جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران
۸۶۴۷
چاپ اول

ISIRI
8647
1st.edition

اندازه گیری توان التراسونیک در مایعات در محدوده فرکانس ۰/۵ تا ۲۵ مگاهرتز

Ultrasonic power measurement in liquids In frequency range 0.5 MHz to 25 MHz

نشانی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران : کرج ـ شهر صنعتی، صندوق پستی ۱۶۳-۳۱۵۸۵

دفتر مرکزی : تهران ـ ضلع جنوبی میدان ونک – صندوق پستی : ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵

تلفن مؤسسه در کرج: ۸-۲۸۰۶۰۳۱-۰۲۶۱

تلفن مؤسسه در تهران: ۵-۸۸۷۹۴۶۱-۰۲۱

دورنگار: کرج ۲۸۰۸۱۱۴-۰۲۶۱ ـ تهران ۸۸۸۷۱۰۳-۸۸۸۷۰۸۰ -۰۲۱

بخش فروش ـ تلفن: ۲۸۰۷۰۴۵-۰۲۶۱ دورنگار: ۲۸۰۷۰۴۵-۰۲۶۱

پیام نگار: Standard @ isiri.or.ir

بهاء: ۳۶۲۵ ریال

Headquarters :Institute Of Standards And Industrial Research Of IRAN

P.O.Box: 31585-163 Karaj – IRAN

Tel.(Karaj): 0098 (261) 2806031-8

Fax.(Karaj): 0098 (261) 2808114

Central Office : Southern corner of Vanak square , Tehran

P.O.Box: 14155-6139 Tehran - IRAN

Tel.(Tehran): 0098(21)8879461-5

Fax.(Tehran): 0098 (21) 8887080,8887103

Email: Standard @ isiri.or.ir

Price: 3625”RLS

«بسمه تعالی»

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب قانون، تنها مرجع رسمی کشور است که عهده دار وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) میباشد.

تدوین استاندارد در رشته های مختلف توسط کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه، صاحبنظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی واقتصادی آگاه ومرتبط با موضوع صورت میگیرد. سعی بر این است که استانداردهای ملی، در جهت مطلوبیت ها و مصالح ملی وبا توجه به شرایط تولیدی، فنی و فن آوری حاصل از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع شامل: تولیدکنندگان ،مصرف کنندگان، بازرگانان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمانهای دولتی باشد.پیش نویس استانداردهای ملی جهت نظرخواهی برای مراجع ذینفع واعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال میشود و پس از دریافت نظرات وپیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح ودر صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که توسط مؤسسات و سازمانهای علاقمند و ذیصلاح و با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می شود نیز پس از طرح و بـررسی در کمیته ملی مربوط و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ ومنتشرمی گردد. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد مندرج در استاندارد ملی شماره ((۵)) تدوین و در کمیته ملی مربوط که توسط مؤسسه تشکیل میگردد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد میباشد که در تدوین استانداردهای ملی ضمن تـوجه به شرایط کلی ونیازمندیهای خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهـای بین المـللی استفـاده می نماید.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی وعمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آنرا اجباری نماید.

همچنین بمنظور اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و گواهی کنندکان سیستم های مدیریت کیفیت ومدیریت زیست محیطی، آزمایشگاهها و کالیبره کنندگان وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد اینگونه سازمانها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران مورد ارزیابی قرار داده و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا نموده و بر عملکرد آنها نظارت می نماید. ترویج سیستم بین المللی یکاها ، کالیبراسیون وسایل سنجش تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی از دیگر وظایف این مؤسسه می باشد.

کمیسیون استاندارد " اندازه گیری توان التراسونیک در مایعات- درمحدودهٔ فرکانس ۰/۵ تا ۲۵ مگاهرتز"

رئیس	***سمت یا نمایندگی***
نوری خراسانی، سعید (دکترای مواد پلیمری)	دانشگاه صنعتی اصفهان (عضو هیئت علمی)
اعضاء	
بهمنی، فرود (دکترای تخصصی ارتوپدی)	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (عضو هیئت علمی)
جعفری، تقی (لیسانس رادیولوژی)	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (کارشناس بازنشسته رادیولوژی)
زرگر،انوشه (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (مربی)
قاسمی ، صادق (لیسانس مهندسی پزشکی)	دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (رئیس بخش تجهیزات پزشکی بیمارستان الزهرا(س))
عزیزی همامی، سعید (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان اصفهان (کارشناس ارشد مهندسی پزشکی)
دبیر	
پاک‌نژاد، صدیقه (لیسانس مهندسی برق)	شرکت افرافولاد (مدیر فنی ومهندسی)

فهرست اعضاء شرکت کننده دریکصد و یازدهمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد مهندسی پزشکی

رئیس اجلاسیه	**سمت یا نمایندگی**
نجاریان، سیامک (دکترای مهندسی پزشکی)	دانشگاه صنعتی امیرکبیر
اعضاء	
آغشتی، زهرا (لیسانس مهندسی پزشکی)	کارشناس مهندسی پزشکی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
پاک نژاد، صدیقه (لیسانس مهندسی برق)	مدیر فنی و مهندسی شرکت افرا فولاد
سوفالی، زهره (لیسانس مهندسی مواد)	مدیر کل صنایع مهندسی پزشکی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
ظهوررحمتی، لاله (کارشناس ارشد فیزیک پزشکی)	رئیس گروه تحقیقات پزشکی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
موسوی حجازی، مینو سادات (لیسانس مهندسی پزشکی)	کارشناس و رابط تدوین مدیریت مهندسی پزشکی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
نوروزی، سعید (دکترای دامپزشکی)	مشاور و نماینده ریاست موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
نوری خراسانی، سعید (دکترای مواد پلیمری)	دانشگاه صنعتی اصفهان
عزیزی، سعید (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی اصفهان
دبیر اجلاسیه	
صدیقیان،فرناز (لیسانس مهندسی پزشکی)	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

فهرست مندرجات .....صفحه

پیش گفتار .....ب

۱- هدف و دامنه کاربرد ۱

۲ مراجع الزامی ۱

۳ اصطلاحات و تعاریف ۲

٤ فهرست نمادها ٤

۵ الزامات تراز کننده نیروی تابش ٤

٦ الزامات شرایط اندازه گیری ۱۰

۷ عدم قطعیت اندازه گیری ۱۳

پیوست الف ۲٦

پیوست ب ۲۹

پیش گفتار

استاندارد "اندازه گیری توان التراسونیک در مایعات- در محدوده فرکانس ۰/۵تا ۲۵ مگاهرتز" که توسط کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده و در یکصد و یازدهمین جلسه کمیته ملی استاندارد مورخ ۸٤/۱۱/۵ مورد تصویب قرار گرفته است. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقاتی صنعتی ایران مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استانداردهای بین المللی و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است:

1- CEI-IEC- 61161: 1998 Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency range 0.5 MHZ to 25 MHZ.

اندازه‌گیری توان التراسونیک در مایعات-
در محدودهٔ فرکانس ۰/۵ تا ۲۵ مگاهرتز

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین موضوعات زیر است:

الف- روش تعیین کل توان صوت تابیده ازمبدل التراسونیک براساس استفاده ازتراز نیروی تابش[1].

ب - اصول کلی استفاده از تراز نیروی تابش که در آن مانعی بازدارنده (هدف)[2]، میدان صوتی که باید اندازه‌گیری شود، را قطع کند.

یادآوری : نیروی تابش با تغییر در میانگین زمان جریان حرکت برابر است، بنابراین به شدت التراسونیک و توان بستگی دارد.

پ- ارایه اطلاعات در مورد ارزیابی عدم قطعیت اندازه گیری.

این استاندارد برای موضوعات زیر کاربرد دارد:

- اندازه گیری توان التراسونیک بر اساس استفاده ازتراز نیروی تابش درمحدوده فرکانس ۰/۵ تا ۲۵ مگاهرتز
- اندازه گیری کل توان التراسونیک مبدل با پرتوهای کاملاً موازی
- استفاده از تراز های نیروی تابش از نوع جاذبه زمین

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است، که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و یا تجدیدنظر، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک موردنظر نیست. معهذا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای، مدارک الزامی زیر را مورد

1- Radiation force balance
2- Target

بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و /یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و یا/تجدیدنظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده موردنظر است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است.

2-1 IEC 60050 (801): 1984, International Electrotechnical vocabulary (IEV) – chapter 801: Acoustics and electro – acoustics

2-2 IEC 60150: 1963, Testing and calibration of ultrasonic therapeutic equipment

2-3 IEC 61101: 1991, The absolute calibration of hydrophones using the planar scanning technique in the frequency range 0.5 MHz to 25 MHz

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات ویا واژه ها با تعاریف زیر به کار می رود.

۳-۱ جریان صوتی

حرکت آرام سیال است، که تحت شرایط مشخص در میدان صوت گسترش می یابد.

۳-۲ میدان دور

میدان صوت در فاصله‌ای از منبع قرار گرفته است، که در آن با افزایش فاصله از منبع، فشار صوت بطور یکنواخت کم می شود. به طور کلی ناحیه‌ای از میدان صوت که در آن امپدانس[۱] صوت یعنی نسبت پیچیدگی[۲] فشار صوت به سرعت ذره به طور قابل توجه‌ای با ρc برابر شود، را میدان دور گویند. در اینجا ρ چگالی و c سرعت صوت در محیط انتشار صوت[۳] است.

۳-۳ میدان آزاد

میدان صوت در محیط یکنواخت که مرزهای آن روی امواج صوت اثر جزئی دارد.

---

[1] - Specific acoustic impedance
[2] - Complex ration
[3] - Sound – propagating medium

۳-۴ میدان نزدیک

میدان صوت در فاصله‌هایی از منبع را گویند،که فاصله آن از فاصله میدان دور تا منبع کمتر است.در این ناحیه از میدان صوت امپدانس پیچیدگی صوت به طور قابل توجهی نسبت به ρc تفاوت دارد.

۳-۵ توان خروجی

میانگین زمان توان التراسونیک تابیده به میدان آزاد توسط مبدل التراسونیک[1] تحت شرایط ویژه در محیطی مشخص (ترجیحاً آب) را توان خروجی گویند.

نماد حرفی : P

یکا : وات ، W

۳-۶ نیروی تابش: نیروی تابش صوتی

میانگین زمان نیرویی که در میدان صوت به جسم وارد می‌شود، و توسط میدان صوت ایجاد شده، یا بطور عام، میانگین زمان نیرو در میدان صوت که در سطوح مرزی بین دو محیط با خواص صوتی متفاوت ظاهر می‌شود.

نمادحرفی :F

یکا : نیوتن ،N

۳-۷ فشار تابش : فشار تابش صوتی

نیروی تابش در واحد مساحت

۳-۸ هدف

وسیله ای که به طور ویژه طراحی شده است، تا در میدان اولتراسونیک وارد شده و بعنوان شیئی که نیروی تابش روی آن اندازه گیری می‌شود، عمل کند.

۳-۹ مبدل التراسونیک

وسیله ای که قادر است، در محدوده فرکانس التراسونیک انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل نماید، و یا برعکس انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل نماید.

---

[1]- *Ultrasonic Transducer*

۴ فهرست نمادها

a شعاع منبع مبدل التراسونیک

c سرعت صوت (معمولاً در آب)

d طول هندسی کانون مبدل التراسونیک تنظیم شده

F نیروی تابش روی هدف در جهت انتشار موج التراسونیک

g شتاب جاذبه زمین

k $(2\pi/\lambda)$ عدد موج دایره ای

P توان خروجی مبدل التراسونیک

s $(x\lambda/a^2)$ فاصله عمود بر طول میدان نزدیک

x فاصله بین هدف و مبدل التراسونیک

α ضریب تضعیف دامنه امواج تخت در واسطه (معمولاً آب)

γ $(=arc\ sin\ a/d)$ زاویه کانونی مبدل التراسونیک تنظیم شده

θ زاویه بین جهت انتشار موج التراسونیک و عمود بر سطح بازتاب هدف

λ طول موج التراسونیک

۵ الزامات ترازکننده نیروی تابش

۵-۱ کلیات

ترازکننده نیروی تابش، از یک هدف که به ترازی متصل است،تشکیل شده است. پرتو التراسونیک باید به سمت بالا یا پایین و بطور عمود بر روی هدف تابیده شود. نیروی تابش اعمال شده بواسطه پرتوالتراسونیک باید توسط تراز کننده اندازه‌گیری شود. توان التراسونیک را می توان از اختلاف مقدار نیروی اندازه گیری شده با و بدون تابش التراسونیک محاسبه کرد. کالیبراسیون را باید توسط وزنه‌های دقیق و کوچک با جرم مشخص مطابق فرمول داده شده در پیوست الف انجام داد.

۵-۲ نوع هدف

هـدف باید خواص صوتی مشخصی داشته باشد،که این خواص بستگی به جزئیات رابطه بین توان التراسونیک و نـیروی تابش دارد. معمولاً هدف دست یابی خیلی نزدیک به یکی از دو حالت جذب کننده کامل یا باز تابنده کـامل است. قابلیت فشردگی هدف باید تا حد امکان کم باشد، تا از غوطه‌وری آن به علت تغییرات فشار محیط جلوگیری شود. به عبارت دیگر باید مراقب بود تا پایداری هدف به حداکثر برسد.

۵-۲-۱ هدف جذب کننده

هدف جذب کننده باید موارد زیر را دارا باشد. (به شکل ۱ مراجعه شود)

الف – فاکتور بازتاب دامنه کمتر از ۵ درصد است.

ب – جذب انرژی صوت هدف حداقل ۹۹ درصد باشد.

معمـولاً صـفحات مـدور از جنس لاستیک کشسان با یا بدون لبه به عنوان هدف جذب کننده به کار می رود. به منظور افزایش خواص جذب کنندگی، مواد نباید ناخالصی داشته باشند.

در شـکل ۲ یک نمونه جذب کننده با لبه های منظم نشان داده شده است. در این شکل تمرکز ناخالصی مواد از صـفر در لـبه هـا تـا ۳۰ درصـد حجمـی در سـطح عقب هدف جذب کننده افزایش می‌یابد. کره‌های شیشه ای توخالـی بـا قطـر در محـدوده یک دهم میلی متر بعنوان مواد ناخالصی عمل می‌نمایند، زیرا آنها روی چگالی و قابلیت فشردگی مواد لاستیکی کشسان تاثیر ناچیز دارند.

۵-۲-۲ دستگاه هدف بازتابنده – کلیات

مشـکل اصلی کاهش قابلیت فشردگی هدف باز تابنده است، زیرا نوسانات فشار هوا حجم و غوطه‌وری هـدف را متناسـب بـا قابلیـت فشـردگی مدوله[1] می کند. بازتابنده‌های صوت صفحه‌ای که معمولاً توسط صفحـات نـازک فلزی کیـسه هـوا[2] شـناسـایی می شـوند، را نـمی توان به کـار برد. کـاربـرد

[1]- *Modulate*
[2] - *Air-backed*

زاویه ٤٥ درجه نسبت به محور پرتو صوت تنظیم شده اند، ممکن است سبب خطای فاحشی شود.

بازتابـنده‌های مخروطی شکل ساخته شده ازجنس بدنه‌های توخالی با دیواره‌های ضخیم یا صفحات فلزی نازک ایـر- بک را می توان استفاده نمود. بازتابنده‌های مخروطی شکل از جنس فوم پلاستیکی بسیار سفت که با فلزی نازک پوشش داده شده است، بعنوان هدف، مناسب است.

۵-۲-۳ هدف بازتابنده - محدب

بازتابـنده مخروطـی از نـوع محـدب در شـکل ۳ نشان داده شده است. نیم زاویه مخروط بطور نمونه ٤٥ درجه انتخاب شده، بنابراین موج بازتابیده تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور پرتو التراسونیک خارج می شود.

۵-۲-۴ هدف بازتابنده - مقعر

بازتابـنده مخروطی از نوع مقعر در شکل ٤ نشان داده شده است. نیم زاویه مخروط بطور نمونه ٦۰ تا ٦٥ درجه انتخاب شده، بنابراین موج بازتاب شده به طرف مبدل التراسونیک در مقایسه با بازتابنده محدب نزدیک‌تر است.

۵-۳ قطر هدف

قطـر هدف باید به اندازه کافی بزرگ باشد، تا تمام قسمت‌های مهم میدان را دربرگیرد. هم چنین باید حداقل ۰/۵ ۱ برابـر از ابعاد (برای مثال قطر) مبدل التراسونیک بزرگتر باشد. به طور کلی قطر مورد نیاز، به ساختمان میدان و فاصله هدف از مبدل التراسونیک بستگی دارد.

فرمول برآورد حداقل مقدار شعاع هدف b در زیر داده شده است، که منجر به نیروی تابشی خواهد شد، که اگر اندازه سطح مقطع هدف بی‌نهایت باشد، این نیرو حداقل ۹۸ درصد نیروی تابش موردنظرخواهد شد. (با خطای کمتر از دو درصد).

ایـن فرمول برای هدف از نوع جذب کننده دوار در میدانی با نوسانات مداوم و مبدل التراسونیک از نوع پیستون تیغه دار صفحه گرد با شعاع a در محیطی غیر جذاب، مورد تائید است.

$$\mathbf{b} = a\left[۱/\left(۱+۰/۵۳\tau_{۱}\square\right)+\tau_{۱}\square\right] \qquad (۱)$$

$$\beta = 0/98 + 0/01\,\pi ka$$

$$\tau_1 = \tau_0 + \Delta\tau$$

$$\tau_0 = ka \Big/ \left(2\pi (\beta^2 - 1)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$\Delta\tau = \begin{cases} 0/7 & Ka \le 9/3 \\ 6/51/Ka & 9/3 \le ka \le 65/1 \\ 0/1 & 65/1 \le ka \end{cases}$$

در فرمول (۱):

x فاصله بین هدف و مبدل التراسونیک است.

λ طول موج التراسونیک در محیط انتشار است.

$K = 2\pi/\lambda$ عدد موج دایره ای

$s = x\lambda/a^2$ فاصله بین هدف و مبدل التراسونیک عمود بر طول میدان نزدیک است.

در فرمول (۱) می توان مقدار s را نیز به دست آورد، یعنی حداکثر مقدار فاصله عمود بین دستگاه هدف و مبدل آلتراسونیک را وقتی که شعاع b داده شده است. تاثیر جذب و جریان صوتی به طور جداگانه در نظر گرفته شده است.

برای احتیاط b نباید هیچ وقت کمتر از a ۱/۵ شود، حتی اگر مطابق فرمول (۱) امکان‌پذیرباشد.

۴-۵ میکرو تراز کننده یا سیستم اندازه‌گیری نیرو

در ایـن استاندارد فرض بر این است، که ترازکننده نیروی تابش ازنوع تراز کننده جاذبه ای است، بنابراین جهت پرتو عمودی است.

یـادآوری – ممکـن اسـت از نظر پتانسیلی جهت افقی پرتو بهتر باشد، زیرا اثرات گرما از قبیل جریانات انتقال گرما و تغییرات در غوطه وری در این حالت کمتر است.

نـوع تـراز کنـنده مـورد نیاز بستگی به بزرگی توان التراسونیک اندازه‌گیری شده دارد. توان ۱۰ میلی وات معادل نـیروی تـابش(در آب و بـر روی هدف جذب کننده) ٦/٧ میکرونیوتن و جرمی معادل ۰/٦٨ میلی گرم است، و اگـر مقـدار توان ۱۰ وات باشد. درنتیجه نیروی تابش ٦/٧ میلی نیوتن و جرم معادل ۰/٦٨ گرم است. در حالت اول، مـیکرو تـراز کنـنده الکترونیکی مناسب‌ترین وسیله است. اما در حالت بعدی تراز کننده الکترونیکی یا تراز کنـنده کـاملاً مکانیکی آزمایشگاهی را می توان به کار برد. در هر دو حالت، جبران تغییر مکان هدف و برگردان به موقعیت اصلی لازم است.

اگـر دسـتگاه اندازه گیری نیرو یاترازکننده توسط وزنه های کوچک با جرم معین کالیبره شود، یا اگر به دلایلی نتایج حاصل از دستگاه اندازه‌گیری نیرو یا تراز کننده برحسب واحدجرم ارایه شود، نتیجه اندازه‌گیری بر حسب واحدهـای جـرم را بـاید در شـتاب جاذبـه زمین $g = ۹/۸۱\ m.s^{-۲}$ ضرب کرد تا به واحد نیرو تبدیل شود. اگر نتـیجه انـدازه گـیری برحسـب میلـی‌گـرم یـا گـرم داده شـده، حاصل را در g ضرب می‌کنیم، تا نیرو برحسب میکرونیوتـن (یـا میلی نیوتن به ترتیب) بدست آید. وقتی نیرو مطابق فرمول داده شده در پیوست الف تبدیل به تـوان التراسـونیک شـد، اسـتفاده از سـرعت صوت برحسب متر بر ثانیه، بعنوان مثال $c = ۱۴۹۱\ m.s^{-۱}$ در آب خالص با دمای ۲۳ درجه سلسیوس، منجر به توان برحسب میکروووات (یا میلی وات به ترتیب) می شود.

۵-۵ مخزن سیستم

اگر هدف بازتابنده به کارمی رود، مخزن اندازه‌گیری باید با لایه جذب کننده پوشش داده شود.

باید مطمئن شد که هدف و قسمت‌های دیگر دستگاه اندازه‌گیری، بازتاب‌های التراسونیک را افزایش نمی دهند، یـا ایـن کـه بازتـاب هـا در جهـت‌هایـی کـه نتوانـند به مبدل التراسونیک برگشته و مجدداً عمل نمایند، حذف می‌شوند. در غیراین صورت توان اندازه‌گیری شده مساوی مقدار میدان آزاد موردنظر نخواهد شد.

۵-۶ ساختار نگهدارنده هدف

در تراز

کننده‌های نیروی استاتیکی، اجزاء ساختار نگهدارنده هدف و حامل های نیروی تابش درطول

فصل مشترک هوا- آب بهتراست به گونه‌ای طراحی گردد، که اثرکشش سطح را به حداقل برساند. اگرهدف به وسیله سیم‌ها آویزان شده ودر مایع فرومی رود، بهتراست برای کاهش خطاهای اندازه‌گیری قطر سیم‌ها تا حد امکان کوچک باشد، زیرا خیس شدن ناقص سیم ها یا ذرات گرد و غبار می تواند موجب بروزخطا شود. هم چنین نیروهای مزاحم ممکن است درحد۰/۱ میکرونیوتن باشند.در وضعیتی که مبدل التراسونیک بالای هدف قرار گرفته است، (تابش بطرف پایین) وجایی که چندین سیم آویزان ممکن است نیاز باشد، به کار بردن سیم با قطر کوچک اهمیت زیادی دارد. (مطابق شکل ٤)

یادآوری – سیم پلاتینوم – ایریدیم با قطر ۵۰ میکرومتر مناسب است.

۵-۷ تنظیم محل مبدل

مبدل التراسونیک باید در محل خودچنان قرار گیرد، که از پایداری و وضعیت مبدل التراسونیک نسبت به هدف اطمینان حاصل شود.

۵-۸ صفحات نازک ضد جریان[1]

اگـر انرژی جذب شده در طول مسیر صوت را نتوان حذف نمود، (مثلاً مسیر طولانی صوت و یا فرکانس زیاد) ممکن است جریان صوتی اتفاق بیفتد.

بـه مـنظور کاهش اثرات جریان در مایع اندازه‌گیری، صفحات پلاستیکی نازک را اغلب در مسیر صوت قرار می دهند. وقتی این صفحات به کار می رود، دو شرط مرزی باید رعایت شود:

اول- صفحات باید نزدیک هدف قرار گیرد

دوم- صفحات باید موازی سطح مبدل التراسونیک باشد.

دو نـوع جـریان مـی توانـد بهم مربوط باشند. نوع تبادل گرما، برای مثال در مورد مبدل التراسونیک که درمدت عملـیات التراسـونیک گـرم مـی شـود. وجـریان صوتی که با تضعیف التراسونیک متشکل می شود، بنابراین در محدوده فرکانس زیاد، اصولاً اتفاق می افتد.

اگـر یـک صـفحه بـه کـار رفت، ضخامت آن باید تا حد امکان نازک باشد، تا خواص انتقال آن بهینه شود. این جنـبه در فـرکانس‌هـای بـالا اهمیـت زیادی دارد. بهتر است از طریق تجربه یا تئوری ضریب انتقال را مشخص نموده و اگر تاثیر آن خیلی زیاد است، باید آنرا اصلاح کرد.

صـفحه نـازک بـاید تحـت یـک شـیب ملایـم قـرار گـیرد، تـا از ورود مـوج التراسونیک بازتاب شده به مبدل التراسونیک توسط یک فاز که در تمام سطح مبدل التراسونیک ثابت است، جلوگیری شود.

۵-۹ اتصال مبدل

بـرای انـدازه‌گـیرهای دقـیق، مبدل التراسونیک باید به طور مستقیم به مایع اندازه‌گیری متصل شود، تا به وسیله اتصـال صفحه نازک اضافی از انتقال امپدانس جلوگیری شود. این امر به ویژه برای تراز کننده خیلی حساس با دقـت بـالا اهمیـت دارد، زیـرا در آن پرتوالتراسونیک به طرف بالا و به طور عمود جهت دارد.(شکل ۱و۳) باید ازانـتقال امـپدانس که توسط اتصال صفحه نازک اضافی ایجاد می‌شودپرهیزنمود، زیرا در اندازگیری ها به وسیله مبدل التراسونیک با کیفیت بالا[2] ، از اهمیت زیادی برخورداراست.

یادآوری- برای مثال مبدل التراسونیک ایر- بک می‌تواند توسط فشار سطح تحت تاثیر قرار گیرد.

۵-۱۰ کالیبراسیون

---

[1] - *Anti streaming Foils*
[2]- *High quality*

تـراز کنـنده نـیروی تابشی باید با استفاده از وزنه‌های کوچک باجرم مشخص کالیبره شود.هم چنین بهتر است، ترازکنـنده نیروی تابشی با استفاده از مبدل التراسونیک با توان خروجی مشخص کالیبره شود. در این صورت، اگـر نشـانه‌ای مبنـی بر اینکه حساسیت تراز کننده نسبت به توان التراسونیک تغییر کرده وجود دارد، باید هر دو سال یک بار یا با تناوب بیشتر کالیبراسیون انجام شود.

۶ الزامات شرایط اندازه‌گیری

۶-۱ تنظیم جانبی مبدل

در مـورد هـدف بازتابـنده مخروطـی محـدب بـاید به این واقعیت توجه کرد، که تحت فعالیت پرتوالتراسونیک ممکن است هدف در مرکز نباشد، و به طرف ناحیه‌ای با شدت کمتر حرکت کرده و زاویه تلاقی پرتو دوم روی هـدف ممکـن اسـت تغیـیر کـند. ایـن اثـر به توان تابیده و هم چنین نوع آویزی که برای هدف به کار می‌رود، بستگی دارد.

۶-۲ جداسازی مبدل یا هدف

فاصله بین

سطح مبدل التراسونیک و هدف،یا صفحه نازک (اگر به کار رفته) و هدف،بایدتا حد ممکن

کم باشد،ازاین نظرکه جریان صوتی توسط جذب التراسونیک درمسیرصوت ایجاد می شود.

هـدف جـذب کنـنده مـی توانـد بـه حـد کافی نزدیک مبدل التراسونیک قرار گیرد تا بر هر مشکلی در رابطه با ساختار میدان واگرا فایق آید.

در مـورد هـدف بازتابـنده مخروطی مقعر، لازم است از واکنش موج بازتابنده روی مبدل التراسونیک جلوگیری شـود. این نوع هدف باید در فاصله حداقل ۳۰ میلی‌متری از صفحه مبدل التراسونیک (بستگی به جزئیات محل دارد) قـرار گـیرد. ایـن مورد ممکن است منجر به خطاهایی در اندازه گیری ها در وضعیت ساختار میدان واگرا شود.

قلـه هدف بازتابنده محدب، می تواند در تماس با صفحه مبدل التراسونیک باشد، اما این به مفهوم آن نیست که کل نیم فضا را که مبدل التراسونیک در آن تابش دارد هدف پوشش می دهد. حتی اگر (در حالت ساختار واگرا) تقریـباً تمـام مـیدان بـه مخـروط محـدب برخورد کند، ممکن است این مورد در زاویه‌های تلاقی که با زوایای مفروض در صفحه امواج فرق دارند، رخ دهد. و منجر به کاهش نیروی واقعی تابش شود. اگر هرگونه تردید در ایـن موردکـه مـیدان مـبدل التراسـونیک ممکـن است به قدر کافی تراز نشده (مقدار کم ka ممکن است بخاطر مفهوم فرکانس کم و یا قطر کوچک مبدل التراسونیک باشد)، بهتر است فاصله بین مبدل التراسونیک و هدف را

تغییر داده و انـدازه گیری مجدداً تکرار شود. هرگونه کاهش در نیروی تابش به علت افزایش فاصله و علاوه بر آن کاهش نیرو به واسطه تضعیف التراسونیک نشانه ای از نامناسب بودن نوع و یا اندازه هدف است.

۶-۳ آب

زمانی که تراز کننده نیروی تابشی به کار می رود، مایع به کار رفته برای اندازه گیری باید آب باشد.

بـرای تعییـن توان خروجی بیش از یک وات، جهت پرهیز از اثر حفره‌سازی[1] ، باید فقط آب گاززدایی شده به کـار رود. در سـطوح پاییـن‌تـر تـوان خروجی، آب گاززدایی شده برای اندازه‌گیری دقیق‌تر برتری دارد. اما آب مقطر بدون گاززدایی اضافی در خیلی موارد ممکن است قابل قبول باشد. در صورتی که مراقبت به عمل آید که حباب های هوا روی سطوح مبدل التراسونیک یا هدف وجود نداشته باشد.

گاززدایی آب باید توسط جوشاندن آن به مدت زمان ۱۵ دقیقه تحت فشار اتمسفر انجام شود، و یا این که آن را در معـرض فشـار کـم که از چهار کیلو پاسکال بیشتر نباشد، به مدت سه ساعت قرار داد. گاززدایی باید حداقل یـک بـار در مـدت زمان ۱۲ ساعت قبل از هر مرحله اندازه‌گیری انجام شود، مگر این که روش های نگه داری مخصوص به کار رود. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ملی ایران[2]..... مراجعه شود.

۶-۴ تماس آب[3]

خـیس شـدن کامل (تماس آب) سطح مبدل التراسونیک، هدف و صفحه نازک باید به طور کامل خیس شوند. بـه ایـن مـنظور قطعـات را حداقل چندین ساعت قبل از اندازه‌گیری باید در آب گاززدایی شده قرار داد.قبل از شروع اندازه گیری، باید مراقبت به عمل آیدکه تمام حباب های هوا از سطوح فعال پاک شده است، واز این امر اطمینان حاصل شود.

یـادآوری – ممکن است تغییرکمی در وزن ظاهری هدف جذب کننده پس از چند ساعت نگه داری در آب، به واسطه جذب آب توسط مواد جذب کننده ایجاد شود.

۶-۵ شرایط محیطی

بـه مـنظور انـدازه گـیری در محدوده میلی وات و میکروووات، وسیله اندازه‌گیری باید عایق گرمائی داشته، و در برابر نوسانات محیط و جریان هوا محافظت شود.

---

[1]- *Cavitation*

۱- تا تدوین استاندارد ملی ایران ، به استاندارد *IEC60150* مراجعه شود

[3]- *Water contact*

عـلاوه بـر آن، مخـزن اندازه گیری باید اغلب بسته باشد، تا از جریان انتقال گرما در مایع اندازه‌گیری جلوگیری شود، که به واسطه اثر خنک کنندگی به علت تبخیر سطح مایع ایجاد می‌شود.

۶-۶ وزش گرما[1]

برای این که هدف جذب کننده، قادر به تعیین اثرات گرمایی بواسطه انرژی جذب صوت باشد، پیش و پس از روشن و خاموش کردن مبدل اولتراسونیک لازم است سیگنال اندازه‌گیری ثبت شود. در این صورت استفاده از تراز کننده الکترونیکی پیشنهاد می شود.

۷ عدم قطعیت اندازه گیری

۷-۱ ارزیابی اندازه‌گیری عدم قطعیت

بـه دلـیل تـنوع زیـاد تجهیزات اندازه گیری به کار رفته، ارایه یک آنالیز عدم قطعیت معتبر برای تمام تجهیزات ممکـن نمـی باشـد. بنابراین، برآورد کل عدم قطعیت اندازه‌گیری یا ارزیابی دقیق باید برای هر یک از تجهیزات بطور جداگانه محاسبه شود. این ارزیابی بهتر است شامل اجزاء زیر باشد.

۷-۱-۱ سیستم تراز شامل هدف معلق

پـیش از انـدازه‌گـیری با سیستم تراز، با استفاده از وزنه‌های کوچک با جرم مشخص سیستم تراز باید بررسی یا کالیـبره شـود. انجـام ایـن کار برای کلیه سیستم آماده اندازه‌گیری نیروی تابش، مثلا هدف آویزان در آب بسیار اهمیت دارد. بنابراین، هرگونه تاثیر پتانسیلی سیم آویز غوطه‌ور در آب به طور خودکار در نظر گرفته می شود. این روش اجرا باید چندین بار با هر وزنه تکرار شود، تا نشانه ای از نتایج تصادفی پراکنده به دست آید. برآورد عـدم قطعیـت جهت فاکتور کالیبراسیون تراز می تواند از نتایج این کالیبراسیون و از عدم قطعیت جرم وزنه‌های به کار رفته محاسبه شود.

بهتراست نتایج این بررسی‌ها ثبت شود، تا پایداری فاکتور کالیبراسیون تراز در درازمدت قابل بررسی باشد.

۷-۱-۲ خطی بودن سیستم تراز

خطی بودن سیستم تراز باید حداقل هر دو ماه، مطابق موارد زیر بررسی شود.

انـدازه‌گـیری های شرح داده شده در بند ۷-۱-۱ باید حداقل با سه وزنه با جرم های مختلف در محدوده دامنه خروجـی تـراز انجـام شـود. نتایج تراز به عنوان تابعی از جرم ورودی را می‌توان در نمودار شکل ۵ نشان داد.

---

[1]- *Thermal drifts*

نقـاط حاصـل در این نمودار بهتر است به دل خواه روی یک خط مستقیم که شروع آن از مبدا مختصات است، قرار گیرد. اگر نسبت به این خط انحرافی رخ دهد، عدم قطعیت بیشتری باید به دست آید.

چـون کارکـردن بـا وزنـه های کمتر از ۱۰ میلی گرم مشکل است، بررسی خطی بودن ترازکننده می‌تواند توسط مبدل التراسونیک با خواص ویژه انجام شود، که توسط سطوح مختلف دامنه ولتاژتحریک شده و نیروی تابش با اندازه‌های مختلف تولید می کند. در این صورت مقدار کمیت ورودی در طول نقطه‌های شکل ۵، توان خروجی مبدل التراسونیک است.

۷-۱-۳ برون یابی ممان روشن کردن مبدل التراسونیک[1]

در تـراز کنـنده الکترونیکی، مقدار نیروی تابش به روش زیر بدست می آید، سیگنال خروجی تراز کننده معمولاً بـه عـنوان تابعـی از زمـان ثبت می‌شود، وبرون یابی به عنوان تابعی از ممان روشن کردن مبدل التراسونیک ثبت مـی‌شود. این برون یابی عدم قطعیت را به خدمت گرفته، و بستگی زیاد به مقدار پراکندگی در سیگنال خروجی تـراز کنـنده دارد.(نسـبت سـیگنال به صدا) عدم قطعیت نتایج برون یابی را می‌توان از طریق روش های ریاضی استاندارد با به کارگیری الگاریتم برگشت، بدست آورد.

۷-۱-۴ عیوب هدف

آگاهـی از مقـدار حرکت انجام شده توسط کل امواج ناخواسته ناشی از هدف در کلیه جهت ها لازم است. زیرا تشـخیص اثـر عـیوب هـدف بر روی درستی اندازه‌گیری های تراز کننده نیروی تابش ضروری است. چون این علـم در دسـترس نیسـت، در عمل، استفاده از وسیله ساده موج مسطح که در زیر توضیح داده شده کافی به نظر می رسد. با فرض موج مسطح، فشار تابش صوت برابر با کل شدت انرژی صوت است. موج منتقل شده توسط هـدف جـذب کنـنده (بـه شـکل ۱ مراجعه شود) در جهت روبرو منجر به کاهش نیروی تابش می شود، مقدار کـاهش را توسـط شـدت انرژی منتقل شده محاسبه می کنند، (برای مثال توسط شدت انرژی موجود در پشت هـدف). انـدازه ایـن اثـر را مـی‌تـوان با قراردادن هدف بعنوان مانع، تعیین نمود، و اندازه گیری نیروی تابش را مـی‌تـوان توسـط هـدف اضـافی کـه پشت دستگاه اصلی مستقر شده، انجام داد. باید به این نکته توجه شود که بازتـاب موج منتقل شده در سطح آب (در شکل ۱ نشان داده شده) نیروی تابش اندازه گرفته شده را دوبرابر کم می کند.

---

[1]- *Extrapolation to the moment of switching the ultrasonic transducer*

مـوج بازتابـنده یا امواج پراکنده بازگشته توسط هدف جذب کننده منجر به افزایش نیروی تابش شده که توسط شدت انرژی بازتابنده مقدار آن تعیین می‌شود. در مورد هدف جذب کننده صفحه‌ای، می توان این اثر را بوسیله مقایسـه سـیگنال پـالس- اکو[1] با سیگنال بازتاب کامل ارزیابی کرد. در مورد هدف با ساختار ظاهری، این اندازه گـیری فقـط اجـزای فضـایی مربوطه را تعیین می‌کند، و کل انرژی بازتابنده را نشان نمی دهد. در این صورت، انـرژی بازتابـنده توسـط اسـکن از هـیدروفون[2] و مـربع فشار اندازه گرفته شده بر روی میدان بازتاب شده باید تخمیـن زده شـود، همچنیـن مـی‌تـوان اطلاعـات بیشتری در مورد خواص جذب کننده به کار برد تا حد بالای بازتاب را ارایه نماید. (برای مثال بازتاب پذیری دستگاه مشابه) به منظور افزایش نیروی تابش اندازه‌گیری شده، می توان بازتاب حاصل از هدف را به مبدل التراسونیک برگرداند تا خصوصیات خروجی آنرا تغییر دهد. این اثر تداخلـی را می‌توان با دادن کمی انحراف به هدف و یا استفاده از هدف بهتر، به حداقل رساند. اگر تداخل اتفاق افـتاد، این تداخل موجب افزایش نوسانات در نیروی تابش می‌شود، که می‌توان با تغییر فرکانس یا فاصله هدف و یـا فاصـله مـبدل آن را مشـاهده نمـود. عدم قطعیت حاصل از هرگونه تداخل را می‌توان بوسیله دامنه نوسان مشخص نمود.

مباحـث پـیش در مـورد مـوج انـتقال یافته و اثر آن نیز برای هدف بازتابنده مورد تایید است. از هدف و از هر جـذب کنـنده دیگـری ممکـن اسـت امواج بازتابی منتشر شود.(به شکل ۳ مراجعه شود) بنابراین باید مراقبت بیشتری به عمل آید.

بـا مقایسـه اندازه گیری ها که با انواع مختلف هدف انجام شده، حداکثر اطمینان از درستی کار به دست می‌آید. خـواص صـوتی هـدف هـا بطـور قـابل توجهی نسبت به فرکانس تغییر می‌کنند، بنابراین هر گونه ارزیابی عدم قطعیـت بـرای هـر مقـدار فـرکانس بـاید بـه طـور جداگانـه انجـام شود. پیدا کردن یک هدف خوب که برای فرکانس‌های کمتر از ۲ مگاهرتز طراحی شده باشد، مشکل است.

۷-۱-۵ شکل هندسی هدف بازتابنده

همـان گونـه کـه در پیوسـت الـف. ۲ توضـیح داده شـد، زاویـه مخروطی هدف بازتابنده مخروطی روی نتایج انـدازه‌گـیری اثرمی گذارد. خصوصاً اگر نیم زاویه مخروط بازتابنده محدب تحت زاویه ٤٥ درجه در محدوده ۱ ±٤٥ درجه قرار داشته باشد، عدم قطعیت توان حاصل ۳/۵ ± درصد است. اگر نیم زاویه مخروط بازتابنده مقعر

---

[1] - *Pulse - echo*
[2] - *Hydrophone*

به طور نامی تحت زاویه ٦٣ درجه در محدوده ١ ± ٦٣ درجه قرار گیرد (به مفهوم اینکه $\theta = 27^{\circ}$ به توضیحات پیوست الف. ٢ مراجعه شود) عدم قطعیت توان حاصل ١/٨± درصد است.

٧-١-٦ جذب کننده‌های جانبی در اندازه‌گیری های هدف بازتابنده

عـیوب عملکرد جذب کننده های جانبی تجهیزات مطابق شکل ٣ موجب می شود، که برگشت بازتاب امواج به هدف زیاد شده و در نتیجه مقدار نیروی تابش اندازه‌گیری شده را افزایش دهد. در این جا، مجدداً شدت انرژی بازتابیده تحت شرایط متناقص قرار گرفته، و مجدداً اثر تداخلی اتفاق می افتد (به بند ٧-١-٤ مراجعه شود).

٧-١-٧ عدم تراز هدف

ایـن بندفرعـی درصورتی کاربرد دارد، که مبدل التراسونیک و وسیله اندازه‌گیری نیرو با یک دیگر هم راستا بوده اما تراز زاویه‌ای هدف صحیح نباشد.

مطابق با فرمول داده شده در بند ٢ پیوست الف، اگر نیروی تابش وارد به هدف جذب کننده کامل نسبت به کج بـودن هدف حساس باشد، درمورد هدف بازتابنده، اندازه‌گیری بستگی به جهت‌گیری صحیح هدف دارد. برای مـثال عـدم قطعیت زاویه‌ای ١ ± درجه برای بازتابنده صفحه‌ای که تحت زاویه ٤٥ درجه قرار داد، منجر به عدم قطعیت اندازه‌گیری توان تا ٣/٥ ± درصد می‌شود. تاثیر عدم تراز درمورد هدف بازتابنده مخروطی را نمی‌توان با فـرمول کلی ارایه داد اما، معمولاً از مقدار آن در هدف بازتابنده صفحه‌ای خیلی کمتر است، به ویژه وقتی هدف روی پـرتو مـتمرکز شـده اسـت. برای پرتو استوانه‌ای متقارن که نسبت به هدف بازتابنده مخروطی با زاویه ٤٥ درجه متمرکز شده حساسیت به عدم تراز زاویه‌ای خیلی کمتر است.

٧-١-٨ عدم تراز مبدل التراسونیک

ایـن بندفرعی درصورتی که هدف و وسیله اندازه‌گیری نیرو با یک دیگر هم راستا باشند، ولی مبدل التراسونیک جهت یا موقعیت صحیح نداشته باشد، کاربرد دارد.

درمـورد هـدف کـاملا جـذب کنـنده با اندازه مناسب، نیروی تابش ظاهری متناسب با کسینوس زاویه عدم تراز است. در هدف بازتابنده مخروطی محدب ٤٥ درجه ای، حداکثر عدم قطعیت به علت عدم تراز را می توان تا ٣ ± درصـد انـتظار داشـت. ایـن در حالتـی اسـت که حداکثر تنظیم و خطاهای تراز زاویه‌ای ٣± میلی متر و ٣ ± درجه فرض شود، که برای تراز بوسیله چشم واقع بینانه بنظر می‌رسد.

۷-۱-۹ دمای آب

در نتیجه وابستگی دما به سرعت صوت در آب، عدم قطعیت در اندازه‌گیری دما تا ۱± درجه سلسیوس سبب عدم قطعیت اندازه‌گیری توان تا ۰/۲ ± درصد می‌شود.

۷-۱-۱۰ تضعیف التراسونیک و جریان صوتی

مقدار توان ناشی از اندازه‌گیری تراز نیروی تابش بستگی به موقعیت هدف دارد، هدف تحت فاصله ای داده شده از مبدل التراسونیک قرار دارد. مقدار کمیت موردنظر، اغلب توان بازتاب شده نسبت به سطح مبدل التراسونیک است. در زیر درباره عدم قطعیت اضافی مورد اشاره بحث گردیده است.

در اینجا دو مدل مبنا، اختلاف بین مقادیر توان مورد اشاره در بالا را محاسبه می‌کنند. اولی تاثیر تضعیف اولتراسونیک را به تنهایی در نظر می گیرد. در این مورد، تصحیح با استفاده از فاکتور اصلاح نمایی یا توانی [۱] صورت می گیرد (به پیوست الف بند ۳-۲ مراجعه شود).دومین مدل شامل اثرات جریان صوت به همراه مسیر انتشار[۲] روبروی هدف است. تئوری بورگینز[۳] در مورد هدف جذب کننده تحت شرایط ایده‌آل معینی، اظهار می دارد که اثرات تضعیف و جریان صوت هم دیگر را خنثی می کنند،و در نتیجه هیچ تصحیح لازم ندارد. ثابت شده که عملکرد هدف واقعی (جذب کننده و بازتابنده) جایی بین این دو مدل مبنا قرار گرفته است. بنابراین پیشنهاد می گردد، اندازه عدم قطعیت را درمحدوده مقدار توان تصحیح نشده ای که توسط تراز کننده اندازه‌گیری شده تا مقدار تصحیح شده کل تضعیف، درنظرگرفته شود. این مجموعه عدم قطعیت به فاصله هدف بستگی دارد،و زمانی که اندازه گیری ها درمحدوده بالاتر فرکانس مگاهرتز انجام شود،این عدم قطعیت بویژه بحرانی می شود. اندازه گیری توان ظاهری بعنوان تابعی از فاصله هدف مورد دیگر قضیه است. و محاسبه تابع نتایج به فاصله صفر برمی‌گردد، که توسط الگاریتم برگشت بر مبنای قانون فاصله خطی یا نمایی انجام می شود. مقادیر اندازه گیری شده با قانون فاصله مفروض به طور دقیق مطابق نخواهد شد، به طور مثال در آن جا مقداری پراکندگی تجربی است، بنابراین روش های ریاضی استاندارد را می‌توان برای محاسبه عدم قطعیت نتیجه پیش بینی شده به کار برد.

در مورد سطح غیرصفحه‌ای هدف، تعیین فاصله موثر هدف مشکل است. در اینجا بهتر است یادآوری شود که میانگین ارتفاع مخروط یا هرم $\frac{1}{3}$ کل ارتفاع وقتی از سمت قاعده اندازه‌گیری شود و $\frac{۲}{۳}$ ارتفاع کل وقتی از

---

[1] - *Exponential correction factor*
[2] - *Propagation path*
[3] - *Borgnis theorem*

سـمت قلـه اندازه گیری شده است. از این قانون می توان وقتی هدف باز تابنده مخروطی یا جذب کننده هرمی شـکل اسـت اسـتفاده کـرد. وقتـی پـرتو استوانه‌ای یک نواخت فرضی به هدف مخروطی محدب برخورد کند، فاصله موثر اضافی هدف از فرمول زیر به دست می آید. (از طرف قله محاسبه شود).

که در آن $2\ a/(3\ \tan\ \beta)$

a – شعاع پرتو است.

β – نیم زاویه مخروط است.

۷-۱-۱۱ خواص صفحه نازک

اگر درمدت اندازه‌گیری نیروی تابش صفحه نازک اتصالی[1] یا صفحه نازک پوششی[2] به کار برده شود. اتلاف انتقال صفحه نازک (اندازه گرفته یا محاسبه شده) و همچنین هر نوع اثر موج بازتابنده بر روی مبدل اولتراسونیک باید مد نظر قرار گیرد. عدم قطعیت ایجاد شده توسط این اثرات باید به طور مجزا برآورد گردد.

۷-۱-۱۲ اندازه محدود هدف

در بـند ۵-۳ فـرمول تخمین حداقل اندازه هدف براساس دو در صد معیار تعریف شده است. اگر عرض واقعی هـدف ۵۰ درصـد از مقـدار تعیین شده در بند ۳-۵ بزرگتر باشد، منطقی است که مجموعه عدم قطعیت را فقط یک درصد یا حتی کمتر فرض نمود. پیشنهاد می‌شود وابستگی نیروی تابش به فاصله هدف، را مطابق بند ٦-۲ بررسی نموده، تغییر مجاز لازم برای تضعیف و جریان صوت انجام شود (به بند ۷-۱-۱۰ مراجعه شود).

۷-۱-۱۳ فرضیات موج صفحه‌ای

اگـر سـاختار مـیدان و اگر یا همگرا است، فرمول موج صفحه‌ای پیوست الف بند ۲ دیگر ارزش ندارد. محاسبه تـئوری انـدازه خطاها به واسطه انحراف از این فرمول برای میدان های کانونی یا میدان هایی با مقدار کم ka در پیوست الف بند ٤. ۲ وبند ۵ داده شده است.

---

[1] - *Coupling Foil*
[2] - *Shielding Foil*

۷-۱-۱۴ تاثیرات محیطی

عـدم قطعیـت تصادفی که توسط نوسانات محیط و جریان هوا ایجاد می‌شوند، را باید با حداقل سه مرتبه تکرار اندازه گیری بررسی نمود. بین این اندازه گیری ها، اگر مبدل التراسونیک از روی دستگاه جدا شود، بررسی عدم قطعیت تصادفی که توسط عدم تراز مبدل التراسونیک ایجاد شده نیز اضافه می‌گردد.

۷-۱-۱۵ اندازه گیری ولتاژ القایی

معمـولاً، عـدم قطعیـت در انـدازه گـیری ولـتاژ القایـی به کار رفته در مبدل التراسونیک برای اندازه گیری توان خروجـی وجود ندارد. به هرجهت، اگر اندازه‌گیری های توان خروجی از همان مبدل التراسونیک در آزمایشگاه مسـتقل (بـرای مـثال بـه منظور مقایسه) انجام شود، امکان اختلاف اندازه ولتاژ القایی را باید موردنظر قرار داد. چـون که توان خروجی متناسب با مربع ولتاژ به کار رفته است، بنابراین وقتی کل عدم قطعیت در نظر گرفته می شود، عدم قطعیت ولتاژ تعیین شده باید دو برابر شود.

۷-۱-۱۶ دمای مبدل التراسونیک

زمانـی کـه انـدازه گیری های انجام شده در زمان های مختلف یا در محل های متفاوت با هم مقایسه می‌شوند، تغییرات توان خروجی با دمای مبدل التراسونیک می تواند مهم باشد. گاهی، این تغییرات می تواند (برای مثال ۵ درصـد در هـر درجـه سلسیوس)، به ویژه در مبدل های التراسونیک با امپدانس چند لایه، قابل توجه است. این تغییرات دما می تواند توسط تغییرات محیط یا انتشار گرما در مبدل التراسونیک ایجاد شود.

افـزایش دمـای مـبدل مـی توانـد جریان تبادل گرمایی را تولید نموده، و روی نتایج خروجی دستگاه تراز کننده ممکن است اثر گذارد.

این اثرات را می توان پس از روشن کردن مبدل التراسونیک با مشاهده نیروی تابش به عنوان یک تابعی از زمان مشخص نمود.

۷-۱-۱۷ حالت غیرخطی

اثرغیر خطی بودن باید با توجه به موارد زیر بررسی گردد.

الـف) خطـی بـودن سیسـتم تـراز شامل هدف آویزان را می توان با کالیبراسیون دستگاه توسط وزنه‌ها به عنوان تابعـی از مقدار وزنی آن ها ویا اندازه گیری توسط مبدل التراسونیک با خواص مشخص(بند۷-۱-۲)و هم چنین قـراردادن هـدف به اندازه۱۰میلی‌متر نزدیک تر به مبدل التراسونیک بررسی نمود. ب) مطابق بند ٦-٣و ٦-٤ ،گاززدایـی آب و برطـرف نمـودن هـرگونه حـباب ضـروری اسـت. اگـر حـباب هـوا یا حفره‌سازی در میدان التراسونیک فعال باشد، اندازه گیری توان ممکن است صحیح نباشد. برای منابع خطا نمی توان برآورد کلی ارایه نمود.

پ) تضـعیف التراسـونیک و جـریان صـوتی ممکـن اسـت غیرخطـی باشـد. اگـر فاصـله هدف یا فاصله مبدل التراسـونیک و یا کوچکترین فاصله هدف در آزمون تغییرات فاصله کمتر از ۱۰ میلی متر باشد، کافی است که از بـند ۷-۱-۱۰پیروی کنید. اگر فاصله مبدل التراسونیک یا هدف یا کوچک ترین فاصله هدف در آزمون تغییرات فاصـله ۱۰ میلی متر یا بیشتر باشد، عدم قطعیت اضافی به واسطه غیرخطی بودن احتمالاً اتفاق می افتد، اما نمی توان برآورد کلی در اینجا ارایه نمود.

ممکـن اسـت به نظر آید، که این اثر را می توان با مبدل التراسونیک مرجع با توان خروجی معینی بررسی نمود. بـاید به این نکته توجه شود، که غیرخطی‌ها در تضعیف التراسونیک و جریان صوت می تواند به شکل موج آنی و مقدار فشار حداکثر بستگی داشته باشد، و نتایج حاصل از آزمون توسط مبدل التراسونیک مرجع با شکل موج متفاوت از مبدل التراسونیک که قرار است اندازه‌گیری شود، کاملاً نهایی نیست.

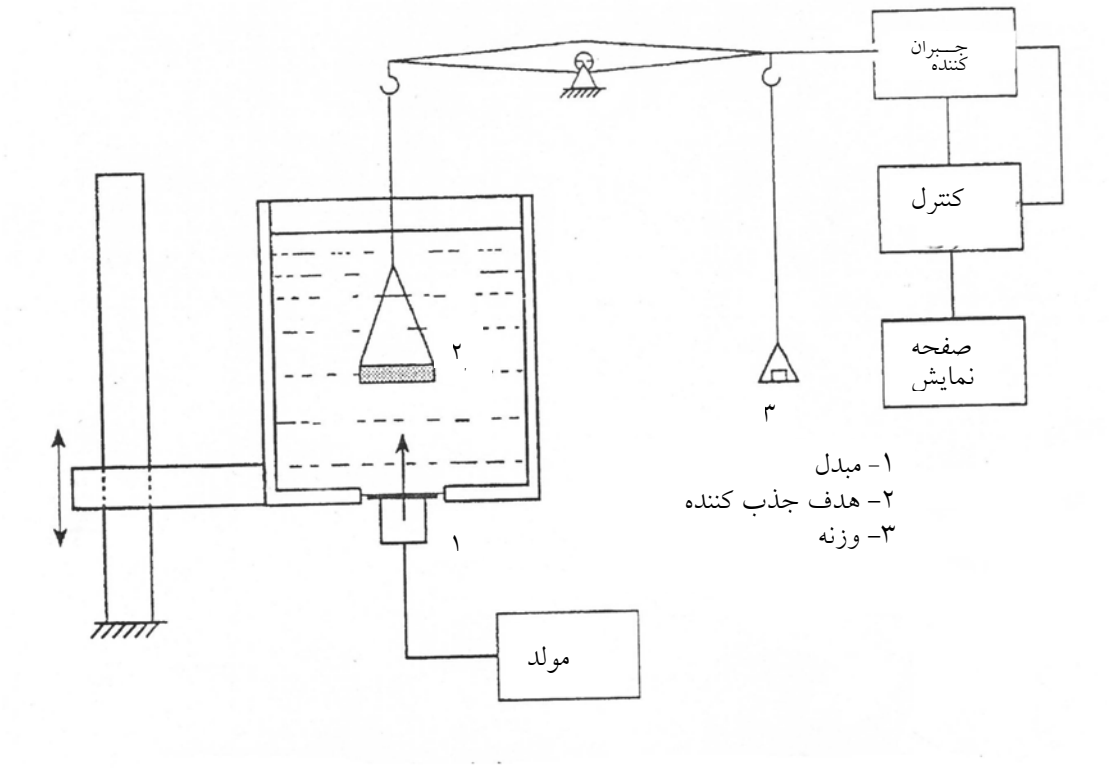
ت) جـدا از اثـرات الف، ب و پ این بند از استاندارد، روابط تئوری بین نیروی تابش با یک دیگر ممکن است غیرخطـی بـوده و بـا فـرمول های مرتبه دوم داده شده در بندهای پیوست الف ۲ و ۵ تفاوت داشته باشد، وقتی روابـط خطـی بیـن نـیرو و تـوان تعـریف شـده است. در محدوده توان خروجی که توسط جریان تشخیصی و تجهـیزات درمان با التراسونیک تولید شده، مادامی که هیچ اطلاعات خلاف به دست نیامده، نیروی تابش صوت بهـتر اسـت، بـه عنوان پدیده خطی نسبت به توان خروجی در نظر گرفته شود. بهتر است انحرافات غیرخطی از فرمول داده شده در پیوست الف بند ۲ و ۵ در مقایسه با بقیه عدم قطعیت ها قابل اغماض باشد.

۷-۱-۱۸ نتیجه گیری پیشنهاد می شود

به طور دوره ای بررسی شود، که آیا کل عدم قطعیت تعیین شده با استفاده از راهنمایی‌های بالا متاثر از بقیه

منابع خطای تصادفی نیست. می توان این کار را با دمونتاژ[1] اجزاء تجهیزات اندازه‌گیری و مونتاژ مجدد آن و حداقل سه بار تکرار اندازه‌گیری، انجام داد.

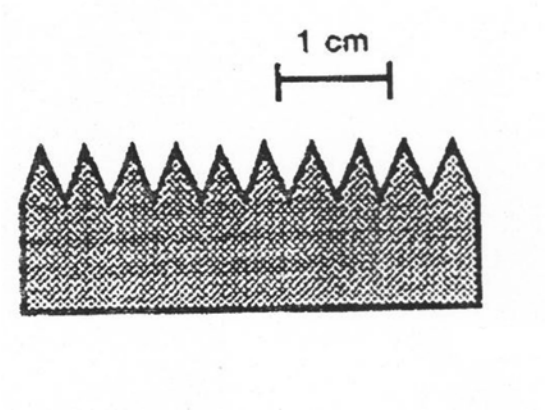
وقتـی سازگاری الزامات بندهای ۵ و ٦ کامل گردید، درستی اندازه گیری ۱۰ ± درصد در محدوده فرکانس ۱ تا ۱۰ مگاهرتـز، و ۲۰± درصد بیرون از این محدوده تا فرکانس ۲۰ مگاهرتز، و هم چنین ۳۰± درصد بالاتر از ۲۰ مگاهرتـز بـه نظـر قـابل انجام می‌آید. هم چنین در جایی که مبدل التراسونیک مرجع کالیبره شده موجود است، اندازه گیری با این تجهیزات پیشنهاد می گردد.



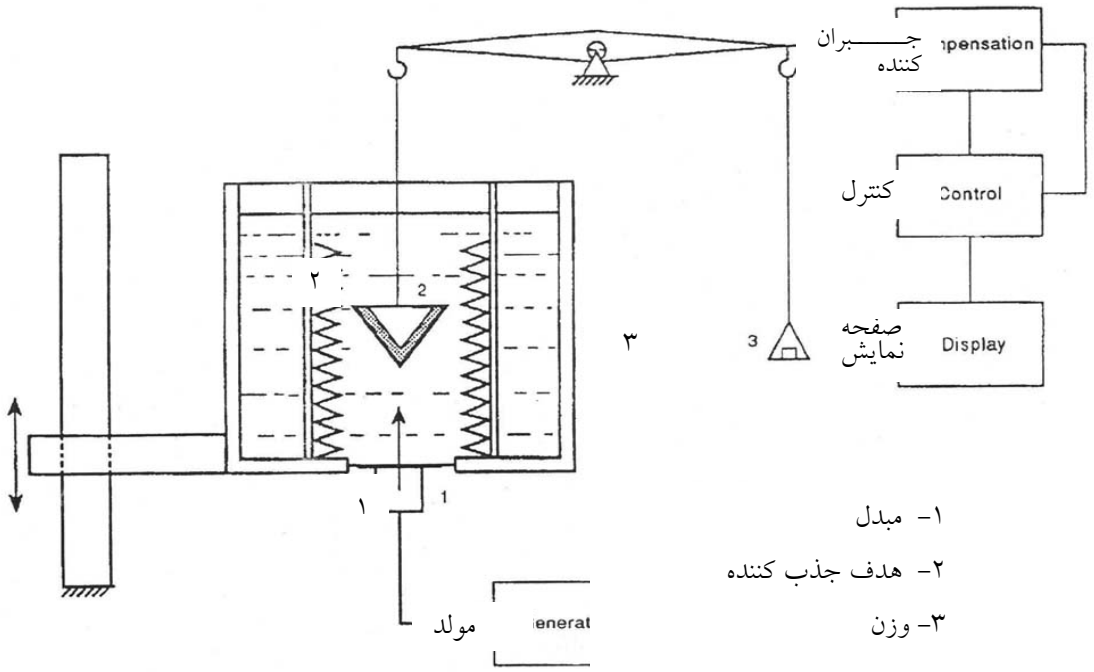
۱- مبدل
۲- هدف جذب کننده
۳- وزنه

شکل ۱- سیستم تراز کننده نیروی تابش با هدف جذب کننده

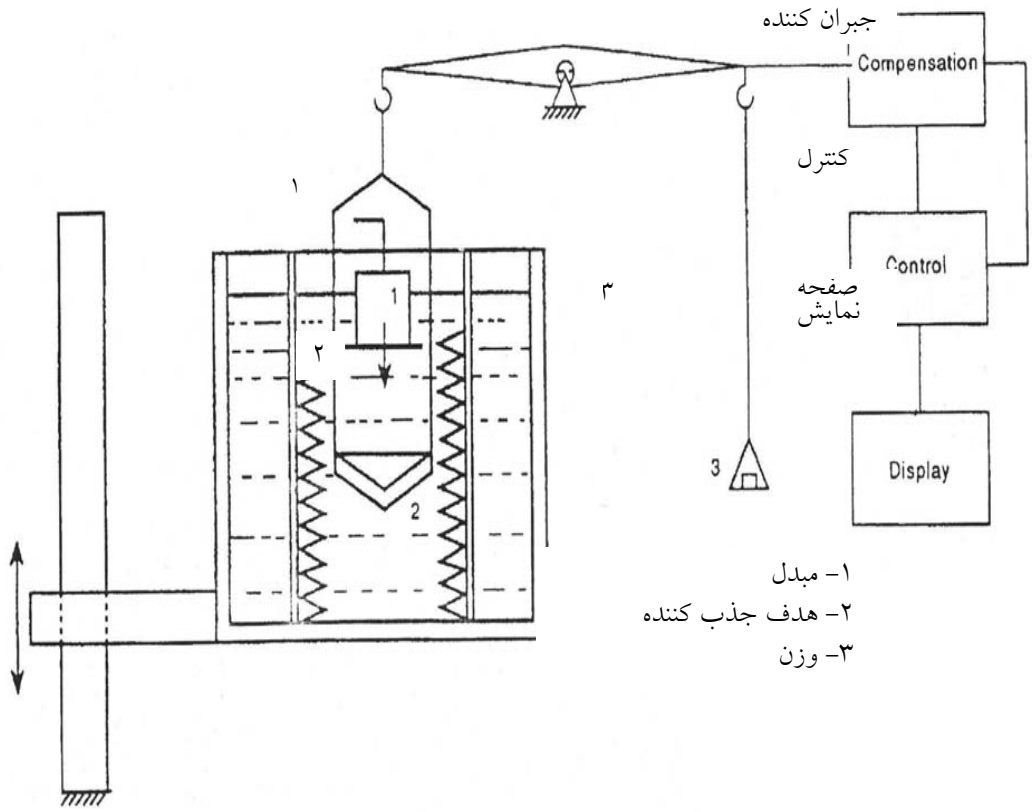
[1] - *Disassembling*



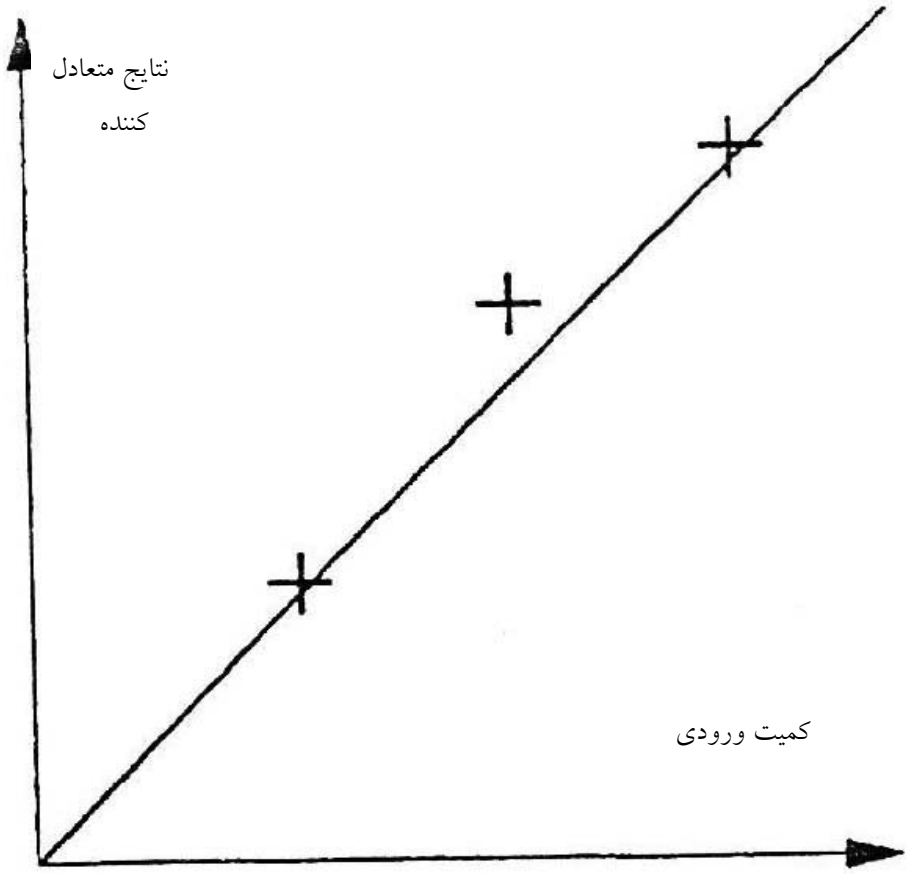
شکل ۲- بخشی از هدف جذب کننده



شکل ۳- سیستم تراز کننده نیروی تابش با هدف بازتابنده(محدب)



شکل ٤- سیستم ترازکننده نیروی تابش با هدف بازتابنده(مقعر)



یـاد آوری- اگربررسی خطی بودن تجهیزات با استفاده از وزنه های کوچک با جرم مشخص انجام شـود،کمیـت ورودی جـرم وزنـه های به کاررفته است.اگر بررسی خطی بودن دستگاه با استفاده از نـیروی تـابش میدان التراسونیک منتشر شده توسط مبدل التراسونیک با خواص مشخص انجام شود، کمیت ورودی توان خروجی التراسونیک مبدل است.

شکل ۵- بررسی خطی بودن: نتایج تراز کننده به عنوان تابعی از کمیت ورودی

پیوست الف

فرمول پایه

(الزامی)

الف. ۱

انـدازه گـیرهای نیروی تابش پیشنهاد شده در این استاندارد تحت شرایط "مخزن باز" (شرایط لانگ جی وین) انجام می‌شود. برای مثال، سیال تابیده شده در تماس با واسطه محصور، که در معرض فشار محیط قرار دارد.

الف. ۲

تحـت چنیـن شرایطی و برای امواج التراسونیک صفحه‌ای با دامنه کوچک، فشار تابش ظاهر شده در سطح بین دو واسطه با اختلاف بین کل شدت‌های انرژی صوت موجود در دو طرف سطح برابر است. این منجر به فرمول زیـر مـربوط بـه اجـزاء نیروی تابش F بر روی هدف در جهت تکثیر موج اصلی به توان خروجی صوت p در مبدل التراسونیک می‌شود.

برای هدف کاملاً جذب کننده $P = cF$

برای هدف کاملاً باز تابنده $P = cF/ (2 \cos^2\theta)$

که در آن

c = سرعت صوت در سیال تکثیر صوت (آب) است.

θ = زاویه بین جهت تکثیر موج اصلی و عمود بر سطح بازتاب است.[۱]

الف.۳

فرمول بالا دو مفروض دارد.

۱- برای اطلاعات بیشتر تا تدوین استاندارد ملی ایران ، به استاندارد *IEC 60150* مراجعه شود

الف.۳. ۱

هـدف بـه قـدر کافـی بـزرگ اسـت، تا کل سطح مقطع پرتوالتراسونیک را پوشش دهد،به طور مثال مقدار توان صـوت منتشـر شـده در چنیـن جهـت‌هایی اگر از هدف عبور نکند، در مقایسه با کل توان صوت قابل اغماض است.

الف. ۳ .۲

جـذب کنـنده التراسـونیک درمحـیط تکثیرصوت وجود ندارد. اگر جذب انجام شود، نماد p در فرمول بالا توان صوتی در موقعیت هدف را نشان می دهد. به عبارتی برای تبدیل آن به توان خروجی مبدل التراسونیک، باید در نماد $exp\ (۲\,\alpha\, x)$ ضرب شود،که درآن x فاصله بین هدف و مبدل التراسونیک و α ضریب دامنه تضعیف امواج صـاف است. مقدار α در محدود فرکانس مگاهرتز متناسب با $f^{۲}$ است و برای مثال توسط فرمول زیر به دست می‌آید.

$/\square^{۲} = ۲/۳\times۱۰^{-۴}\ \square\square\square\ \ ^{-۲}\square\square\ ^{-۱}$

برای آب خالص با دمای ۲۳ درجه سلیسیوس

f فرکانس التراسونیک است.

شـرط لازم بـرای درسـتی ایـن اصل عدم استهلاک اضافی به واسطه تخریب دامنه محدود و عدم نیروی اضافی روی هدف به واسطه جریان صوت است. (با فرض اینکه صفحه نازک پوششی به کار رفته است).

الف.۴

فـرمول بـالا براسـاس فرضیات موج صاف است. ساختار میدان مبدل التراسونیک در چهارچوب میدان نزدیک معمولاً با آن در موج صاف تفاوت دارد. کاربرد این فرمول ها به دو دلیل پیشنهاد می شود.

الف. ۴ .۱

از نظـر تجربـی، هرگزایـن فـرمول بـرای مبدل التراسونیک با پیستون صفحه‌ای بی‌اعتبار شناخته نشده و درستی اندازه گیری آن برای نمونه حداقل چند درصد است.

الف. ۴. ۲

از نظـر تـئوری، نـتایج مـوج صاف برای منبع پیستون صفحه‌ای مدور تقریباً معتبر است، و مقدار Ka آن به قدر کافـی زیـاد اسـت. ($k = 2\pi/\lambda$ تعـداد مـوج دایره ای در سیال تکثیر صوت و a شعاع مبدل التراسونیک است،

ارزیابی تئوری برای استفاده ازهدف جذب کننده تاکید دارد.) برای مثال، اگر $Ka \geq ۳۵$ باشد مقدار توافق ۲ درصد است، وضعیتی که معمولاً توسط مبدل التراسونیک انجام می شود. در فرمول بالا ایراد، اصولاً در محدوده پایین مقادیر کم Ka امکان‌پذیراست.

الف. ۵

مستندات تئوری نشان داده که فرمول موج صاف برای مبدل التراسونیک کانونی کاملاً مناسب نیست، و به جای آن نیروی تابش برای هدف جذب کننده به دست می‌آید.

$$P = 2\,cF / (1+\cos\gamma)$$

که در آن

$\gamma = arc\ sin\ (a/d)$ زاویه کانونی است.

d طول هندسی کانون (شعاع انحنا مبدل التراسونیک)

a شعاع اجزاء فعال مبدل التراسونیک

که در آن $\gamma \to 0$ و $d \to \infty$، مطالب فوق به طرف فرمول موج صاف مربوطه گرایش پیدا می‌کند. مادامی که تائید مستقلی (تئوری یا تجربی) برای مستندات بالا به دست نیامده، بهتر است اختلاف ذکر شده حداقل در صورت امکان درنظر گرفته شده، و با تخمین عدم قطعیت در میدان کانونی محاسبه شود.

پیوست ب

روش‌های دیگر اندازه‌گیری توان التراسونیک

(اطلاعاتی)

روش هـای زیادی برای نیروی تابش به کار رفته شده است. برای مثال تراز کننده پیچشی[1] یا تجهیزاتی که فشار تـابش مدولـه شـده را بـه کار می برند. تراز کننده نیروی تابش مدوله شده (که بعنوان استاندارد اولیه در بعضی کشـورها بـرای انـدازه‌گـیری توان التراسونیک به کار می‌رود.) را می‌توان با هر نوع مبدل التراسونیک که قادر به فعالیـت با نیروی مدوله شده باشد، به کار برد. گروه بزرگی از تجهیزات از وسایلی با روش شناور تشکیل شده انـد، کـه اغلـب بـرای محدوده توان برحسب وات که در درمان با التراسونیک به کار می روند، تمایل دارند. در طراحی مبنا، ازیک بازتابنده مخروطی شکل تحت عمل نیروی تابش در یک سیال سنگین‌تر (تتراکلریک کربن[2] یا تتراکلرواتیلن[3])استفاده شده است .

روش های دیگر در استاندارد ملی ایران[4]..... بیان شده است .

---

[1] - *Torsion balance*
[2] - *Carbon – tetrachloride*
[3] - *tetra chloroethylene*

٤- تا تدوین استاندارد ملی ایران ، به استاندارد *IEC 61101* مراجعه شود

ICS: 17.140.50