مطالعه مولدهای فروصوت (Infra - sons)
و اندازه‌گیری پارامترهای اکوستیکی در آب و هوا

از :
ضیاء طاهری
گروه فیزیک دانشگاه تهران

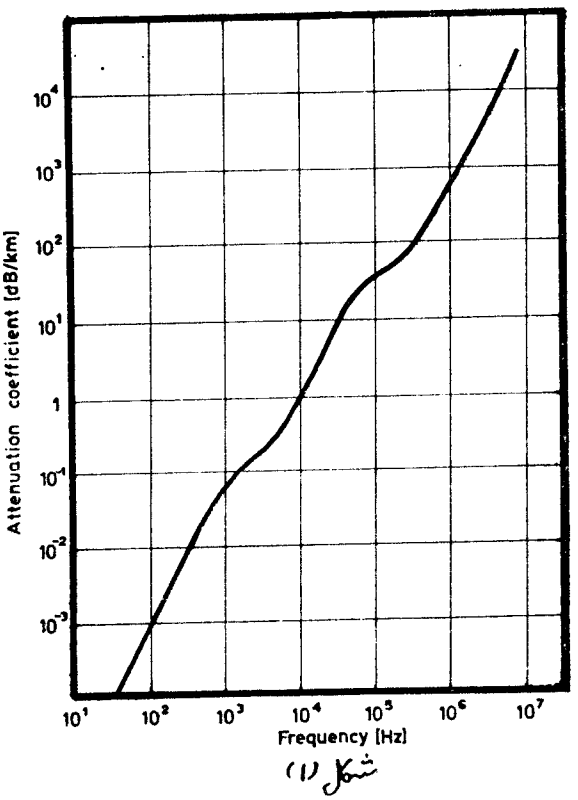
چکیده :

مطالعه عمیق درمورد مولدهای فروصوتی و خواص اکوستیکی امواج حاصل از آنها حدود پانزده سال است که جامعه عمل پوشیده و دراین مورد پیشرفتهای اساسی حاصل شده است (۱). در فرکانسهای فروصوتی که معمولاً ازیک تا ۱۰۰۰ هرتز وگاهی بالاترمی باشد ، (۲) امواج حاصل میتوانند بدون میرائی زیاد پیامها را بفاصله صدها وگاهی چند هزارکیلومتر برسانند زیرا جذب امواج درآب متناسب با مجذور فرکانس است (۳). دراینصورت سئوالی که پیش میآید اینست که مولدهای مانیتوستریکسیون و سایر مولدهای امواج اولتراسون ، برای مطالعه اقیانوسها و دریاها چه نقشی دارند. پاسخ اینست که امواج حاصل ازاین دستگاهها چون دارای فرکانس زیاد هستند خاصیت تمرکز آنها بیشتر بوده و در یک جهت معین بهتر هدایت میشوند ولی بعلت جذب زیاد این امواج بوسیله آب دریا ، برد آنها بیش از چند کیلومتر نیست باینترتیب دراکتشافات موانع کوچک که درفاصله‌های نسبتاً کم قرارداشته باشند و تعیین عمق دریا ومحل اجتماع ماهیها باید ازآنها استفاده کرد (٤). ولی برای آشکارساختن موانعی که ابعاد بزرگ دارند و در فاصله دور واقع شده‌اند باید امواج فروصوت‌را بکاربرد (۱۵ متر برای یک کیلوسیکل ، ۱۵ متر برای ۱۰۰ هرتز و ۱۵۰ متر برای ۱۰ هرتز). بهرحال درمطالعه خواص اکوستیکی و انتشار امواج مکانیکی درآب دریا از همه مولدها و انواع مختلف آنها استفاده می‌کنند. این موضوع در دوره آموزشی اکوستیک زیردریا که از ۱ تا ۹ فوریه ۱۹۷۱ درسارسی برگزارشده عنوان گردیده و انواع مختلف مولدها بنمایش گذاشته شده است. بکمک مولدهای فروصوتی میتوان امواج را با توان فوق‌العاده زیاد یعنی حدود ۱۰۰ کیلووات گسیل داشت ، دراین مقاله دونوع مولد فروصوتی و اندازه‌گیری بعضی کمیت‌های اکوستیکی به‌وسیله آنها و شرایط تطابق امپدانس آنها با آب بررسی میگردد.

مولدهای امواج فروصوتی

این مولدها گرچه دارای خاصیت تمرکزوهدایت امواج درجهت کاملاً معینی نیستند ولی درعوض بعلت ابعاد بزرگشان قادربه‌تهیه امواج باتوان زیاد می‌باشند. محدودیت آنها دردادن توان زیاد به‌امواج حاصل بعلت ایجاد حفره‌ها (Cavité) ذکرشده ولی بنظرمیرسد که باید خاصیت غیرخطی بودن و واگرائی

را که موجب افزایش جذب و کاهش توان است بیشتر مورد توجه قرارداد با اینحال با توجه به‌شکل (۱) معلوم میشود که ضریب جذب و کاهش توان این امواج نسبت به‌امواج صوتی با فرکانس بالاتر بسیار ناچیز است.



شکل (۱)

شکل (۱)

ضریب کاهش یک موج صوتی غیر واگرا در آب دریا با درجه شوری ۳۵ درهزار و درجه حرارت ۵ درجه سانتیگراد

با درنظرگرفتن جذب شدید امواج الکترومانیتیک درآب معلوم میشود که مولد اینگونه امواج برای مطالعه دریاها قادربه‌رقابت وجانشینی‌مولد امواج صوتی وبخصوص فروصوتی‌نیستند زیرا ترازشدت کمترین‌فرکانس موجهای الکترومانیتیک که ۳۰ کیلوسیکل برثانیه می‌باشند در هر ۳۰ سانتیمتر یک دسی‌بل کاهش می‌یابد (۵) درحالیکه تراز شدت امواج فروصوتی با فرکانس ۱۰۰ سیکل برثانیه در هر کیلومتر درون آب دریا بیش‌از $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ دسی‌بل کاهش نمی‌یابد.

معهذا این توان بوسیله بعضی عوامل از قبیل خطی نبودن جابجائی ذرات، خستگی فلزات مورد استفاده وپاشند حرارتی وگسیختگی آب‌بندی و عایق الکتریکی محدود میگردد. اینست که انتخاب مواد برای تهیه آنها دارای اهمیت اساسی میگردد. اندازه و وزن این مولدها بستگی به‌فرکانس داشته و وزن آنها از ۱ کیلوگرم تاصد تن میرسد. معمولاً برای یک شدت معین وزن با مکعب طول موج وسطح فرستنده امواج با مربع طول موج زیاد میشود.

رابطه بین توان و وزن بصورت زیر است (٦).

۲w/kgr	برای	۱۰۰ هرتز
۲۰w/kgr	برای	۱ کیلو هرتز
۲۰۰w/kgr	برای	۱۰ کیلو هرتز

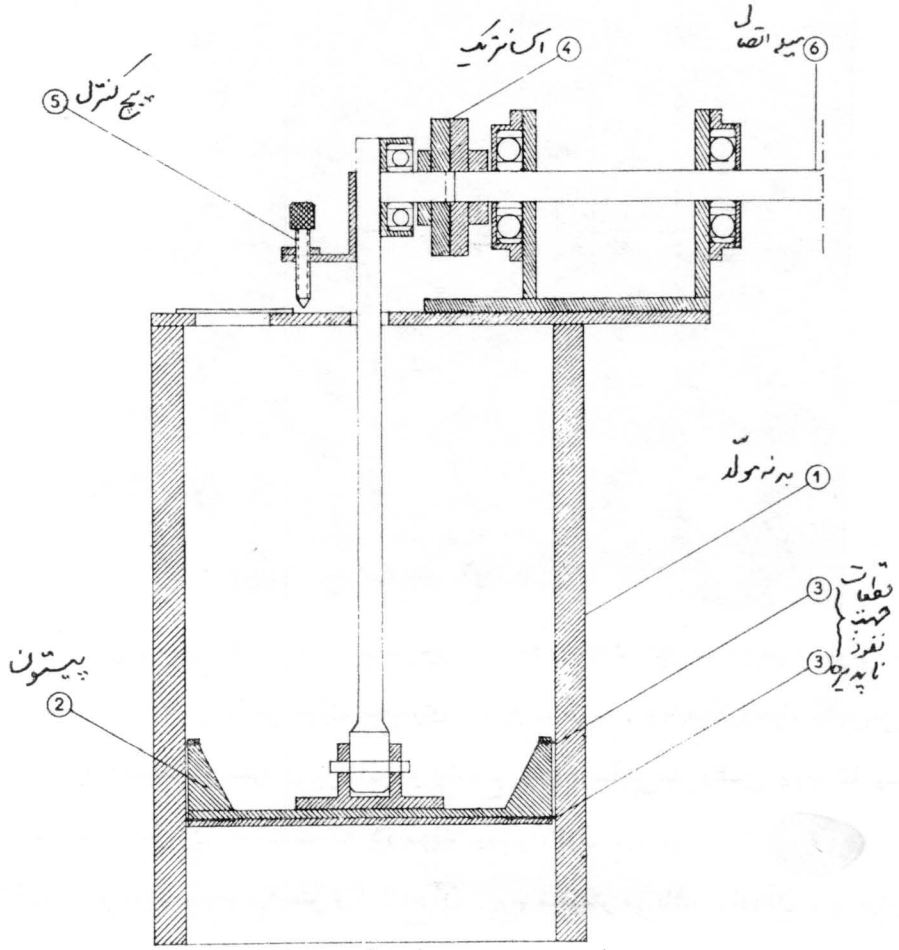
بالاخره علاوه‌بر مسئله خوردگی فلز باید به‌مقابله با فشار هیدروستاتیک هم توجه کرد باین دلیل برای تطابق امپدانس پیستون با آب از روغن یا گاز که در محفظه واسط قرارمیدهند استفاده می کنند. کارائی بسته بنوع مولدمتغییر است ولی برحسب نظر بعضی‌از محققین‌ممکن است‌تا ٥٠ درصد برسد موضوع این‌مقاله مطالعه تأثیر محیط مایع برعملکرد مولدی است که با فرکانسهای فروصوتی کار میکنند. (تا ٥٠ هرتز) بخصوص میرائی‌حاصل مورد توجه است روی این اصل دو دستگاه مولد با توان متوسط و ازدو نوع مختلف طرح و مورد استفاده قرارگرفته است :

۱ - پیستون‌فون (Pistonphone) که میتوان‌فرکانس حاصل ازآنرا بکمک پیچ کنترل از ٥ر۳ تا ۳٠ هرتز تغییر داد.

۲ - مولد الکترومانیتیک که فرکانسهای آن بین ۱ تا ٥٠ هرتز تغییر میکند.

پیستون فون فروصوتی

این‌دستگاه از استوانه‌ای از دورآلومینیم ضخیم بقطر ۳٥ میلیمتر و ارتفاع ٥٠٠ میلیمترتشکیل

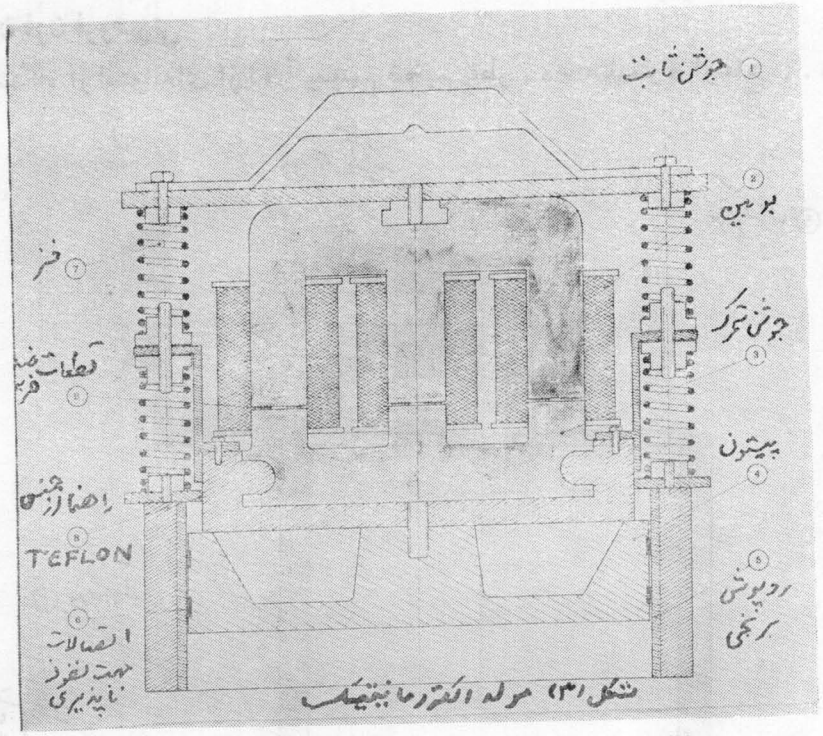


شکل (۲) پیستون‌فون فروصوتی

شده و در داخل آن پیستونی به‌قطر ۳۰۰ میلیمتر جابجا میشود سایر قسمتها با ابعاد متناسب درشکل (۲) دیده میشود. حرکت پیستون بوسیله انتقال حرکت موتور از طریق میله (۶) به‌اکسانتریک تأمین میشود این حرکت قابل تنظیم است ولی برای کنترل دقیقتر از پیچ (۵) استفاده میشود. برای انجام تحقیقات درآب در جلوی پیستون حفره‌ای ازکائوچو به‌شعاع ۱۰۰ میلیمتر و عمق ۲۰ میلیمتر تعبیه شده که هوای موجود دراین حفره دربعضی فرکانسها یعنی حوالی فرکانس رزنانس و نیز در فرکانس رزنانس کارتطبیق دهنده امپدانس را انجام میدهد. وزن این دستگاه ۷۲٫۳ کیلوگرم است.

مولد فروصوتی الکترومانیتیک

طرح این مولد که در شکل (۳) دیده میشود از یک جوشن سه قطبی با سه بوبین بزرگ ساخته شده است. پیستون آن از دورآلومینیم بوده و در داخل سیلندر حرکت میکند. بوبین مرکزی با جریان متناوب و دوبوبین دیگرباجریان پیوسته تغذیه میشوند. افزودن‌میدان مغناطیسی‌پیوسته برمیدان مغناطیسی متناوب این خاصیت را دارد که فرکانس قسمت متحرك مولد برابر فرکانس جریان متناوب خواهد بود



شکل (۳) مولد الکترومانیتیک

در غیراینصورت فرکانس پیستون دو برابر فرکانس‌جریان شده وایجاد انحراف در موج صوتی میکند برای بهترشدن عملکرد مولد بسته به‌فرکانس خازن متغیری به‌ظرفیت ۵ تا ۶۴۰ میکروفاراد به‌بوبین بطورسری متصل شده است. دراین‌مولد نیز حفره‌ای ازکائوچو بشعاع ۱۴٫۵ سانتی‌متر وعمق ۳٫۵ سانتیمتر درجلوی پیستون نصب شده است عمل آن همانست که در مولد پیستون فون دیدیم.

قطرخارجی این‌مولد ۳۳۵ میلیمتر و ارتفاع‌آن ۳۸۰ میلیمتر می‌باشد وزن آن ۵۸ کیلوگرم است.

اندازه‌گیری جابجائی ، سرعت و شتاب مولدها

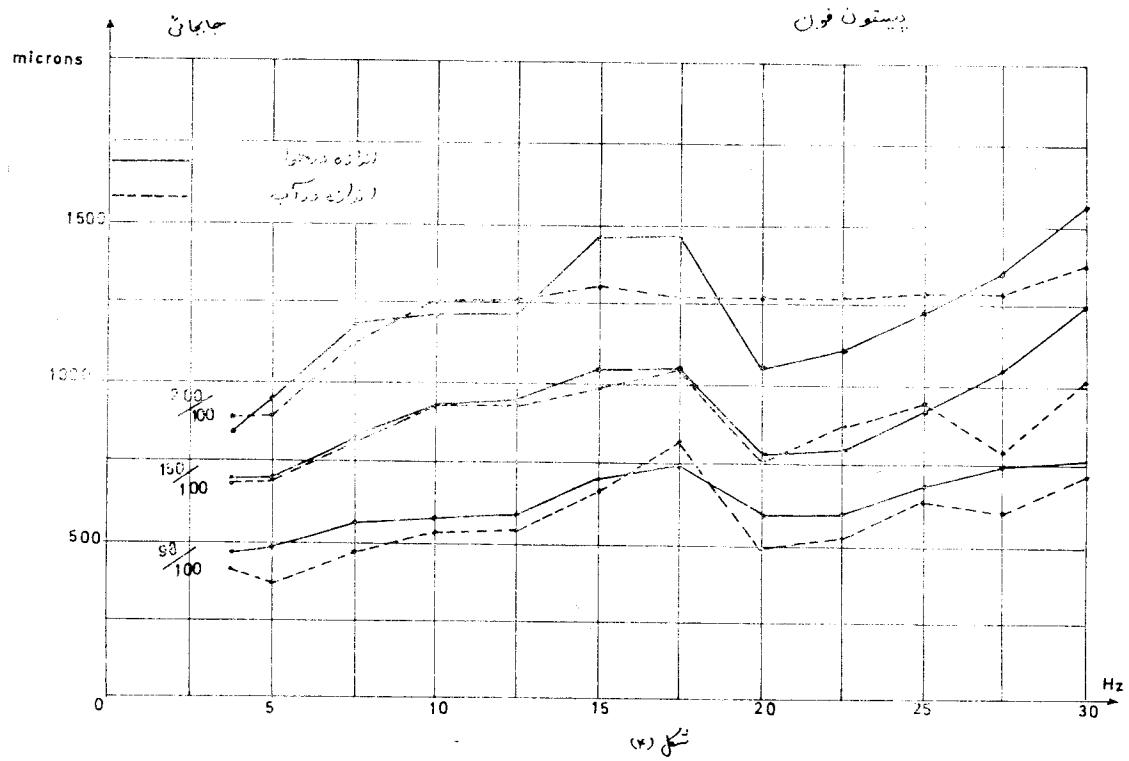
این اندازه‌گیری بمنظور بررسی کمیت‌های اکوستیکی حاصل از ارتعاش دو مولد و مقایسه نتایج حاصل درآب و هوا صورت گرفته است.

مولدهای مزبور بر روی پلی که دوپایه آن در طرفین حوضچه فلزی مرتفعی قرار گرفته است ثابت شده و پیستون ضمن حرکت برآب و پس از برداشتن حوضچه برهوا فشار اکوستیکی وارد میکند ، آب وهوا نیز به‌نوبه خود بر کمیتهای اکوستیکی پیستون اثر میگذارد گرچه پایه‌های پل بربستر کائوچوئی قرار گرفته ولی بنظر میرسد که برای حذف ارتعاشات پارازیت می‌بایست اقدامات اساسی‌تر ازقبیل قراردادن مجموعه برروی بسترهای فنری میراکننده بعمل آید.

ارتعاشات پیستون بکمک یکدستگاه الکترودینامیک به‌فشار الکتریکی متناسب با سرعت ارتعاشی تبدیل میشود باینترتیب جابجائی پیستون نسبت به‌بدنه مولد اندازه‌گیری میشود. گرچه با استفاده از روابطی که بین جابجائی وسرعت وشتاب یک حرکت ارتعاشی وجود دارد ممکن است با اندازه‌گیری یکی از کمیتها دو کمیت دیگر را معلوم نمود با اینحال هرسه کمیت بکمک دستگاه ازنوع PR.9250/01 فیلیپس جداگانه اندازه‌گیری شده است در همه اندازه‌گیریها از سلکتور بسیار دقیق استفاده گردیده است.

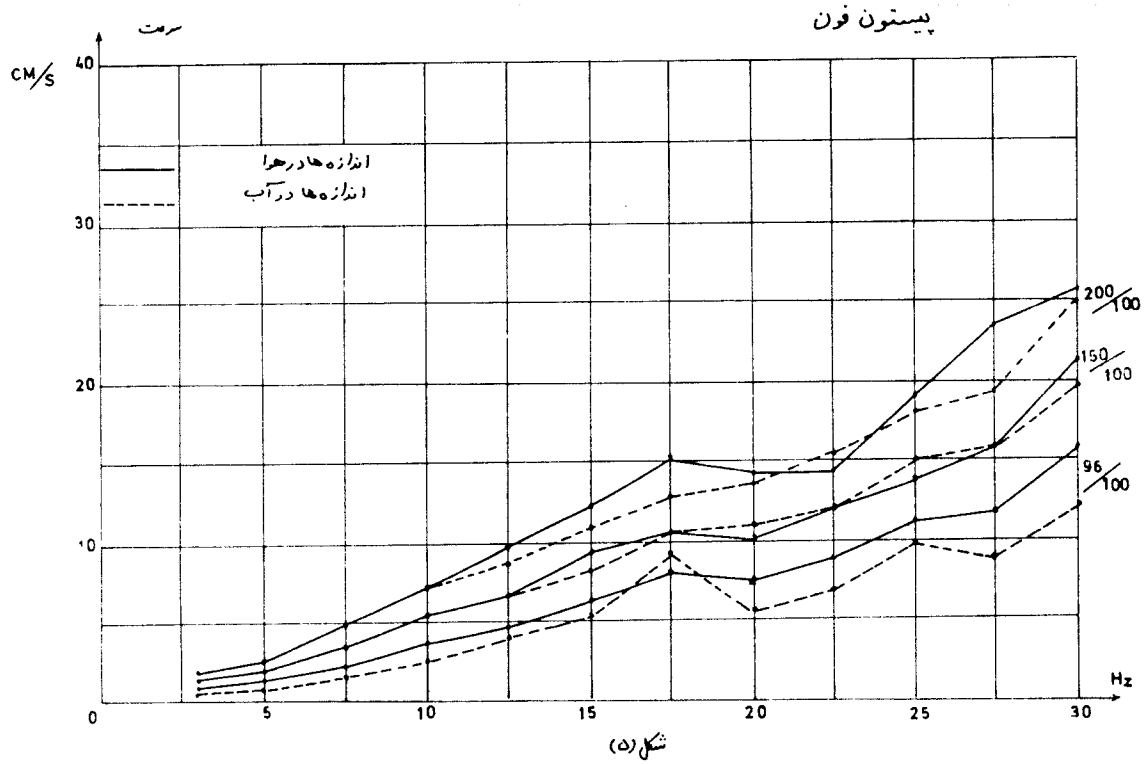
نتایج اندازه‌گیری

الف ـ اندازه‌گیری‌ها روی پیستون فون ـ شکلهای ٤ و ٥ و ٦ نمایش جابجائی ، سرعت و شتاب پیستون فون‌است رسم منحنی‌ها بمنظور بررسی دقت دستگاههای اندازه‌گیری و درصورت لزوم تصحیح نتیجه

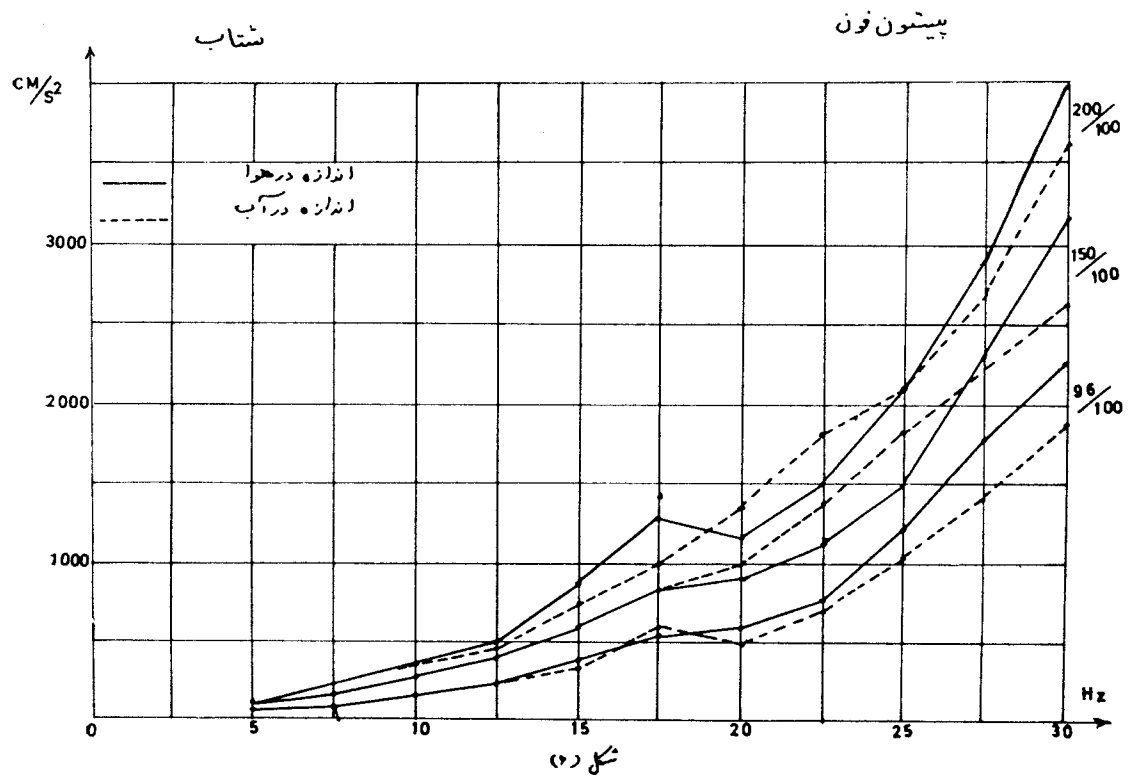


شکل (۴)

است. سه سری اندازه گیری با جابجائی های مشخص $\frac{۹۶}{۱۰۰}$ و $\frac{۱۵۰}{۱۰۰}$ و $\frac{۲۰۰}{۱۰۰}$ میلیمتر که بوسیله پیچ تنظیم به پیستون داده شد در آب (خطوط نقطه‌چین) و درهوا (خطوط پر) انجام شده است. درشکل (٤) بین



شکل (۵)

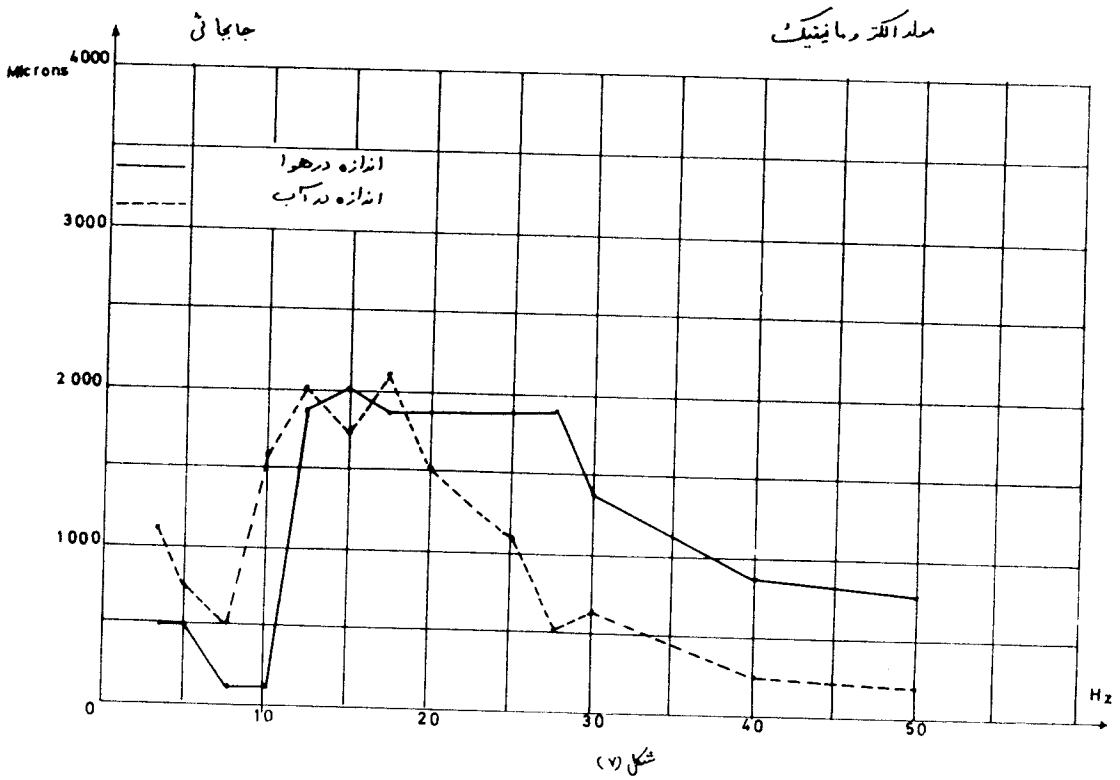


شکل (۶)

فرکانسهای ۱۵ تا ۱۷ سیکل برثانیه افزایشی درجابجائی دیده میشود که احتمال دارد اثر رزنانس مبدل الکترودینامیک در این فرکانس باشد ، شکل (۵) که مربوط به‌اندازه‌گیری سرعت است تغییرات آنرا با افزایش فرکانس نشان میدهد . شکل (۶) که مربوط به‌تغییرات شتاب است بصورت تابعی از مربع فرکانس بوده و معرف یک سهمی است . در روی هرسه منحنی مشاهده میشود که میرائی بعلت توان زیاد مولد و فرکانس ارتعاشی کم‌آن تأثیر چندانی ندارد .

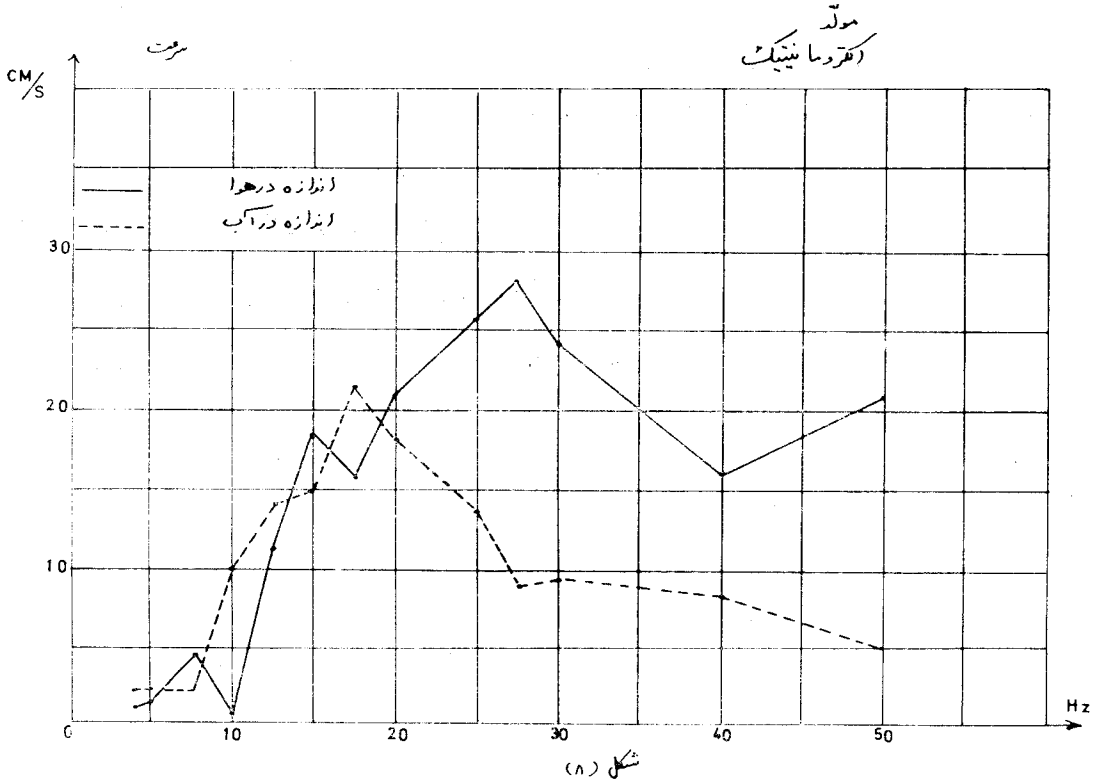
ب ـ اندازه‌گیری روی مولد الکترومانیتیک

از روی شکلهای (۷) و (۸) و (۹) که مربوط به‌تغییرات جابجائی ، سرعت و شتاب برحسب



شکل (۷)

فرکانس است دیده میشود که تأثیر جرم مایع برمولد میرائی قابل توجهی را باعث شده است ، ولی این میرائی در نوار کوچکی از فرکانسها که حوالی فرکانس رزنانس هوای محبوس در حفره کائوچوئی جلوی پیستون است عملاً حذف میشود ، دراین نوار کوچک فرکانس اثر مولد برآب و هوا مشابه میشود یعنی تطابق امپدانس حاصل میگردد و پدیده‌ای که درنتیجه این تحقیق مشخص شده ازلحاظ تئوری‌هم بکمک تشابه مدارهای الکتریکی و مکانیکی بررسی میشود . گرچه نتیجه این تحقیق جالب است و نشان میدهد که درچه فرکانسی حداکثر انرژی از مولد به‌محیط منتقل میشود و دراین شرایط حجم حفره کائوچوئی چقدر باید باشد معهذا برای انتخاب مواد جاذب امواج فروصوتی که لازم بود به‌بدنه حوضچه‌ها چسبانده شود تا ازاثر امواج انعکاسی برمبدل الکترودینامیک جلوگیری شود تحقیق قبلی صورت نگرفته است و علت انحراف کوچکی که بین تئوری و عمل وجود دارد محققاً ازاین امر سرچشمه میگیرد .


مولد
الکترومانیتیک
سرعت
CM/S
اندازه درهوا
اندازه درآب
30
20
10
0
10
20
30
40
50
Hz

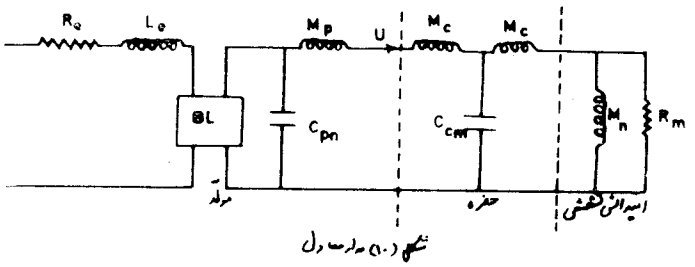
شکل (۸)

مولد الکترومانیتیک
شتاب
Cm/sY
4000
3000
2000
1000
0
اندازه درهوا
اندازه درآب
10
20
30
40
50
Hz

شکل (۹)

مدل الکتریکی

مدار معادل کامل در شکل (۱۰) دیده میشود :



شکل (۱۰) مدار دل

مقاومت الکتریکی بوبین	$R_e =$
القاء بوبین	$L_e =$
اندوکتانس lX (طول سیم بوبین)	$B_l =$
جرم پیستون	$M_p =$
نرمش مکانیکی پیستون	$C_{pm} =$
جرم حفره	$M_c =$
نرمش مکانیکی حفره	$C_{cm} =$
جرم مکانیکی تشعشع امواج	$M_m =$
مقاومت مکانیکی تشعشع امواج	$R_m =$
سرعت پیستون	$U =$

چون ضمن تحقیقات همواره سرعت اندازه گیری میشد بنابراین فقط خصوصیات حفره و امپدانس تشعشعی در مقابل U را بررسی می کنیم. برای جرم مؤثر هوای موجود در حفره داریم :

$$M_c = \frac{1}{2}\rho_{\text{هوا}} S \cdot d$$

S سطح حفره (پیستون) و برابر $660\,cm^2$ است.

d عمق حفره و برابر ۳٫۵ سانتی‌متر است.

ρ هوا، برابر است با : $\rho_{\text{هوا}} = 1{,}205 \times 10^{-3}$ گرم $/ cm^3$ ، در نتیجه گرم $M_c = 1{,}38$ که میتوان ازآن صرفنظر نمود. بایترتیب مدار بعد از نقطه‌چین درشکل ۱۰ ساده میشود.

الف ـ محاسبه C_{cm}

برای نرمش اکوستیکی حفره داریم (۶) :

$$C_{ca} = \frac{V}{\rho_a c^2 a} = \frac{dS}{\rho_a c^2 a}$$

Ca سرعت صوت در هواست.

میدانیم که بین امپدانس اکوستیکی و مکانیکی رابطه زیر برقرار است : (۵)

$$X_m = X_a S^2$$

$X_m =$ امپدانس مکانیکی

$X_a =$ امپدانس اکوستیکی

$$\frac{1}{C_m\omega} = \frac{S^2}{C_a\omega}$$

در نتیجه برای حفره داریم :

$$C_m\omega = \frac{C_a\omega}{S^2} \qquad (2)$$

با توجه به‌رابطه (۱) :

$$C_{cm} = \frac{d}{\rho_a c^2_a s}$$

ب ـ محاسبه M_m

در فرکانسهای کم وقتی که ابعاد چشمه نسبت به‌طول موج کوچک باشد میتوان آنرا یک منبع نقطه‌ای درنظر گرفت (یا کره مرتعش) (۷) که‌امواج کروی‌ایجاد می کند. دراینجا نیزچون برای فرکانس ۱۰ هرتز ، طول موج ۱۰۰ متر و قطر پیستون ۲ر۹ متر است میتوان منبع را نقطه‌ای یا کره مرتعش گرفت دراینصورت جرم مکانیکی تشعشع بصورت زیر نوشته میشود :

$$M_m = 4\pi a^3 \rho_0$$

و نیز برای مقاومت‌مکانیکی تشعشع داریم :

$$R_m = 4\pi a^2 \rho_0 c_0$$

ρ_0 و c_0 به‌ترتیب چگالی آب و سرعت صوت در آب است.

اکنون با در دست داشتن مقادیر تمام اجزا مدار میتوان فرکانس رزنانس حفره را محاسبه کرد.

محاسبه فرکانس رزنانس

با توجه به‌فرمول رزنانس در مدار الکتریکی یعنی $L c\omega^2 = 1$ خواهیم داشت :

$$\frac{4\pi a^2 \rho_0 d}{\rho_a c^2_a s}\omega^2 = 1$$

یا :

$$\frac{4\pi a^2 \rho_0 d}{\rho_a c^2_a \pi a^2}\omega^2 = 1$$

یا :

$$\frac{4 a \rho_0 d}{\rho_a c^2_a}\omega^2 = 1$$

$$\omega^2 = 0{,}68 \times 10^4 \qquad \begin{cases} a = 14{,}0\,cm \\ d = 3{,}0\,cm \end{cases}$$

$$F = \frac{\omega}{2\pi} = 13{,}1 \quad H_z$$

فرکانس رزنانس که باین‌ترتیب محاسبه شده با تقریب خوبی برفرکانس شکل (۶) که از راه اندازه گیری بدست آمده مطابقت دارد.

منابع

1—A.B Wood «A Tex Book of Sound» p. 428.

2—R.S Woolett Ultrason ics Transducers-Underwater Sound transducers Ultrasonics October 1970 p. 243.

3 -R.S. Woolett Trends and Problems on sonar transducer design I E E E transactions Ultrasonics engineering December 1963 N° 3—10.

4--L. Beranek Acoustics, Mc Graw - Hill Co 1954 P. 129.

• - مبانی آکوستیک ، تألیف Lawrence E. Kinsler and Austin R. Frey
ترجمه دکتر ضیاءالدین اسماعیل بیگی - دکتر مهدی برکشلی 1974 صفحه ۵۰۶—۵۰۷

6—L. Beranek Acoustics P. 117,121.

7—L. Pimonow Infra-Sons Septembre 1973.
Edition du centre national de la recherche Scientifique.

Etude des générateurs Infra-sons et mesures des constantes acoustiques dans l'air et dans l'eau

Par :

Zia Taheri

Resumé :

C'est surtout depuis une vingtained'années environ, que l'on a commencé à étudier d'une façon approfondie, l'emission d'infrasons et de sons à très basses fréquences dans l'eau.

A ces fréquences (de quelque Hz à 1000 Hz), les sons se propagent à très grandes distances, pouvant atteindre plusieurs centaines ou milliers de kilomètres : car, l'affaiblissement de la propagation est faible (Proportionnel, au carré de la fréquence). Nous avons fait une étude comparative du fonctionnement des deux émetteurs dans l'air et dans l'eau.

A savoir : le pistonphon pour contrôler et étalonner l'appareillage de mesur, et l'émetteur éléctromagnétique pour constater que l'adjonction d'une cavité résonante remplie d'air permetterait une adaptation plus aisé du couplage émetteur – liquide, avec un amortissement raisonnable.

L'amortissement à la résonance, produit par le liquide ayant été annulé par l'effet d'une couche d'air entre l'émetteur et le liquide .