واحد مبدل آنالوگ به دیجیتال[1] واردشده و پس از نمونه‌گیری با سرعت بالا، فرآیند مقایسه با آستانه به صورت نرم‌افزاری می‌شود.

در ادامه نتایج پیاده‌سازی عملیاتی که از روی صفحه نوسان‌نما[2] و هم‌چنین نمایشگر دستگاه تصویربرداری شده است، مورد بررسی قرار گرفته است.

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ علامت آبی رنگ، تپ‌های خروجی میکروکنترلر و علامت زرد رنگ، ولتاژ روی تراگذار را نشان می‌دهد.

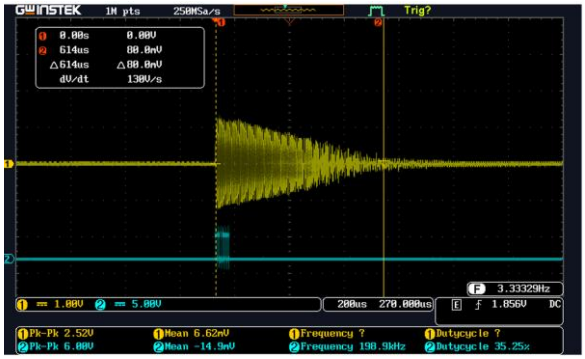


شکل ۱۳ شکل موج روی تراگذار در حالت وصل آن به دستگاه.

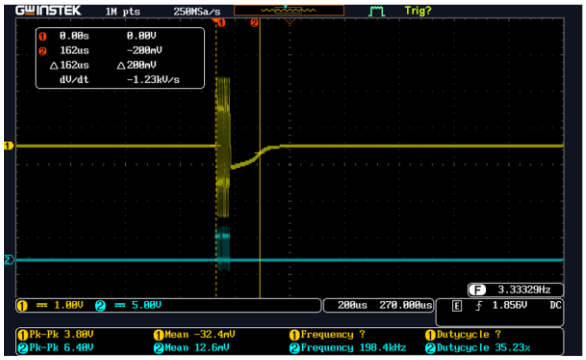
شکل ۱۴ شکل موج روی تراگذار در حالت قطع آن از دستگاه.

همان‌طور که انتظار می‌رود، ولتاژ روی تراگذار، پس از پایان مرحله ارسال تپ تا مدتی به صورت میرا شونده ادامه دارد و سپس به طور کامل از بین می‌رود.

در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ولتاژ تراگذار پس از عبور از کلید ارسال و دریافت و محدودشدن توسط دیودهای D_3 و D_4 در حالت‌های وصل و قطع تراگذار نشان داده شده است.



شکل ۱۵ خروجی کلید ارسال و دریافت در حالت وصل تراگذار.



شکل ۱۶ خروجی کلید ارسال و دریافت در حالت قطع تراگذار.

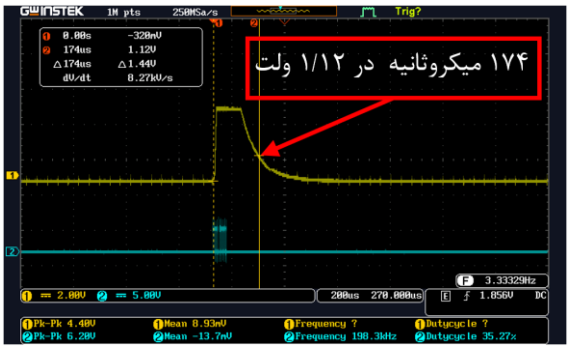
ولتاژ پوش خروجی در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نمایش داده شده‌است. در این شکل موج‌ها، ولتاژ آستانه برای اندازه‌گیری مدت زمان پوش، در حدود ۱ ولت در نظر گرفته شده‌است.

شکل ۱۷ خروجی علامت پوش در حالت وصل تراگذار.

[1] ADC; Analog-to-Digital Converter

[2] Oscilloscope

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]



شکل ۱۸ خروجی علامت پوش در حالت قطع تراگذار.

در این دستگاه، مدت زمان پوش در حالت وصل تراگذار ۹۵۴ میکروثانیه و در حالت قطع تراگذار ۱۷۴ میکروثانیه اندازه‌گیری شده‌است.

در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ عملکرد دستگاه واقعی پژواک‌سنج-صدا طراحی و تولید شده توسط نویسنده نشان داده شده‌است. در شکل ۱۹ تراگذار فراآوایی به دستگاه متصل و در شکل ۲۰ از دستگاه جدا شده‌است تا صحت قابلیت تشخیص قطعی تراگذار مورد آزمایش قرار گیرد.

شکل ۱۹ عملکرد دستگاه کامل پژواک‌سنج-صدا در حالت وصل.

شکل ۲۰ عملکرد دستگاه کامل پژواک‌سنج-صدا در حالت قطع.

همان‌طور که در شکل ۲۰ نشان داده شده‌است، با قطع‌شدن تراگذار دستگاه از طریق روش معرفی‌شده در این مقاله، موفق به تشخیص قطعی و صدور هشدار برروی نمایشگر خود شده‌است.

۴. نتیجه‌گیری

در سامانه‌های سونار و پژواک‌سنج-صدا، یکی از چالش‌هایی که در شرایط واقعی دریایی وجود دارد، احتمال خرابی تراگذار و یا پارگی کابل رابط آن می‌باشد.

در این مقاله روشی ارائه شد که در آن بدون اضافه‌شدن سخت‌افزار خاصی به سامانه، امکان تشخیص این مساله برای کاربر وجود داشته باشد. این کار به وسیله اندازه‌گیری بسامدهای ادامه‌دار در تراگذار پس از پایان مرحله ارسال علامت، صورت گرفته است. نتایج این روش هم به صورت شبیه‌سازی و هم به صورت عملی برروی یک سامانه پژواک‌سنج-صدا تجاری تولیدشده توسط نویسنده، با موفقیت آزمایش شده است. هم‌چنین در این مطالعه روشی برای پردازش خروجی مدار توسط میکروکنترلر و واسنجی سامانه برای تشخیص دقیق‌تر معرفی و بررسی شده است.

تقدیر و تشکر

به این وسیله از مدیریت محترم شرکت دانش‌بنیان صنایع الکترونیک دریایی سیبکو[1]، جناب آقای محمدصدیق زیارتی بابت صدور مجوز برای بهره‌گیری از محصول پژواک‌سنج-صدا شرکت برای بررسی موضوع این مقاله کمال قدردانی را به عمل می‌آوریم.

تضاد منافع

مطالب مندرج در این مقاله در تضاد با منافع نویسندگان و شرکت مذکور تشخیص داده نشد.

منابع

[1] G. Shao, H. Li, M. Zhan, "A review on ultrasonic-assisted forming: Mechanism, model, and process," Chinese Journal of Mechanical Engineering, vol. 34, no. 1, 2021.

[1] CIBCO Marine Electronics

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]

[2] W. Wang, Y. Li, Y. Li, "A method for detecting defects in reinforced concrete structures of underwater tunnels based on ultrasonic echo signal and CNN," AIP Advances, vol. 14, no. 11, pp. 115213, 2024.

[3] F. Panetsos, G. Karras, K. Kyriakopoulos, O. Oikonomides, "A motion control framework for autonomous water sampling and swing-free transportation of a multirotor UAV with a cable-suspended mechanism," Journal of Field Robotics, vol. 40, no. 5, pp. 1209-1230, 2023.

[4] I. Kazhekin, M. Kharitonov, "Results of a statistical study of types of single-phase faults in low-voltage ship electrical networks," Vestnik MGTU, vol. 26, no. 4, pp. 431-440, 2023.

[5] Texas Instruments, "PGA460 Ultrasonic Signal Processor and Transducer Driver," Technical datasheet, 2025.

[6] S. Bouchy, R. Zednik, P. Belanger, "Ultrasonic transducers for in-service inspection and continuous monitoring in high-temperature environments," Sensors, vol. 23, no. 7, pp. 3520, 2023.

[7] A. Feeney, L. Kang, W. Somerset, S. Dixon, "Venting in the comparative study of flexural ultrasonic transducers to improve resilience at elevated environmental pressure levels," IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 11, pp. 5776-5784, 2020.

[8] I. Nakano, H. Ishida, I. Deguchi, "Measurement system for acoustic monitoring of rip currents," Proceedings of the Eighth ACM International Conference on Underwater Networks and Systems, 2013.

[9] N. Cheraghi Shirazi, S. Jafari, "Optimizing 3-Axis magnetometer sensors function for solar panel current sensing applications," Presented at the Sixth International Conference of Optimizing Electrical Energy Consumption, Isfahan, Iran, 2025, (In Persian).

[10] Z. Yang, L. Yi, S. Guo, "Design of an emerging ultrasonic transmitting and receiving circuit for ultrasonic testing method of internal structure of transformer," IEEE Sustainable Power and Energy Conference, pp. 1601-1605, 2019.

[11] Y. Lei, J. Li, H. Zhang, D. Liang, Z. Wang, "An integrated front-end circuit board for air-coupled CMUT burst-echo imaging," Sensors, vol. 20, no. 21, pp. 6128, 2020.

[12] J. Xu, J. Li, Y. Zhong, T. Wang, L. Wang, "Design and analysis of diode envelope detector based on Multisim," The 6th International Conference on Electronics, Communications and Control Engineering, pp. 249-256, 2023.

[13] X. Xiu, H. Yang, M. Ji, H. Lv, S. Zhang, "Development of MEMS airflow volumetric flow sensing system with single piezoelectric micromachined ultrasonic transducer (PMUT) array," Micromachines, vol. 13, no. 11, pp. 1979, 2022.

[14] P. Corp, "Equivalent Circuit of Ultrasonic Transducers, AP050913," www.prowave.com, 2025.

[15] Texas Instruments, "OPAx350 High-Speed, Single-Supply, Rail-to-Rail Operational Amplifiers MicroAmplifier Series," Technical datasheet, 2025.

[16] Texas Instruments, "LMx39-N, LM2901-N, LM3302-N Low-Power Low-Offset Voltage Quad Comparators," Technical datasheet, 2025.

[Downloaded from joasi.ir on 2026-10-08]