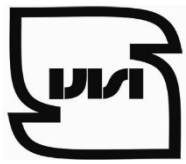
INSO
20327-2
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران
۲۰۳۲۷-۲
چاپ اول
۱۳۹۴

دارای محتوای رنگی

اندازه‌گیری جریان سیال در مجاری بسته – جریان‌سنج‌های فراصوتی گاز – قسمت ۲: کنتورهای صنعتی

Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic meters for gas - Part 2: Meters for industrial applications

ICS: 17.120.10

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« اندازه‌گیری جریان سیال در مجاری بسته –جریان‌سنج‌های فراصوتی گاز - قسمت ۲: کنتورهای صنعتی»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
سخندانی، محمدرضا (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	رییس امور اندازه‌گیری و توزیع گاز- شرکت گاز استان آذربایجان شرقی
دبیر:	
ترکمن، لیلا (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	رییس ادارهٔ هماهنگی امور تدوین- اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسدی، علی‌رضا (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	کارشناس امور اندازه‌گیری و توزیع گاز- شرکت گاز استان آذربایجان شرقی
حنیفی‌نسب، محمدباقر (کارشناس مهندسی مکانیک)	کارشناس- ادارهٔ کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
رنجبر، سیدفرامرز (دکتری مهندسی مکانیک)	عضو هیئت علمی- دانشگاه تبریز
طسوجی‌آذر، رضا (دکتری مهندسی مکانیک)	کارشناس‌ارشد فنی- شرکت نفت و گاز پارس عسلویه
فرهمند، مسعود (کارشناسی مهندسی برق)	شرکت آتش‌سو
فولادپنجه، اکبر (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	کارشناس- ادارهٔ کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
قهرمانی، بهروز (کارشناسی مهندسی مکانیک)	مهندس نگه‌داری- شرکت گاز استان آذربایجان شرقی
نجفی بناب، یونس (کارشناسی مهندسی مکانیک)	رییس بهره‌برداری مرکز- شرکت گاز استان آذزبایجان شرقی

ولیعهدی، سام
(کارشناسی مهندسی کامپیوتر)
مدیر عامل- شرکت همگام صنعت هورام

ویراستار:

حنیفی‌نسب، محمدباقر
(کارشناس مهندسی مکانیک)
ادارهٔ کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ح
مقدمه ط
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها ۲
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف ۲
۳-۲ نمادها و زیرنویس‌ها ۹
۳-۳ علائم اختصاری ۱۱
۴ اصول اندازه‌گیری ۱۲
۴-۱ جریان‌سنج‌های فراصوتی زمان گذار ۱۲
۴-۲ جریان‌سنج گاز خروجی یا مشعل ۱۴
۴-۳ عوامل موثر بر عملکرد ۱۴
۴-۴ تعریف انواع کلی ۱۵
۴-۵ تاثیر فشار و دما بر روی هندسهٔ جریان‌سنج ۲۲
۴-۶ تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری جریان‌سنج فراصوت ۲۲
۴-۷ طبقه‌بندی جریان‌سنج فراصوت ۲۲
۵ مشخصه‌های جریان‌سنج ۲۳
۵-۱ شاخص‌های عملکردی ۲۳
۵-۲ شرایط عملیاتی ۲۳
۵-۳ بدنهٔ جریان‌سنج، مواد و ساختمان ۲۴
۵-۴ اتصالات ۲۵
۵-۵ ابعاد ۲۵
۵-۶ پورت‌های فراصوت ۲۶

عنوان **صفحه**

۵-۷ انشعاب فشار ۲۶

۵-۸ شرط ضد غلتش ۲۶

۵-۹ آرام‌ساز جریان ۲۶

۵-۱۰ نشانه‌گذاری ۲۷

۵-۱۱ ترانسدیوسرها ۲۷

۵-۱۲ الکترونیک ۲۸

۵-۱۳ سخت‌افزارها و نرم‌افزارها ۲۹

۵-۱۴ توابع بازرسی و صحه‌گذاری ۳۰

۵-۱۵ عملیات و الزامات نصب ۳۱

۵-۱۶ الزامات نصب و ملاحظات پروفیل جریان ۳۴

۵-۱۷ به‌کارگیری و انتقال ۳۶

۶ آزمون و کالیبراسیون ۳۷

۶-۱ آزمون جریان و کالیبراسیون ۳۷

۶-۲ آزمون استاتیک برای نشت و فشار ۳۷

۶-۳ اندازه‌گیری‌های ابعادی ۳۷

۶-۴ آزمون دینامیک ۴۰

۶-۵ عیب‌یابی جریان‌سنج ۴۳

۶-۶ صحه‌گذاری در محل ۴۴

پیوست الف (الزامی)، یادداشت کاربردی ویژه بر روی مشخصات و نوفهٔ شیر ۴۷

کتابنامه ۵۶

پیش‌گفتار

استاندارد « اندازه‌گیری جریان سیال در مجاری بسته –جریان‌سنج‌های فراصوتی گاز - قسمت ۲: کنتورهای صنعتی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست و هشتاد و دومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۹۴/۱۱/۲۸ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 17089-2:2012, Measurement of fluid flow in closed conduits - Ultrasonic meters for gas - Part 2: Meters for industrial applications

مقدمه

جریان‌سنج‌های فراصوت (USMها)[1] برای اندازه‌گیری جریان گاز از سال ۲۰۰۰ میلادی به سرعت تجاری‌سازی شده‌اند و تبدیل به یکی از اولویت‌های جریان‌سنج برای کارهای عملیاتی، اندازه‌گیری حقوقی[2] و توزیع اختصاصی گاز تبدیل شده‌اند. علاوه بر تکرارپذیری بالا و درستی بالا، فناوری فراصوت، شامل ویژگی-های ذاتی مثل: افت فشار ناچیز، گستره‌پذیری بالا و توانایی کارکرد در جریان‌های نوسانی است.

جریان‌سنج‌های فراصوت می‌توانند اطلاعات عیب‌یابی خودکار جامعی را فراهم کنند که نه تنها می‌توان از آنها برای بررسی و عملکرد جریان‌سنج استفاده کرد، بلکه می‌توان عملکرد سایر تجهیزات این سامانه، از قبیل کروماتوگراف گازی و ترنسمیترهای دما و فشاررا بررسی کرد. به دلیل توانایی‌های عیب‌یابی جامع، این استاندارد، از افزودن و استفاده از عیب‌یاب‌های خودکار به جای بررسی کیفیت توسط نیروی انسانی حمایت می‌کند.

این استاندارد، بر روی سنجه‌های گازی برای کاربردهای صنعتی (کلاس ۳ و کلاس ۴) متمرکز می‌شود. جریان‌سنج‌هایی برای اندازه‌گیری حقوقی گاز و استقرار اندازه‌گیری تخصیص موضوع این استاندارد می‌باشند. نوعی از فاکتورهای عملکرد طرح طبقه‌بندی به شرح زیرند:

کلاس	کاربردهای نوعی	عدم قطعیت نوعی ٪۹۵ سطح اطمینان (آهنگ حجمی جریان)[a]	مرجع
۱	اندازه‌گیری حقوقی گاز	٪ ۰٫۷ ±	ISO 17089-1
۲	اختصاصی	٪ ۱٫۵ ±	ISO 17089-1
۳	کاربردهای توزیع عمومی و فرایندی	٪ ۱٫۵ ± تا ٪۵ برای $q_V > q_{V,t}$[b]	این استاندارد
۴	گاز مشعل و گاز تخلیه	٪ ۵ ± تا ٪۱۰ برای $q_V > q_{V,t}$	این استاندارد

a عملکرد جریان‌سنج، شامل عدم قطعیت کل سنجه، تکرارپذیری، تفکیک‌پذیری و بیشینه خطای پیک تا پیک، به تعدادی از فاکتورها، شامل قطر داخلی لوله، طول مسیر اکوستیک، تعداد مسیرهای اکوستیک، مخلوط گاز و سرعت صوت، و تکرارپذیری زمانی جریان‌سنج، بستگی دارد.

b در آرام‌سازی ویژهٔ جریان یا هنگامی که سنجه‌های چندمسیره به کار می‌روند، ممکن است عدم قطعیت‌های پایین‌تر حاصل شود.

یادآوری(های) کاربردی ویژهٔ نشان داده شده در بند ۷ و اطلاعات داخل پرانتز اطلاعاتی هستند.

1 - Ultrasonic meters
2 - Custody transfer

اندازه‌گیری جریان سیال در مجاری بسته– سنجه‌های فراصوتی برای گاز– قسمت ۲: سنجه‌ها برای کاربردهای صنعتی

مهم - فایل الکترونیکی این استاندارد رنگی می‌باشد که برای درک صحیح استاندارد مفید است. بنابراین بهتر است کاربران هنگام چاپ این استاندارد، از چاپ‌گر رنگی استفاده کنند.

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات و توصیه‌هایی برای جریان‌سنج‌های فراصوت است که سیگنال‌های اکوستیک را برای اندازه‌گیری جریان در فاز گازی و مجاری بسته مورد استفاده قرار می‌دهد.
این استاندارد، برای جریان‌سنج‌های فراصوت با روش زمان گذار[1] قابل استفاده است و روی اندازه‌گیری صنعتی جریان متمرکز می‌شود و شامل بدنهٔ جریان‌سنج و جریان‌سنج‌هایی با مبدل‌های نصب‌شونده در محل می‌باشد.
هیچ محدودیتی برای اندازهٔ جریان‌سنج وجود ندارد. جریان‌سنج می‌تواند برای اندازه‌گیری تقریباً هر نوع گازی به کار رود؛ مانند هوا، گازهای هیدروکربنی، و بخار، اما فقط محدود به این موارد نمی‌شود.
این استاندارد، عملکرد، کالیبراسیون (در صورت نیاز) و مشخصه‌های خروجی جریان‌سنج‌های فراصوت را برای اندازه‌گیری جریان گاز تعیین می‌کند و به شرایط نصب وابسته است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.
در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.
استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:
۲-۱ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۰۳۳۰، اندازه‌گیری جریان سیال در مجاری بسته - واژگان و نمادها

1 - Transit time USMs

۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها

۳-۱ اصطلاحات و تعاریف

۳-۱-۱ کلیات

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه‌شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۰۳۳۰، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.

۳-۱-۲ کمیت‌ها

۳-۱-۲-۱

آهنگ حجمی جریان

q_V

volume flow rate

$$q_V = \frac{dV}{dt}$$

که در آن:

V حجم؛ و

t زمان؛

یادآوری- مطابق با زیربند ۴-۳۰ استاندارد ۴-۹۸۱۹ (مرجع [۸] کتاب‌نامه).

۳-۱-۲-۱-۱

آهنگ واقعی جریان

actual flow rate

حجم سیال بر حسب زمان در شرایط اندازه‌گیری؛

۳-۱-۲-۱-۲

آهنگ تصحیح‌شدهٔ جریان

corrected flow rate

حجم سیال بر زمان که در شرایط سنجش اندازه‌گیری‌شده و به حجم معادل در شرایط مبنا تبدیل‌شده است؛

۳-۱-۲-۲

نشان‌دهی

indication

آهنگ جریان نشان‌داده‌شده به وسیلهٔ جریان‌سنج؛

۳-۱-۲-۳

گسترهٔ کاری

working range

مجموعهٔ مقادیر کمیت‌های هم‌نوع که می‌تواند به وسیلهٔ ابزار معین یا سیستم اندازه‌گیری با عدم قطعیت ابزاری معین، تحت شرایط تعریف شده اندازه‌گیری شود؛

یادآوری ۱ - مطابق با زیربند 4.7 استاندارد ISO/IEC Guide 99:2007 ,"working interval" .

یادآوری ۲ – در این استاندارد "مجموعهٔ مقادیر کمیت‌های هم‌نوع"آهنگ‌های حجمی جریان هستند که مقادیرشان به آهنگ جریان بیشینه، $q_{V,max}$، و آهنگ جریان کمینه، $q_{V,min}$ محدود می‌شود؛ "ابزار اندازه‌گیری معین" جریان‌سنج است.

یادآوری ۳- اغلب عبارت‌های "گستره‌پذیری" و رد[1] در برگه‌های اطلاعات جریان سنج در ارتباط با گسترهٔ کاری جریان‌سنج مشاهده می‌شوند. این تعاریف گاهی به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، گرچه مفهوم دقیق آن‌ها متفاوت است و ممکن است همان معنی گسترهٔ کاری را ندهد. برای مثال، گستره‌پذیری یک جریان‌سنج معین از بیشینه جریان قابل اندازه‌گیری تقسیم بر کمینه جریان قابل اندازه‌گیری ممکن، به دست می‌آید.

۳-۱-۲-۴

فشار اندازه‌گیری، p

metering pressure

فشار مطلق گاز جریان‌سنج در شرایط جریان که به حجم نشان‌داده‌شدهٔ گاز مرتبط است؛

1 - Turndown

۳-۱-۲-۵

سرعت متوسط، v

average velocity

آهنگ حجمی جریان تقسیم بر سطح مقطع؛

۳-۱-۳ طراحی جریان‌سنج

۳-۱-۳-۱

بدنهٔ جریان‌سنج

meter body

سازهٔ تحت فشار جریان‌سنج؛

۳-۱-۳-۲

مسیر اکوستیک

acoustic path

مسیر طی شده توسط یک موج اکوستیک بین یک جفت مبدل فراصوت[1]؛

۳-۱-۳-۳

مسیر محوری

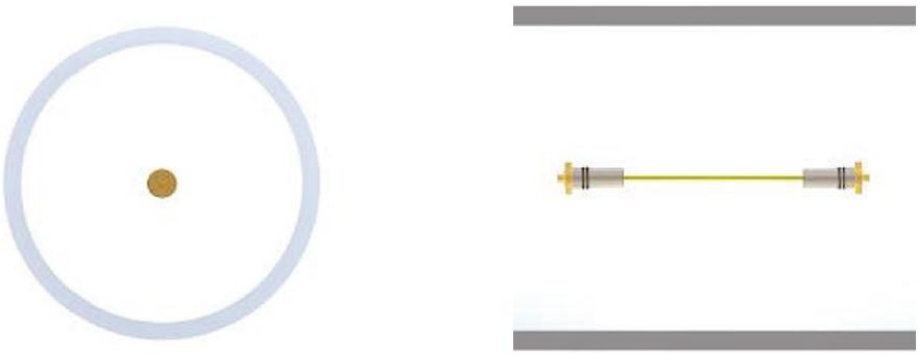
axial path

مسیر طی‌شده توسط یک موج اکوستیک در جهت محور لولهٔ اصلی؛

یادآوری- مسیر محوری می‌تواند هم روی و هم موازی خط مرکزی یا محور طولی لوله باشد.

به شکل ۱ رجوع شود.

1 - Ultrasonic transducers



شکل ۱ - مسیر محوری

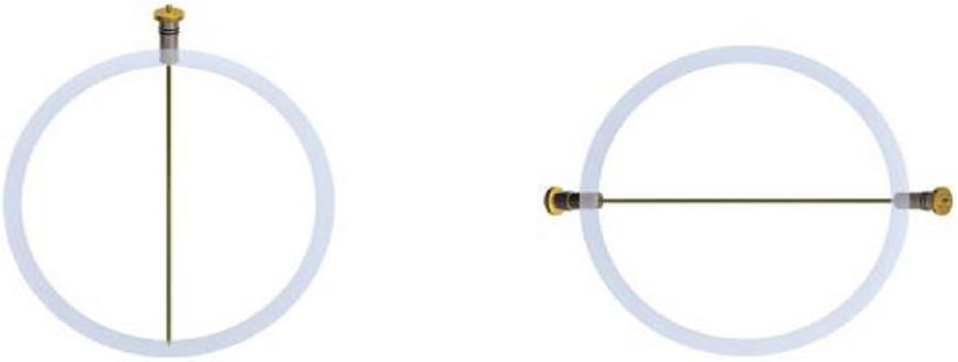
۴-۳-۱-۳

مسیر قطری

diametrical path

مسیر اکوستیک که به وسیلهٔ آن، موج اکوستیک از میان خط مرکزی یا محور طولی لوله عبور می‌کند؛

به شکل ۲ رجوع شود.



شکل ۲ - مسیر قطری

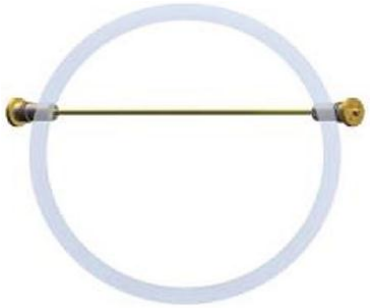
۵-۳-۱-۳

مسیر وتری

chordal path

مسیر اکوستیک که به وسیلهٔ آن، موج اکوستیک موازی با مسیر قطری عبور می‌کند؛

به شکل ۳ رجوع شود.



شکل ۳ - مسیر وتری

۳-۱-۴ شرایط ترمودینامیکی

۳-۱-۴-۱

شرایط اندازه‌گیری

metering conditions

شرایط سیال، در نقطهٔ اندازه‌گیری، که حجم آن باید اندازه‌گیری شود؛

یادآوری ۱- شرایط اندازه‌گیری، شامل مخلوط گاز، دما، و فشار که به عنوان شرایط تصحیح‌نشده نیز شناخته شده است.

یادآوری ۲- مطابق با زیربند ۳-۱-۶ استاندارد ۸۹۵۱: سال ۱۳۸۵.

۳-۱-۴-۲

شرایط مبنا

base conditions

شرایطی که حجم اندازه‌گیری‌شدهٔ گاز به آن شرایط تبدیل می‌شود؛

یادآوری ۱- شرایط مبنا شامل دما و فشار مبنا می‌باشد.

یادآوری ۲- مطابق با زیربند 3.1.7 استاندارد ISO 9951:1993.

یادآوری ۳- گزینه‌های ترجیحی عبارت از شرایط مرجع، شرایط استاندارد، شرایط نرمال می‌باشد.

یادآوری ۴- شرایط اندازه‌گیری و مبنا فقط به حجم گاز اندازه‌گیری یا نشان‌داده‌شده بستگی دارد و نباید با شرایط عملیاتی اسمی و مرجع اشتباه شود (به زیربند 4.9 و 4.11 استانداردISO/IEC Guide 99:2007 رجوع شود)، که به کمیت‌های تأثیرگذار اشاره می‌کند (به زیربند 2.52 استانداردISO/IEC Guide 99:2007 رجوع شود).

۳-۴-۱-۳

شرایط خاص

شرایط سیال که در آن ویژگی‌های عملکردی جریان‌سنج داده شده است؛

یادآوری- مطابق با زیربند 3.1.8 استاندارد ISO 9951:1993.

۳-۱-۵ آمار

۳-۱-۵-۱

خطای اندازه‌گیری
خطا در اندازه‌گیری
خطا

measurement error
error of measurement
error

مقدار کمیت اندازه‌گیری‌شده منهای مقدار کمیت مرجع؛

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.16]

مثال- اختلاف بین شاخص سنجهٔ تحت آزمون و شاخص اندازه‌گیری مرجع است.

۳-۱-۵-۲

منحنی خطا

error curve

منحنی پیوسته (مثلاً چندجمله‌ای) که با مجموعهٔ داده‌های خطا، به عنوان تابعی از جریان‌سنج مرجع مطابقت داده شده است؛

۳-۱-۵-۳

بیشینه خطای پیک تا پیک

maximum peak-to-peak error

بیشینه اختلاف بین هر دو مقدار خطا؛

۳-۱-۵-۴

تکرارپذیری

repeatability

دقت اندازه‌گیری تحت یک مجموعه از شرایط تکرارپذیر اندازه‌گیری؛

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.21]

مثال- نزدیکی مقادیر اعلام‌شده تعدادی از اندازه‌گیری‌های متوالی خروجی سنجهٔ آزمون برای همان آهنگ مرجع تحت همان شرایط اندازه‌گیری.

یادآوری- تکرارپذیری با ٪۹۵ فاصلهٔ اطمینان خطا متناظر است.

۳-۱-۵-۵

تفکیک‌پذیری

resolution

کوچک‌ترین فاصلهٔ نشان‌دهی یک جریان‌سنج که قابل تشخیص باشد؛

یادآوری- مطابق با زیربند 3.28 استاندارد ISO 11631:1998.

۳-۱-۵-۶

فاصلهٔ نمونه‌گیری سرعت

velocity sampling interval

بازهٔ زمانی بین دو اندازه‌گیری متوالی سرعت گاز؛

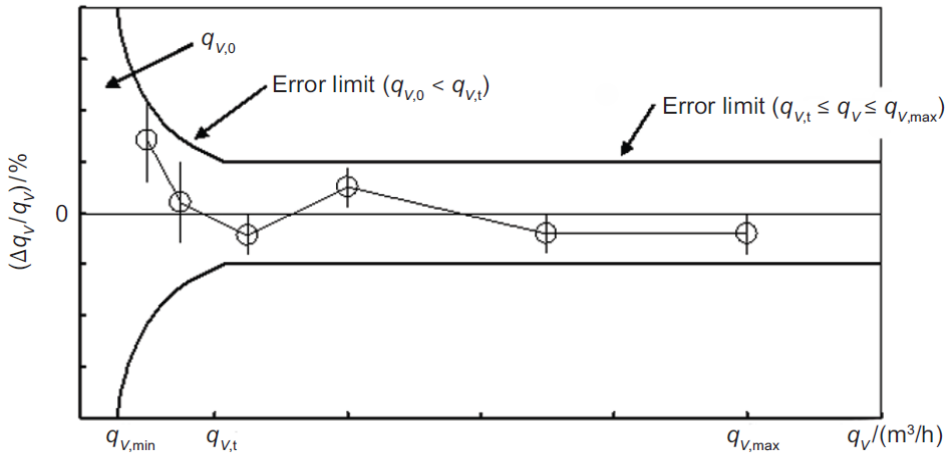
۳-۱-۵-۷

قرائت جریان صفر

zero flow reading

نشان‌دهی جریان‌سنج زمانی‌که گاز در حال سکون است، هنگامی که هم مولفه‌های سرعت محوری و هم غیرمحوری صفر می‌باشد.

شکل ۴ آهنگ‌های جریان را در ارتباط با بودجهٔ عدم قطعیت نشان می‌دهد.



شکل ۴ - نوعی منحنی خطا به عنوان تابع آهنگ جریان

۳-۲ نمادها و زیرنویس‌ها

نمادها و زیرنویس‌های به کار رفته در این استاندارد در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. مثالی از استفاده‌های نماد آهنگ حجمی جریان در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱ - نمادها

کمیت	نماد	ابعاد	واحد SI
مساحت سطح مقطع	A	L^2	m^2
سرعت صوت در سیال	c	LT^{-1}	m/s
قطر داخلی بدنهٔ جریان‌سنج	D	L	m
ضرایب وزنی (ورودی‌های مؤثر)	f_i	1^b	-
اعداد صحیح (۱،۲،۳،...)	i,n	1^b	-
ضریب درجه‌بندی	K	1^b	-
ضریب تصحیح پروفیل جریان	k_n	1^b	-
نوفه شیر	$L_{p,N,v}$	1^b	dB
طول مسیر	lp	L	m
ضریب میرایی	N_d	1^b	-
ضریب وزنی شیر	N_v	1^b	-
تعداد نمونه‌های به کار رفته در پردازش سیگنال	n_s	1^b	-
فشار مطلق	p	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
فشار اکوستیک منتشر شده	pn	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
اختلاف فشار	Δp	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
آهنگ جرمی جریان	q_m	MT^{-1}	kg/s
آهنگ حجمی جریان	q_V	L^3T^{-1}	m^3/s
زمان گذار	t	T	s
سرعت متوسط	v	LT^{-1}	m/s
سرعت مسیر iام اکوستیکی	v_i	LT^{-1}	m/s
ضرایب وزنی (مقدار ثابت)	w_i	1^b	-
زاویهٔ مسیر	□	-	rad
چگالی سیال	ρ	ML^{-3}	kg/m^3

M : جرم ، L : طول ، T : زمان ، □ : دما.

b کمیت بدون بعد

جدول ۲ - زیرنویس‌ها

زیرنویس	معنی
Min	کمینه
Max	بیشینه
t	گذار

جدول ۳ - مثالی از نمادهای آهنگ جریان

نماد	معنی
$q_{V,max}$	بیشینه آهنگ جریان طراحی
$q_{V,min}$	کمینه آهنگ جریان طراحی
$q_{V,t}$	آهنگ جریان گذار برای تعریف الزامات درستی

۳-۳ علائم اختصاری

ES سیستم الکترونیکی

FAT آزمون پذیرش کارخانه

FC آرام‌ساز جریان

MSOS سرعت اندازه‌گیری‌شدهٔ صوت

SNR نسبت سیگنال به نوفه

SOS سرعت صوت

TSOS سرعت تئوری صوت

USM جریان‌سنج فراصوت

USMP بستهٔ جریان‌سنج، شامل لولهٔ بالادستی، آرام‌ساز جریان و چاهک دما برای جریان‌سنج‌های دوجهته[1].

1 - Bi-directional

۴ اصول اندازه‌گیری

۴-۱ جریان‌سنج‌های فراصوت زمان گذار

شکل ۵ تنظیم سیستم اساسی برای نشان دادن اصول زمان گذار ارائه می‌دهد. یک جفت مبدل قادر به انتقال و دریافت پالس‌های فراصوت روی هر دو سمت لوله در موقعیت‌های A و B قرار می‌گیرد. مبدل‌ها به صورت متوالی پالس‌ها را انتقال و دریافت می‌کنند. تحت شرایط جریان صفر، زمان طی‌شده برای یک پالس فراصوت برای عبور از A به B، t_{AB}، برابر با مقدار از B تا A، t_{BA} می‌باشد، و تفاوتی در زمان وجود ندارد.

هنگامی که یک جریان معرفی می‌شود، پالس فراصوت از A تا B به جریان کمک می‌کند و نتیجتاً زمان طی شده کاهش می‌یابد. به علاوه، پالس از B تا A با جریان مخالف است و متعاقباً زمان طی شده افزایش می‌یابد. اختلاف اندازه‌گیری‌شدهٔ منتجه در زمان گذار به طور مستقیم متناسب با سرعت محوری گاز جریان یافته می‌باشد، به شرطی که فاصلهٔ بین مبدل‌ها مشخص باشد، سرعت گاز محوری عبوری بین مبدل A و B می‌تواند اندازه‌گیری شود. با صرفنظر از تأثیرات مرتبهٔ دوم مثل انحنای مسیر، زمان‌های حرکت پالس اکوستیک، t_{AB} و t_{BA}، می‌توانند با رابطهٔ زیر ارائه شوند:

$$t_{AB} = \frac{l_p}{(c + \upsilon \cos\phi)} \qquad (۱)$$

و

$$t_{BA} = \frac{l_p}{(c - \upsilon \cos\phi)} \qquad (۲)$$

که در آن:

l_p طول مسیر؛

c سرعت صوت (SOS) در گاز؛

υ سرعت متوسط گاز؛

ϕ زاویهٔ مسیر است.

فرمول (۳) برای سرعت گاز اندازه‌گیری‌شده می‌تواند با کسر فرمول (۲) از فرمول (۱) به دست آید:

$$\upsilon = \frac{l_p}{2\cos\phi}\left(\frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}}\right) \qquad (۳)$$

در فرمول (۳)، عبارت برای SOS در گاز حذف شده است. این بدان معنی است که اندازه‌گیری سرعت گاز مستقل از ویژگی‌های گاز مانند فشار، دما و مخلوط گاز می‌باشد. با این حال، اگر ترانسدیوسرها[1] پس‌رفتی داشته باشند[2]، ممکن است تأثیر اضافی وابسته به SOS، وجود داشته باشد.

به روشی مشابه، SOS با اضافه کردن فرمول (۱) و فرمول (۲) به دست می‌آید:

$$c = \frac{l_p}{2}\left(\frac{1}{t_{AB}} + \frac{1}{t_{BA}}\right) \qquad (۴)$$

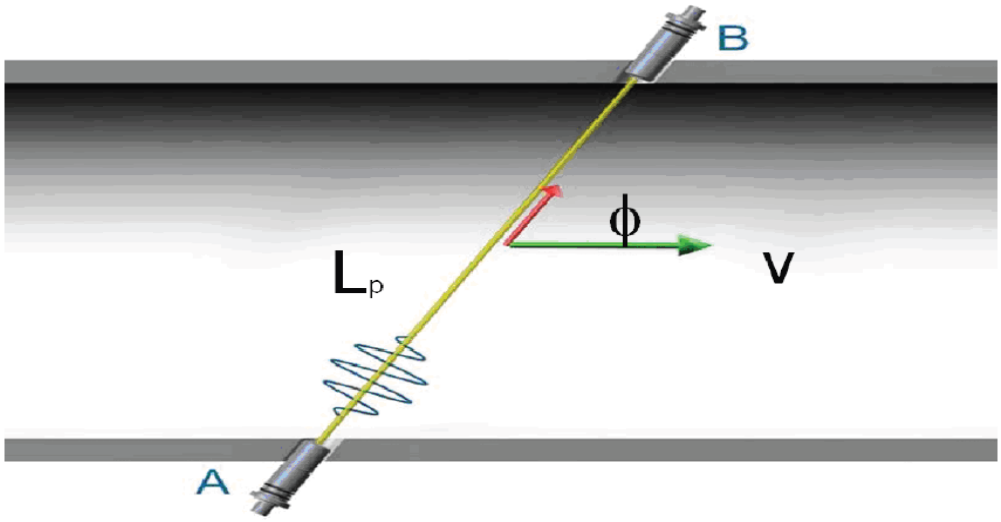
در جریان‌سنج‌های چندمسیره، اندازه‌گیری‌های سرعت مسیر تکی با یک تابع ریاضی برای تخمین سرعت متوسط لوله ترکیب می‌شوند:

$$v = f\ (v_1 \ldots v_n) \qquad (۵)$$

که در آن n کل تعداد مسیرها می‌باشد. به دلیل تغییرات در پیکربندی مسیر و روش‌های اختصاصی مختلف حل فرمول (۵)، حتی برای تعدادی از مسیرهای داده‌شده، شکل دقیق $f(v_1 \ldots v_n)$ می‌تواند تغییر کند.

برای به دست آوردن آهنگ حجمی سیال، q_V، تخمین سرعت متوسط لوله، v، به مساحت سطح مقطع اندازه‌گیری، A، به صورت زیر ضرب می‌شود:

$$q_V = A\,v \qquad (۶)$$



شکل ۵ - تنظیم سیستم مبنا

1 - Transducers
2 - Recessed

۴-۲ جریان‌سنج گاز خروجی یا مشعل

علاوه بر جریان‌سنج‌های کلاس ۱، ۲، و ۳، جریانسنج‌های زمان گذار فراصوت به طور وسیع در کلاس ۴ اندازه‌گیری گاز خروجی یا مشعل نیز به کار می‌روند. اگرچه کاربرد خیلی متفاوت با کاربردهای مرتبط با کلاس ۱، ۲ یا ۳ می‌باشد، اصول زمان گذار ارائه شده در بالا هنوز قابل کاربرد است.

اندازهٔ قطر لوله‌های به کار رفته برای سیستم‌های خروجی و مشعل در پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های صنایع شیمیایی یا بر روی سکوهای استخراج می‌تواند خیلی بزرگ باشد و ترکیب و شرایط فرایند گاز خروجی یا مشعل اساساً بین شرایط حالت پایا و شرایط آشفتگی[1] تغییر می‌کند. تغییرات سریع در فشار، دما، مخلوط گاز و سرعت جریان، مکرراً به عنوان نتیجه‌ای از آشفتگی در تأسیسات یا فرایند اتفاق می‌افتد. کاربر باید اطمینان یابد که جریان‌سنج فراصوت خریداری شده برای کار در مشعل گاز طراحی شده است تا چنین شرایطی را سازگار کند. علاوه بر این ورودی‌های دما و فشار برای به دست آمدن جریان حجمی استاندارد مورد نیاز می‌باشند و این امر ممکن است یک الزام برای گزارش انتشار یا حتی مجوز عملیاتی باشد. الزام بیشتر برای موازنهٔ جرمی تأسیسات و کنترل تزریق بخار برای نوک مشعل، محاسبهٔ جریان جرمی می‌باشد. ممکن است برخی از جریان‌سنج‌های فراصوت الگوریتم‌های اختصاصی به کار گیرند که از MSOS و ورودی‌های دما و فشار مطلق گاز برای اشاره به وزن مولکولی متوسط، و بنابراین جریان جرمی استفاده می‌کنند.

به کاربر توصیه می‌شود با سازندهٔ جریان‌سنج فراصوت بررسی کند که مخلوط گاز، فشار و دمای فرایند با هر وزن مولکولی یا الگوریتم‌های جریان جرمی شامل تمام گسترهٔ مورد انتظار این متغیرهای فرایند، سازگار باقی بماند.

۴-۳ عوامل موثر بر عملکرد

عملکرد جریان‌سنج فراصوت به تعدادی از عوامل ذاتی[2] و خارجی[3] وابسته است.

عوامل ذاتی (به عنوان مثال، عواملی که به جریان‌سنج و کالیبراسیون اولیهٔ آن برای تحویل وابسته هستند) این عوامل شامل موارد زیر می‌باشند:

الف- هندسهٔ بدنهٔ جریان‌سنج و محل ترانسدیوسر فراصوت و عدم قطعیت با آن‌هایی که شناخته شده‌اند (شامل ضریب فشار و دما)؛

1 - Upset conditions
2 - Intrinsic
3 - Extrinsic

ب- درستی و کیفیت ترانسدیوسرها و اجزاء الکترونیکی به کار رفته در مدار اندازه‌گیری زمان گذار (به عنوان مثال، پایداری ساعت الکترونیکی)؛

پ- فنون به کار رفته برای آشکارسازی و محاسبهٔ زمان گذار سرعت متوسط (حساسیت جریان‌سنج به تغییرات توزیع سرعت جریان).

عوامل خارجی، به عنوان مثال عواملی که به شرایط محیطی و فرایندی کاربرد وابسته هستند، شامل موارد زیر است:

۱) پروفیل سرعت جریان؛

۲) توزیع دما؛

۳) نوسانات جریان؛

۴) صدا، اکوستیک و الکترومغناطیسی؛

۵) آلودگی مایع و جامد؛

۶) دما و فشار؛

۷) میرایی اکوستیک به وسیلهٔ گازهای خاص (مانند کربن دی‌اکسید)؛

۸) اثرات اکوستیک با گازهای خاص (مانند هیدروژن).

۴-۴ تعریف انواع کلی

۴-۴-۱ کلیات

تعریف کلی جریان‌سنج‌های فراصوت برای گازها، دامنهٔ کاربرد تغییرات در طراحی‌های تجاری و پتانسیل برای توسعه‌های جدید را مشخص می‌کند. برای توصیف، جریان‌سنج‌های فراصوت شامل چندین جزء، به شرح زیر در نظر گرفته می‌شوند:

الف- ترانسدیوسرها؛

ب- بدنهٔ جریان‌سنج با پیکربندی مسیر اکوستیک؛

پ- الکترونیک؛

ت- یک واحد پردازش و نمایش داده.

۲-۴-۴ ترانسدیوسرها

ترانسدیوسرها در جریان‌سنج فراصوت به عنوان یک جفت مشخصه‌های اکوستیک شناخته شده کار می‌کنند. هر ترانسدیوسر تکی شامل یک جزء اکوستیک با اتصالات الکتریکی و ساختار مکانیکی محافظ با اتصالات فرایندی ساخته‌شده، می‌باشد.

ممکن است در شرایطی که سیال خورنده باشد (تهاجمی نیز نامیده می‌شود) یا امکان برش و جایگذاری جریان‌سنج، به دلیل عدم امکان قطع گاز وجود نداشته باشد ترانسدیوسرها به جای نصب در کارخانه، به عنوان بخشی از بدنهٔ جریان‌سنج به عنوان بخشی از ارتقا به روی لولهٔ موجود و به صورت گیره‌ای در بیرون لوله بست زده‌شوند، که به این‌گونه جریان‌سنج‌ها گیره‌ای یا کِلَمپسی گفته می‌شود (همچنین غیرتهاجمی نیز نامیده می‌شوند).

الف- ترانسدیوسرهای مرطوب در تماس مستقیم با سیال هستند و ممکن است، به عنوان یک بخش مجتمع بدنهٔ جریان‌سنج، یا به طور جداگانه به عنوان بخشی از یک کیت نصب در محل جوش امن (بدون فشار)[1] یا هات‌تپ[2] آماده شوند، تا بر روی یک لولهٔ فرایند موجود ساخته شود.

ب- برای نصب جوش امن نیاز است که لولهٔ فرایند بیرون سرویس، مجزا، و خالی باشد، و برای برش و جوشکاری، امن در نظر گرفته شود.

پ- نصب یک هات‌تپ برخلاف نصب یک لولهٔ فرایند است در سرویس فعال است و بنابراین پر از سیال فرایند و در فشار و/یا دمای متفاوت با محیط و خطرناک، در نظر گرفته می‌شود. چنین نصبی به یک مکانیزم جاسازی ترانسدیوسر خاص نیاز دارد که آب‌بندی نشتی تحت فشار در فرایند طی عملیات قلاویزکردن سوراخ مورد نظر انجام دهد.

ت- شیرهای انسداد گاز[3] بر روی لوله‌های هات‌تپ و جوش امن به کار می‌رود تا به ترانسدیوسر امکان بدهد که با شیر باز شده جاسازی شود یا برداشته شود.

ممکن است برای مبدل ترانسدیوسرهای مرطوب لازم باشد که در داخل سوراخ بدنهٔ جریان‌سنج یا لولهٔ اصلی جاسازی شوند، شاید در شرایط اتمسفری یا فشار بسیار پایین. در این وضعیت، ترانسدیوسر تهاجمی[4] نامیده می‌شود.

1 - Cold-tap
2 - Hot-tap
3 - Spool
4 - Invasive

ممکن است، در قسمت‌هایی که ترانسدیوسر با سیال برخورد دارد، عواملی مانند تبرید یا دما و/یا فشار خیلی بالا برای ترانسدیوسر زیان‌آور باشد از یک ضربه‌گیر[1] برای جداسازی ترانسدیوسر از سیال فرایند استفاده می‌شود. در چنین طراحی ضربه‌گیری معمولا برای حفظ بی‌عیبی لوله در حالت حذف ترانسدیوسر لازم به کار می‌رود و حتی ممکن است برای گسترش انتقال اکوستیک در نقش یک موج‌بر[2] به کار رود.

ممکن است، ترانسدیوسرهای بست‌دار از فلز یا مواد ترکیبی ساخته شوند و توسط یک مهارکنندهٔ مناسب به لوله وصل شوند. دیوارهٔ لوله یک جزء جدایی‌ناپذیر جریان‌سنج است و نیاز است که مشخصه‌های اکوستیک مواد، ضخامت، شرایط داخلی و خارجی و موقعیت فلنج‌ها در نظر گرفته شوند. بیشینه زاویهٔ مسیر اکوستیک محدود می‌شود و به طور عمده با نسبت SOS بین مواد دیوارهٔ لوله و سیال تعیین می‌شود.

دیاگرام‌های نوعی ترانسدیوسرهای مرطوب، بست‌دار و ضربه‌گیر در شکل ۶ ارائه شده‌اند.

به دلیل گسترهٔ زیاد شرایط عملیاتی در صنعت، هیچ طراحی منحصربه‌فردی برای ترانسدیوسری که از لحاظ فنی و تجاری برای تمام موقعیت‌ها امکان‌پذیر است، وجود ندارد و بنابراین طراحی‌ها زیاد و متغیرند. از این‌رو، به کاربر توصیه می‌شود که از سازندهٔ جریان‌سنج فراصوت برای انتخاب صحیح ترانسدیوسر و توصیه‌های کاربرد، مشورت بگیرد.

۴-۴-۳ بدنهٔ جریان‌سنج و پیکربندی مسیر اکوستیک

۴-۴-۳-۱ کلیات

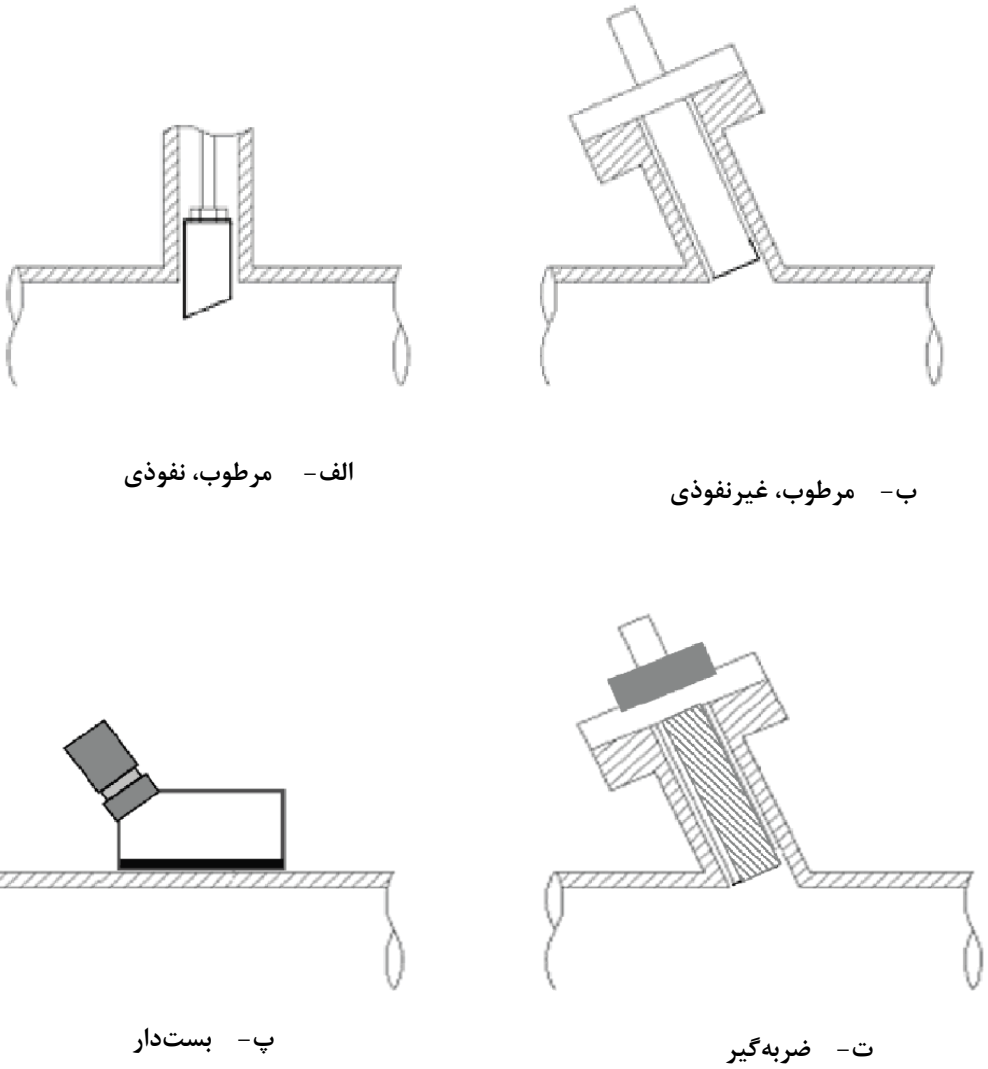
جریان‌سنج‌های فراصوت مرطوب و بست‌دار برای اندازه‌گیری گازها و بخارات در تنوع پیکربندی‌های تک‌مسیره و چندمسیره در دسترس هستند. تعداد مسیرهای اندازه‌گیری مورد نیاز و پیکربندی مسیرها، ممکن است به وسیلهٔ الزامات درستی یا هر تغییر پتانسیل در توزیع سرعت تحت تأثیر قرار گیرد.

علاوه بر تغییرات موقعیت شعاعی مسیرهای اندازه‌گیری در سطح مقطع، پیکربندی مسیر می‌تواند در جهت محور لوله تغییر یابد. با استفاده از انعکاس موج فراصوت از داخل بدنهٔ جریان‌سنج یا از یک بازتابنده ساخته‌شده، مسیر می‌تواند چندین بار سطح مقطع را قطع کند.

ممکن است، پیکربندی‌های چندمسیره، در صورتی که یک مسیر بی‌اثر شود، یک محافظ فراهم کنند. تنوع مسیرهای اندازه‌گیری را ارائه دهند. به طور جایگزین، آن‌ها مجاز هستند برای ارائهٔ عدم قطعیت اندازه‌گیری کاهش یافته بر روی کل گسترهٔ جریان به کار روند، یعنی مسیرهای اندازه‌گیری جریان کم‌فشار و مسیرهای اندازه‌گیری جریان پرفشار (مثلاً با پیش‌تنظیم زاویهٔ سرِ حس‌گر).

---

1 - Buffer
2 - Waveguide



الف- مرطوب، نفوذی

ب- مرطوب، غیرنفوذی

پ- بست‌دار

ت- ضربه‌گیر

شکل ۶ - آرایش نوعی ترانسدیوسر

۲-۳-۴-۴ پیکربندی مسیر مبنای اکوستیک

پیکربندی‌های معمول مسیر اکوستیک در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

ممکن است، پیکربندی‌های مسیر مطابق شکل ۷ ، توصیف شوند، به طوری که:

الف- مسیرهای قطری - مسیرهای در امتداد قطر لوله؛

ب- مسیرهای وتری - مسیرهایی که یک وتر از قطر لوله را دنبال می‌کنند؛

پ- مسیرهای برگشتی - مسیرهایی با یک انعکاس؛

ت- مسیرهای برگشتی - مسیرهای با بیش از یک انعکاس؛

ث- مسیر جزئی - مسیری که به صورت جزئی یک وتر از قطر لولهٔ دارای ترانسدیوسر های نفوذی را دنبال می‌کند؛

ج- مسیر جزئی - مسیری که به صورت جزئی یک وتر از قطر لوله، با تک پراب نصب‌شده را دنبال می‌کند.

۴-۴-۳-۳ فاکتورهای تصحیح پروفیل جریان، K_n

جریان‌سنج‌های فراصوت نسبت به تأثیرات پروفیل سرعت هم در شرایط جریان کاملاً توسعه یافته و هم در شرایط جریان مغشوش حساس هستند، در حالی که تجهیزات، سرعت متوسط را در کل سطح مقطع لوله با اندازه‌گیری سرعت متوسط در طول مسیر تخمین می‌زنند. حتی در جریان کاملاً توسعه‌یافته، مقدار ضریب اصلاح پروفیل، k_n، واحد نیست و به عدد رینولدز و زبری دیوارهٔ لوله بستگی دارد.

بسته به پیکربندی مسیر، ممکن است تصحیح بر اساس عدد رینولدز توسط سازنده در نظر گرفته شود یا نشود. در زمان استفاده، تصحیح مؤثر معمولاً به ورودی‌ها در طی انجام داده‌های گرانروی سیال فرایند بستگی دارد که از اطلاعات به دست‌آمده از عدد رینولدز می‌تواند محاسبه شود و به ضریب تصحیح بستگی دارد.

بهتر است از سازنده سؤال شود که آیا جهت توصیه شده‌ای برای جریان‌سنج در پیکربندی لولهٔ بالادست و شرایط عملیاتی شناخته شده برای تولید اعوجاج‌های پروفیل جریان، وجود دارد.

اگر پروفیل‌ها مغشوش شوند، فاکتور تصحیح پروفیل برای جریان کاملاً توسعه یافته قابل استفاده نیست. پروفیل جریان می‌تواند به دلیل پیکربندی کاری لولهٔ بالادست مثل خم‌ها، انبساط‌ها و انقباض‌ها و حضور شیرآلات و پمپ‌ها مغشوش شود.

۴-۴-۳-۴ جریان‌سنج‌ها با مسیرهایی در تغییرمکان‌های شعاعی چندگانه

در این جریان‌سنج‌ها، سرعت در موقعیت‌های شعاعی مختلف اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های متعددی می‌تواند هنگام ترکیب سرعت‌ها برای به دست آوردن سرعت متوسط لوله استفاده شود. این امر می‌تواند به صورت زیر طبقه‌بندی شود:

الف- جمع‌زنی با وزن‌دهی ثابت:

$$\upsilon = \sum_{i=1}^{n} w_i \upsilon_i \qquad (۷)$$

که تغییر مکان شعاعی مسیرها و وزن‌دهی‌های w_1 تا w_n بر اساس روش‌های انتگرال عددی مستند می‌شوند.

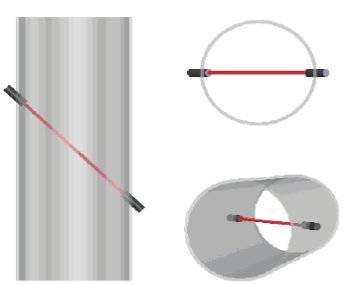
ب- جمع‌زنی با وزن‌دهی متغیر:

$$\upsilon = \sum_{i=1}^{n} f_i \upsilon_i \qquad (۸)$$

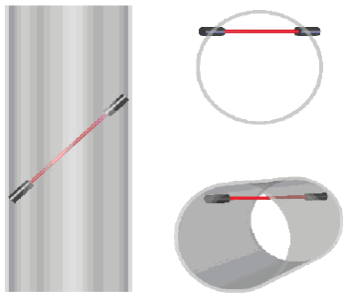
که تغییر مکان شعاعی مسیرها در طراحی و وزن‌دهی‌های f_1 تا f_n ممکن است از پارامترهای ورودی و/یا متغیرهای اندازه‌گیری شده (مثلاً سرعت‌ها) تشکیل شوند.

در هر کدام از پیکربندی‌های داده‌شده، یک ضریب جریان‌سنج، K (ثابت یا متغیر)، ممکن است بعد از جمع‌زنی برای تصحیح انحرافات ناشی از رواداری‌های ساخت، به کار رود:

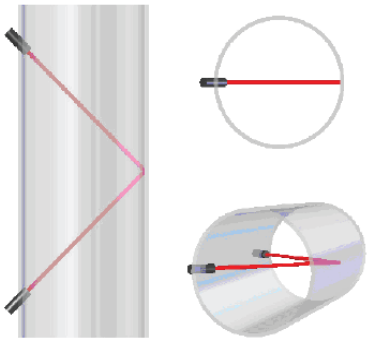
$$q_V = KA\upsilon \qquad (۹)$$



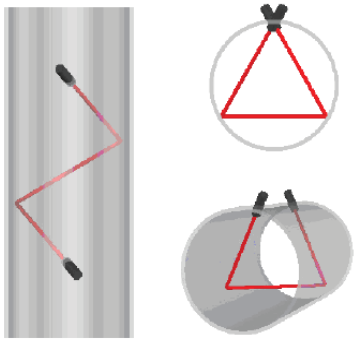
الف



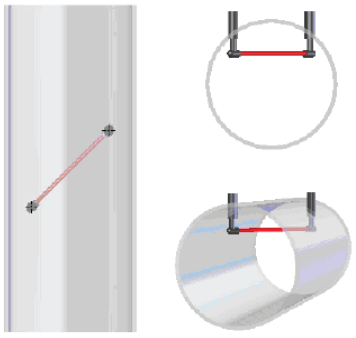
ب



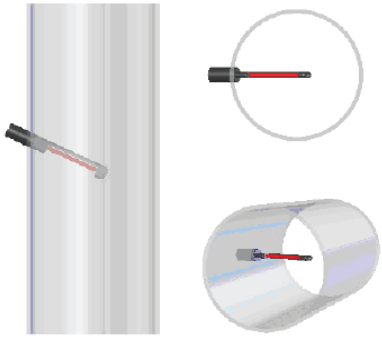
پ



ت



ث



ج

شکل ۷ - انواع مسیرهای اکوستیک مبنا برای جریان‌سنج‌های فراصوت (دید از روبرو و بالا)

یادآوری- هندسهٔ سه‌بعدی نمی‌تواند به‌خوبی نمایش داده شود.

۴-۵ تأثیر فشار و دما بر روی هندسهٔ جریان‌سنج

هنگامی که گسترهٔ بزرگی از دماها و فشارها پیش‌بینی می‌شود، بهتر است کاربر با سازنده مشورت کند (اگر نیاز باشد معادلات برای این استاندارد ارائه شده‌اند).

۴-۶ تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری جریان‌سنج فراصوت

عدم قطعیت اندازه‌گیری در محل[1] سیستم براساس جریان‌سنج فراصوت دارای:

الف- عدم قطعیت‌های تأییدی مرتبط با اندازه‌گیری‌های جریان‌سنج مثل:

۱) تأیید زمانی؛

۲) تأیید هندسی؛

ب- افزایش عدم قطعیت از اختلاف‌های بین شرایط فرایند و شرایط تحت اندازه‌گیری‌هایی که آزمون شده و اندازه‌گیری شده‌اند، شامل مواردی که تابعی از تصحیح یا جبران فشار و دما، شرایط جریان، مشخصه‌های سیال یا آلودگی هستند؛

پ- عدم قطعیت‌های مرتبط با تجهیزات ثانویه، مثل انتقال‌دهنده‌های دما و فشار، اندازه‌گیری مخلوط گاز و رایانه‌های جریان.

علاوه بر آن برای جریان‌سنج‌های بست‌دار:

ت- ماده و ابعاد لوله؛

ث- نصب ترانسدیوسرها؛

ج- شرایط سطح دیوارهٔ خارجی و داخلی لوله.

هنگامی که آنالیز عدم قطعیت سیستم مورد نیاز باشد، برای راهنمایی‌های لازم می‌توانید به استاندارد INSO- ISO 5168 و/ یا استاندارد ISO/IEC Guide 98-3 رجوع کنید.

۴-۷ طبقه‌بندی جریان‌سنج فراصوت

برای کمک به کاربر در انتخاب جریان‌سنج بر اساس عدم قطعیت کلی مورد نیاز برای اندازه‌گیری، جریان‌سنج فراصوت می‌تواند طبقه‌بندی شود. این فرایند شامل تقسیم جریان‌سنج‌های موجود به کلاس‌های عملکرد، مطابق جدول ۴ می‌شود. علاوه بر این، کلاس‌های دیگر مربوط به کاربردهای دیگر اندازه‌گیری به همراه جزئیات (اندازه‌گیری حقوقی یا اندازه‌گیری عملیاتی) در این استاندارد وجود دارند.

1 - *In situ*

جدول ۴ - طبقه‌بندی جریان‌سنج فراصوت

کلاس	کاربردهای نوعی	عدم قطعیت نوعی٪۹۵ سطح اطمینان (آهنگ جریان حجمی)[a]
۳	فرایند، امکانات یا سوخت گازی	بین ٪۱٫۵± تا ٪۵ برای $q_V > q_{V,t}$ با آرام‌سازی ویژهٔ جریان یا هنگامی که جریان‌سنج‌های چندمسیره به کار گرفته می‌شوند، عدم قطعیت‌های پایین‌تر می‌توانند حاصل شوند
۴	پایش انتشار گاز خروجی یا مشعل	بین ٪۵± تا ٪۱۰ برای $q_V > q_{V,t}$

a عملکرد جریان‌سنج، شامل کل عدم قطعیت جریان‌سنج، تکرارپذیری، تفکیک‌پذیری، و بیشینه خطای پیک تا پیک بستگی دارد. تعدادی از عوامل، شامل ضرایب قطر داخلی لوله، طول مسیر اکوستیک، تعداد مسیرهای اکوستیک، مخلوط گاز و SOS، و تکرارپذیری زمانی جریان‌سنج می‌باشند.

کلاس‌های توضیح داده‌شده در این استاندارد، دو مشخصهٔ اندازه‌گیری مختلف رایج در صنعت را نشان می‌دهند. بسته به اهمیت اندازه‌گیری، به ترتیب با نیازهای عملیاتی، کل بودجهٔ عدم قطعیت برای سیستم اندازه‌گیری کامل متفاوت با (بزرگ‌تر از) جریان‌سنج است.

۵ مشخصه‌های جریان‌سنج

۵-۱ شاخص‌های عملکردی

سازنده باید تکرارپذیری و بیشینه خطای پیک تا پیک را بر روی گسترهٔ اندازه‌گیری بالای $q_{V,t}$ تعیین کند.

۵-۲ شرایط عملیاتی

۵-۲-۱ آهنگ حجمی جریان و سرعت سیال

بیشینه و کمینه آهنگ حجمی جریان باید تعیین شود.

۵-۲-۲ کلاس‌های فشار

ترانسدیوسرهای فراصوت به کار برده شده در جریان‌سنج‌های فراصوت برای اطمینان از جفت‌شدگی اکوستیک پالس‌های صوتی به/از سیال به یک چگالی کمینه نیاز دارند. بنابراین، فشار عملیاتی کمینه و بیشینهٔ مورد انتظار باید تعیین شود.

۵-۲-۳ دما

سازنده یا تأمین‌کننده باید گستره دمای محیطی و عملیاتی را که مناسب تجهیزات است، را پیشنهاد کند.

۵-۲-۴ کیفیت گاز

جریان‌سنج باید در درون محدوده‌های درستی مربوط و برای سنجش جریان همهٔ گازهایی که جریان‌سنج برای آنها در نظر گرفته‌شده است، کار کند.

حضور بعضی از ترکیبات در گاز می‌تواند بر روی عملکرد جریان‌سنج تأثیر گذارد. علی‌الخصوص درصد بالای کربن‌دی‌اکسید و هیدروژن در مخلوط گازی می‌تواند کارکرد جریان‌سنج فراصوت را از نقطه‌نظر خاصیت جذب اکوستیک، تحت تأثیر قرار دهد و حتی مانع آن شود.

اگر هرکدام از موارد زیر مورد انتظار باشد، توصیه می‌شود از سازنده مشورت گرفته شود:

الف- در حضور گازهای تضعیف‌کننده (انتقال موج اکوستیک)، مانند کربن‌دی‌اکسید و هیدروژن؛

ب- در شرایط عملیاتی نزدیک به نقطهٔ بحرانی مخلوط گازی؛

پ- در حضور گازهای غیرهیدروکربنی و زمانی که از سرعت صوت برای تعیین وزن مولکولی استفاده می‌شود؛

ت- هنگامی که کل سطح گوگرد، شامل مرکاپتان (الکل گوگرددار) (تیول)، هیدروژن سولفید و عنصرگوگرد، از ۳۲۰ µmol/mol بیشتر شود؛

ث- هنگامی که امکان ردشدن فاز مایع از جداکننده‌ها[1] و اسکرابرها[2] وجود دارد؛

ج- رسوبات نمک.

رسوباتی که ممکن است در یک خط لولهٔ فرایندی (مانند میعانات، گلیکول، آمین‌ها، بازدارنده‌ها، آب یا اثر نفت مخلوط‌شده به صورت ریز، آلودگی‌ها و ماسه) موجود باشند، با کاهش مساحت سطح مقطع جریان‌سنج و به وسیلهٔ کاهش طول مسیر مؤثر اکوستیک، درستی جریان‌سنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۵-۳ بدنهٔ جریان‌سنج، مواد و ساختمان

۵-۳-۱ کلیات

این زیربند، فقط برای جریان‌سنج‌های تحویل و نصب‌شده با یک بدنه اعمال می‌شود. برای ترانسدیوسرهای نصب‌شده در محل، برای مشخص شدن الزامات نصب با سازنده تماس گرفته شود.

1 - Separators
2 - Scrubbers

۵-۳-۲ مواد

بدنهٔ جریان‌سنج باید از مواد مناسب برای شرایط کارکرد ساخته شود، این شرایط شامل دما، فشار، و مخلوط گاز سیالی می‌باشد که جریان‌سنج برای سنجش دبی آن به کار می‌رود. توصیه می‌شود، توجه ویژه‌ای به مقاومت خوردگی بدنهٔ جریان‌سنج اعمال شود. سطوح بیرونی جریان‌سنج باید در برابر خوردگی محیطی محافظت شوند. عایق‌کاری بدنهٔ جریان‌سنج، خارج از دامنهٔ کاربرد این استاندارد می‌باشد.

۵-۳-۳ بدنهٔ جریان‌سنج

توصیه می‌شود، بدنهٔ جریان‌سنج و تمام قسمت‌های دیگر بارگذاری‌شده و/یا در معرض جریان، مطابق با استانداردهای بین‌المللی پذیرفته شده یا براساس روش مهندسی صوت مورد توافق بین سازنده و کاربر جریان‌سنج، ساخته شود. توصیه می‌شود، هنگامی که بدنهٔ جریان‌سنج به خط لوله جوش‌کاری شود توجه ویژه‌ای اعمال شود.

۵-۴ اتصالات

اتصالات درونی و بیرونی جریان‌سنج باید با استانداردهای به رسمیت شناخته‌شده نظیر ANSI/ASME (کلاس ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰، و غیره)، DIN، EN و JIS سازگار باشد. بدنهٔ جریان‌سنجی که به خط لوله جوش‌کاری می‌شود، سرهای جوشکاری‌شده باید با استانداردهای به رسمیت شناخته‌شده (مانند ANSI) سازگار باشد یا باید توافقی بین سازنده و کاربر جریان‌سنج در این‌خصوص صورت بگیرد.

۵-۵ ابعاد

توصیه می‌شود، فلنج ورودی جریان‌سنج دارای همان قطر داخلی خط لولهٔ مجاور با رواداری ٪۳± باشد. توصیه می‌شود، هر مرحله تغییر در اندازهٔ ورودی جریان‌سنج که خارج از محدودهٔ فوق باشد، مانع از رسیدن به الزامات درستی کلاس عملکردی جریان‌سنج نشود. در حالت استفادهٔ دوجهته از جریان‌سنج، هردو فلنج باید به عنوان فلنج‌های ورودی در نظر گرفته شوند.

برای جوشکاری در بدنهٔ جریان‌سنج، الزامات رویهٔ جوشکاری باید در نظر گرفته شود.

ابعاد مقطع اندازه‌گیری (مقطعی از جریان که در آنجا ترانسدیوسرها نصب شده‌اند) باید در مستندات سازنده بیان شوند.

۵-۶ پورت‌های فراصوت

از آن‌جا که گاز اندازه‌گیری شده ممکن است حاوی ناخالصی‌ها باشد، پورت‌های محل تعبیهٔ ترانسدیوسر به نحوی طراحی شود که امکان انباشت مواد جامد و مایع را در محدودهٔ حس‌گر به حداقل برساند.

جریان‌سنج فراصوت مجاز است به منظور جایگزینی ترانسدیوسرهای فراصوتی بدون تخلیهٔ خط، به شیر یا وسایل اضافی لازمی که بر روی پورت‌های ترانسدیوسر نصب می‌شوند، مجهز شود. سازنده باید اطمینان حاصل کند که عملیات مکانیزم جایگزینی تحت شرایط طراحی جریان‌سنج، ایمن باشد.

۵-۷ انشعاب فشار

در جایی که اندازه‌گیری فشار لازم است (مانند آهنگ حجمی جریان در شرایط استاندارد)، حداقل یک انشعاب اندازه‌گیری فشار در جریان‌سنج باید بر روی جریان‌سنج یا بر روی لولهٔ مجاور جریان‌سنج فراهم شود. در یک لولهٔ افقی، این انشعاب باید عمودی، رو به بالا تحت زاویهٔ $\pm 85°$ بر روی بدنهٔ جریان‌سنج یا لوله سوراخ‌کاری شود.

۵-۸ شرط ضدغلتش[1]

برای جریان‌سنج فراصوتی که با استفاده از بدنهٔ جریان‌سنج ساخته شده است، جریان‌سنج باید طوری طراحی شود که بدنهٔ آن هنگام سکون روی یک سطح صاف با شیب حداکثر ۱۰٪ نغلتد. این امر برای اجتناب از آسیب به سیستم‌های الکترونیکی (ES) و ترانسدیوسرهای دارای برآمدگی می‌باشند، به طوری که جریان-سنج فراصوت در طی فرآیند نصب به طور موقت بر روی زمین قرار گرفته است.

جریان‌سنج باید طوری طراحی شود که امکان کار کردن آسان و ایمن با جریان‌سنج را در طی انتقال و نصب بدهد. حلقهٔ کشش[2] و لقی برای تسمه‌های بالابر باید فراهم شود.

۵-۹ آرام‌ساز جریان

دستگاه آرام‌سازی جریان ممکن است با جریان‌سنج فراصوت تحویل داده شود. در این حالت، آرام‌ساز جریان (FC) با لولهٔ بالادست همراه آن باید به عنوان بخشی از جریان‌سنج در نظر گرفته شود. شرایط نصب (خطوط بالادست و پایین‌دست) آرام‌ساز جریان باید مورد توافق با سازندهٔ جریان‌سنج باشد. توصیه می‌شود، افت فشار اضافیِ آرام‌ساز جریان در نظر گرفته شود.

---

1 - Anti-roll provision
2 - Eyes

۵-۱۰ نشانه‌گذاری

حداقل، اطلاعات زیر باید روی جریان‌سنج بیان شود:

الف- سازنده، شماره مدل، شماره سریال؛

ب- جهت جریان پیش‌رونده[1]؛

پ- کمترین و بیشترین دما و فشار عملیاتی؛

علاوه براین، برای جریان‌سنج‌های مرطوب:

ت- اندازهٔ جریان‌سنج، کلاس فلنج و جرم آن؛

ث- ماده و کد طراحی بدنهٔ جریان‌سنج.

توصیه می‌شود، این اطلاعات بر روی یک پلاک یا برچسب بر روی بدنهٔ جریان‌سنج نصب شوند. الزامات قانونی و/یا الزامات کدها و استانداردها در نشانه‌گذاری قطعات تحت فشار باید در نظر گرفته شود.

۵-۱۱ ترانسدیوسرها

۵-۱۱-۱ نرخ تغییر فشار

افزایش فشار و کاهش سریع فشار در جریان‌سنج فراصوت ممکن است سبب آسیب به ترانسدیوسر یا تغییر مشخصه‌های جریان‌سنج شود. بنابراین توصیه می‌شود، کاربران جریان‌سنج اطمینان یابند که افزایش و کاهش فشار تا حد امکان به آهستگی صورت گیرد و در غیاب اطلاعات سازنده، آهنگ کوچک‌تر مساوی ۰٫۵ MPa/min توصیه می‌شود. از آنجایی که ترانسدیوسرهای بست‌دار خارج از منطقهٔ تحت فشار تعبیه می‌شوند، اعمال نمی‌شود.

۵-۱۱-۲ مشخصه‌های ترانسدیوسر

اگر سیستم الکترونیکی جریان‌سنج به پارامترهای خاص برای تعیین مشخصه‌های ترانسدیوسر نیاز داشته باشد، مستندات همهٔ پارامترهایی که برای هر ترانسدیوسر یا جفت ترانسدیوسر منحصربه‌فرد می‌باشند، باید تهیه شوند.

1 - Forward flow

۵-۱۱-۳ کابل ترانسدیوسر

جریان‌سنج‌های فراصوت ممکن است به مشخصه‌های کابل اختصاصی ترانسدیوسر حساس باشند. بنابراین توصیه می‌شود، کابل بخشی یکپارچه با جریان‌سنج در نظر گرفته و نشانه‌گذاری شود، توصیه می‌شود یک عبارت یا هشدار در دستورالعمل کاربر جریان‌سنج گنجانده شود، "طول یا نوع نباید تغییر کند".

۵-۱۲ الکترونیک

۵-۱۲-۱ الزامات کلی

سیستم الکترونیک جریان‌سنج فراصوت شامل منبع تغذیه، میکروراینه، اجزای پردازش سیگنال و مدارهای تحریک ترانسدیوسر فراصوت می‌باشد.

توصیه می‌شود، برای اطمینان از شروع مجدد خودکار، در صورت قفل‌شدن[1] یک برنامه، سیستم الکترونیکی شامل یک عملگر خودپایش باشد.

۵-۱۲-۲ منبع تغذیه

سازنده باید منبع تغذیهٔ لازم، رواداری تغییر ولتاژ، و مصرف توان را مشخص کند. واکنش جریان‌سنج فراصوت به وقفه‌های توان و افت ولتاژ باید تعیین شود.

۵-۱۲-۳ کیفیت سیگنال

جریان‌سنج فراصوت باید کمینه مقاومت سیگنال اکوستیک را نشان دهد. در این‌خصوص که اگر سیگنال ضعیف شود، کارایی جریان‌سنج را تحت تأثیر قرار می‌دهد، باید شاخصی ارائه شود. جریان‌سنج باید قادر به ردکردن اندازه‌گیری‌های نامعتبر باشد.

۵-۱۲-۴ خروجی

جریان‌سنج باید حداقل به یکی از خروجی‌های زیر مجهز شود:

الف- واسط دادهٔ سریالی[2]، مانند RS-232، RS-485، فیلدباس[3] یا معادل؛

ب- فرکانس؛

پ- آنالوگ (۴ mA تا ۲۰ mA).

---

1 - Program lock-up
2 - Serial data interface
3 - Field bus

تابع قطع جریان پایین ممکن است به این منظور فراهم شود که در زمانی که آهنگ جریان نشان داده‌شده کمتر از یک مقدار کمینه باشد، آهنگ جریان خروجی را بر روی صفر تنظیم کند (ممکن است برای خروجی دادهٔ سریالی قابل استفاده نباشد).

برای کاربردهای دوجهته و برای تسهیل انباشته‌شدن مجزای حجم‌ها توسط فلوکامپیوتر(های) مرتبط، دو خروجی آهنگ جریان جداگانه یا مقادیر دادهٔ سریالی ممکن است فراهم شوند.

توصیه می‌شود، تمام خروجی‌ها از زمین مجزا شوند و برای برآورده‌کردن الزامات آزمون الکتریکی، حفاظت ولتاژ مورد نیاز را دارا باشند.

۵-۱۲-۵ روکش کابل‌ها و عایق کابل‌ها

روکش کابل‌ها، لاستیک، پلاستیک، و سایر قسمت‌های بدون حفاظ باید در برابر نور فرابنفش، آب، روغن، و گریس مقاوم باشند..

۵-۱۳ سخت‌افزارها[1] و نرم‌افزارها

۵-۱۳-۱ کلیات

کدهای کامپیوتری مسئول کنترل و عملیات جریان‌سنج باید در یک حافظهٔ غیر پاک‌شدنی ذخیره شوند. هم‌چنین تمام محاسبات جریان و پارامترهای واردشده توسط کاربر جریان‌سنج نیز باید در حافظهٔ غیر پاک‌شدنی ذخیره شوند.

۵-۱۳-۲ ناپیوستگی

جریان‌سنج الکترونیکی، سخت‌افزار، ممکن است ناپیوستگی‌هایی را داخل کند که بر عملکرد جریان‌سنج تأثیر دارد. بنابراین، سخت‌افزار باید به گونه‌ای طراحی شود که از ناپیوستگی‌ها اجتناب گردد.

۵-۱۳-۳ نشانه‌گذاری و مدیریت نسخه

سازنده باید یک کپی از همهٔ تجدیدنظرهای سخت‌افزار شامل شماره سریال تجدیدنظر، تاریخ تجدیدنظر، مدل‌های قابل کاربرد جریان‌سنج که توسط خودشان یا نماینده‌شان، برروی سخت‌افزار انجام شده است برای بازرسی، مشاورهٔ تجدیدنظر سخت‌افزار و/یا مجموع مقابله‌ای آن، باید در دسترس باشد.

1 - Firmware

سازنده ممکن است، به منظور بهبودبخشیدن عملکرد جریان‌سنج یا برای افزودن ویژگی‌های جدید، در بازه-های زمانی مختلف به‌روزرسانی‌های[1] را پیشنهاد دهد.

۵-۱۳-۴ نرم‌افزار پایش و پیکربندی

جریان‌سنج ممکن است به قابلیت پیکربندی سیستم الکترونیکی و پایش عملیات مجهز باشد. ترجیحاً، سیستم الکترونیکی باید بتواند همهٔ تنظیمات و پارامترهای مرتبط را نشان دهد.

۵-۱۴ توابع بازرسی و صحه‌گذاری

۵-۱۴-۱ کلیات

ممکن است مشاهدهٔ پارامترهای پیکربندی اندازه‌گیری جریان، همانند ثابت‌های کالیبراسیون، ابعاد جریان‌سنج، دورهٔ متوسط‌گیری زمانی و آهنگ نمونه‌برداری به کارگرفته‌شده توسط سیستم الکترونیکی، امکان‌پذیر باشد. برای ممانعت از تغییر غیر قابل شناسایی یا تصادفی تغییر پارامترهایی که عملکرد جریان‌سنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند، ممکن است تمهیداتی اندیشه شود. این تمهیدات مناسب شامل کنترل دسترسی برپایهٔ نرم‌افزار می‌باشد.

خروجی وضعیت هشدار در موارد زیر باید فراهم شود:

الف- نامعتبر بودن خروجی: زمانی که خروجی آهنگ جریان نشان‌داده‌شده نامعتبر است؛

به صورت اختیاری، خروجی‌های وضعیت هشدار زیر می‌توانند فراهم شوند:

ب- اخطار: زمانی که یکی از چند پارامتر پایش‌شده، از عملکرد نرمال برای یک مدت زمان معنی‌دار خارج شود؛

پ- شکست جزئی در جریان‌سنج‌های چندمسیره: زمانی که یک یا چند مسیر نتایجی را تولید می‌کنند که قابل استفاده نیستند.

توصیه می‌شود، همهٔ ثابت‌ها و پارامترها زمانی که جریان‌سنج در حال کار است، تصدیق شوند.

۵-۱۴-۲ عیب‌یابی

جریان‌سنج باید قادر به فراهم‌کردن و/یا امکانات عیب‌یابی زیر باشد:

الف- سرعت متوسط غیرخطی‌شده در درون جریان‌سنج؛

ب- سرعت جریان برای هر مسیر اکوستیک (یا معادل آن برای ارزیابی پروفیل سرعت جریان)؛

---

1 - Upgrades

پ- سرعت صوت در امتداد هر مسیر اکوستیک؛

ت- سرعت صوت متوسط؛

ث- فاصلهٔ نمونه‌برداری سرعت؛

ج- فاصلهٔ زمانی متوسط؛

چ- درصد پالس‌های پذیرفته‌شده برای هر مسیر اکوستیک؛

ح- نسبت سیگنال بر نوفه یا معادل آن (کنترل بهره)؛

خ- وضع و شاخص‌های کیفیت اندازه‌گیری؛

د- هشدار و شاخص‌های شکست.

برای اندازه‌گیری‌های امکانات عیب‌یابی، جریان‌سنج ممکن است با یک ضبط‌کنندهٔ داده‌های داخلی برای ذخیرهٔ این مقادیر مجهز شده باشد.

۵-۱۵ عملیات و الزامات نصب

۵-۱۵-۱ کلیات

همهٔ اثرات ناشی از نصب جریان‌سنج فراصوتی ، یا رژیم عملیاتی جریان‌سنج فراصوتی، که عدم قطعیت اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد، باید در نظر گرفته شود و در صورت امکان جبران یا حذف شود. کمینه فاصله تا منابع اغتشاش جریان باید مشخص شود.

خطاهای جریان‌سنج فراصوتی که ناشی از پروفیل جریان مغشوش یا توسعه نیافته می‌باشند، به صورت اُریبی در مقدار جریان مطلق خود را نشان می‌دهند. با این شرط که اغتشاشات جریان بالادست به صورت معکوس توانایی جریان‌سنج فراصوتی در انتقال پالس‌های فراصوت را تحت تاثیر قرار ندهد، در چنین حالتی با اکانات عیب‌یابی قابل قبول، اندازه‌گیری قابل اعتماد خواهد بود. هم‌چنین تکرارپذیری اندازه‌گیری که صرفا تابعی از ابعاد فیزیکی معلوم جریان‌سنج فراصوتی، سرعت صوت سیال گازی و دقت فرآیند اندازه‌گیری زمان جریان-سنج فراصوتی می‌باشد، نیز بدون تاثیرپذیری باقی می‌ماند.

۵-۱۵-۲ اقدامات احتیاطی عملیاتی

۵-۱۵-۲-۱ صوت، نوفه، شیرهای تنظیم فشار، و جریان‌سنج‌های فراصوت تهاجمی

کارکرد و درستی جریان‌سنج فراصوتی به وسیلهٔ نوفهٔ تولیدشده توط شیرهای تنظیم فشار تحت تاثیر قرار گیرد؛ به مرجع [۳۳] و پیوست الف رجوع شود. در موارد شدید، جریان‌سنج می‌تواند غیرقابل کارکرد شود. توصیه‌های زیر در ارتباط با نوفهٔ تولیدی شیر ارائه می‌شوند:

الف- توصیه می‌شود، جریان‌سنج‌های فراصوتی در محلی کاملا دور از شیرکنترل‌های خفانشی[1] قرار گیرند، تجهیزات فرآیندی مانند مخازن یا مبدل‌های حرارتی بین آن‌ها قرار گیرد - موقعیت بالادست جریان‌سنج تنظیم‌کننده معمولاً سودمند است:

ب- ایمنی نوفه جریان‌سنج‌های فراصوت می‌تواند به طور کلی در موارد زیر بهبود یابد:

۱) افزایش فرکانس ترانسدیوسر جریان‌سنج،

۲) افزایش توان ترانسدیوسر جریان‌سنج،

۳) استفاده از فناوری پردازش سیگنال برای شناسایی سیگنال، که عبارتند از متوسط‌گیری سیگنال، همبستگی دیجیتال یا کدگذاری سیگنال؛

پ- سه‌راهی‌های کور و خم‌های خارج از صفحه، مؤثرترین اتصالات استاندارد لوله‌ای برای میراکردن نوفهٔ فراصوتی می‌باشند، البته تأثیر بر روی پروفیل جریان و خطای جریان‌سنج منتجه از آن را در نظر داشت؛

ت- لولهٔ مستقیم در تضعیف نوفهٔ فراصوت بی‌تأثیر است؛

ث- کاهش اختلاف فشار در گذر از شیر، نوفهٔ تولیدشده را در تمام فرکانس‌ها کاهش می‌دهد.

در موقعیت‌هایی که شیرهای کنترل خفانشی یا رگولاتورهای فشار وجود دارد، برای مکان پیشنهادی جریان‌سنج فراصوتی، توصیه می‌شود با سازندهٔ جریان‌سنج مشورت شود. حساسیت کلی جریان‌سنج فراصوتی به نوفهٔ تولید شده به وسیلهٔ شیرهای رگولاتور فشار و منابع دیگر باید با سازنده مورد بحث قرار گیرد.

۵-۱۵-۲-۲ صوت، نوفه، شیرآلات تنظیم‌کنندهٔ فشار و جریان‌سنج‌های فراصوتی غیرتهاجمی

علاوه بر نوفه ناشی از گاز که در زیربند ۵-۱۵-۲-۱بحث شد، نوفهٔ ناشی از لوله نیز می‌تواند منبع مسائل عملکردی جریان‌سنج فراصوت کلمپسی باشد، انتقال نوفهٔ ناشی از لوله در لوله‌های پلاستیکی، بعید می‌باشد. نسبت سیگنال به نوفه (SNR) برای جریان‌سنج‌های فراصوت غیرتهاجمی در مقابل تهاجمی خیلی متفاوت است. بنابراین نوفهٔ ناشی از لوله قابل توجه می‌شود. توصیه می‌شود که جریان‌سنج‌های فراصوت کلمپسی در

1 - Tthrottling control valves

درون مجرای فرایندی نصب نشوند، چون‌که نوفه ناشی از لوله می‌تواند از منطقهٔ اندازه‌گیری بیرون رود و سپس از جوش منعکس شود، بنابراین احتمال دارد مقدار هر SNR اضافه شود. جداسازی مناسب توصیه می‌شود. به علاوه، در کاربردهای فشار پایین، ممکن است در منطقهٔ نصب جریان‌سنج فراصوتی برخی از اشکال میراکنندگی اکوستیک به سطح لوله لازم باشد. انتخاب مواد به دمای لوله و شدت نوفه بستگی دارد. توصیه می‌شود، از سازنده در این خصوص مشورت گرفته شود.

۵-۱۵-۲-۳ آلودگی

رسوباتی که در خط لوله موجود هستند، درستی جریان‌سنج را با کاهش مساحت سطح مقطع آن، کاهش طول مؤثر مسیر اکوستیک یا کاهش عملکرد یک مسیر خاص تحت تأثیر قرار می‌دهد.

توصیه می‌شود از انباشتگی شدید رسوبات در اثر مخلوطی از ذرات و/یا آلاینده‌های مایع اجتناب شود. در چنین مواردی، تمهیداتی برای تخلیهٔ پاکت‌های ترانسدیوسر توصیه می‌شود.

در کاربردهای فرآیندی، انتظار می‌رود گاز به صورت دوره‌ای با ذرات و/یا قطرات/مه مایع آلوده شود. توصیه می‌شود، در چنین کاربردهایی، سازندهٔ جریان‌سنج فراصوت تأیید کند که جریان‌سنج مناسب است و آزمایش‌شدهٔ آن کاربرد است.

برای اجتناب از انباشتگی شدید، توصیه می‌شود، پیکربندی لوله، پتانسیل رسوب ذرات و/یا آلاینده‌های مایع را در جریان‌سنج کاهش دهد.

سیگنال‌های اکوستیک به طور نامطلوب با حضور قطرات منتقل‌شده از لوله یا گاز تحت تأثیر قرار می‌گیرند. محصولات تقطیر که در انتهای مقطع لولهٔ افقی شکل می‌گیرند، تحت آهنگ معین جریان ممکن است هیچ مشکل عملیاتی به وجود نیاورند، اما چنان‌که آهنگ جریان افزایش یابد مهی از قطرات می‌تواند در بالای مایع تشکیل شود و مشکلات انتقال اکوستیک را به وجود آورد. بنابراین لوله‌های عمودی ممکن است موقعیت ترجیحی باشند.

۵-۱۵-۲-۴ فشار و دمای محیط

توصیه می‌شود تأثیر دمای محیط با تأمین سایه یا عایق‌کاری حرارتی مناسب کمینه شود. برای کاربردهای کلاس ۴ که فرایند در فشار اتمسفر یا نزدیک به آن انجام می‌شود، تأثیرات تابش حرارتی از خورشید یا فعالیت‌های فرآیندی مجاور، مانند شعلهٔ قابل توجه، می‌تواند بااهمیت باشند. تحت شرایط جریان خیلی پایین، جریان‌های متلاطم می‌توانند به وجود آیند که جریان‌سنج فراصوتی ممکن است به اندازهٔ کافی برای شناسایی آنها حساس باشد. در دودکش‌های مشعل که از محیط آب‌بندی نشده‌اند و هم‌چنین به دلیل

جریان‌های مغشوش فوق‌الذکر یا شرایط اتمسفری معین مثل باد شدید یا جایی که فشار اتمسفری از فشار دودکش مشعل فراتر می‌رود، جریان معکوس قابل مشاهده است.

۵-۱۵-۲-۵ ارتعاش

جریان‌سنج‌های فراصوتی نباید در معرض سطوح ارتعاشی یا فرکانس‌های ارتعاشی که ممکن است فرکانس‌های طبیعی بوردهای سیستم الکترونیکی، اجزاء، یا ترانسدیوسرهای فراصوتی را تحریک کنند، قرار گیرند.

۵-۱۵-۲-۶ جریان ناپایا

کاربردهای کلاس ۴ در دودکش‌های مشعل مستعد جریان ضربانی می‌باشند. توصیه می‌شود، سازنده قادر باشد که اثبات کند، جریان‌سنج در حضور جریان ضربانی، عملکرد خود را حفظ می‌کند.

۵-۱۶ الزامات نصب و ملاحظات پروفیل جریان

۵-۱۶-۱ کلیات

پروفیل جریان کاملاً توسعه‌یافته، مطلوب‌ترین شرایط در جریان‌سنج است. در عمل، دستیابی به شرایط جریان غیراغتشاشی غیرممکن است می‌باشد.

۵-۱۶-۲ اثرات نصب

ترکیبات مختلف اتصالات، شیرها، خم‌ها، چاهک دما و طول لولهٔ صاف در بالادست جریان می‌تواند باعث اعوجاج پروفیل سرعت در ورودی جریان‌سنج شود که این امر ممکن است منجر به خطای اندازه‌گیری آهنگ جریان شود. بزرگی خطای جریان‌سنج به نوع و شدت اعوجاج جریان و هم‌چنین توانایی جریان‌سنج در جبران این اعوجاج بستگی دارد. این خطا ممکن است با افزایش طول لولهٔ مستقیم در بالادست جریان یا با استفاده از آرام‌سازهای جریان کاهش یابد.

در زمان انتشار، کار پژوهشی در مورد اثرات نصب در دست اقدام می‌باشد، بنابراین توصیه می‌شود طراح نصب با سازندهٔ جریان‌سنج فراصوتی برای بازنگری آخرین نتایج آزمون و ارزیابی این‌که چطور طراحی جریان‌سنج فراصوتی خاص می‌تواند به وسیلهٔ پیکربندی لولهٔ بالادست محل نصب برنامه‌ریزی‌شده تحت تاثیر قرار گیرد،، مشورت کند. برای دستیابی به عملکرد مطلوب جریان‌سنج، ممکن است برای طراح نصب ضروری باشد تا پیکربندی لولهٔ اصلی را جایگزین کند یا آرام‌ساز جریان را به عنوان قسمتی از خط جریان‌سنج در

نظر بگیرد. به صورت جایگزین، انجام کالیبراسیون جریان تحت شرایط مشابه با شرایط میدانی می‌تواند خطا را جبران کند.

کمینه طول توصیه‌شده برای لولهٔ پایین‌دست مستقیم برابر با 2D می‌باشد که D قطر داخلی نامی لوله می‌باشد.

۵-۱۶-۳ چاهک‌های دما

توصیه می‌شود چاهک‌های دما در پایین‌دست جریان‌سنج قرار گیرند.

برای جریان تک‌جهته، چاهک دما و/یا چگالی‌سنج باید در پایین‌دست جریان‌سنج فراصوت نصب شود، به گونه‌ای که در فاصلهٔ 2D تا 5D از فلنج پایین‌دست جریان‌سنج فراصوتی ولی در بالادست هر شیر خروجی، تغییر قطر یا محدودیت‌های جریان قرار گیرند. برای این که اطمینان حاصل کنیم که انتقال حرارت بین لوله و اتصال چاهک دما و اثرات تشعشعی از خورشید، قرائت دما را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. مهم است که چاهک دما به درستی نصب شده باشد. طول توصیه‌شده برای نفوذ چاهک‌های دما بین D/10 و D/3 است. برای طول‌های نفوذ بزرگ‌تر از D/3 ممکن است طراحی ویژهٔ پراب مورد نیاز باشد.

فرکانس ریزش گردابهٔ چاهک دما در سرعت‌های بالای گاز نباید موجب تحریک فرکانس طبیعی ارتعاش طبیعی چاهک دما تا نقطهٔ شکست شود. چاهک‌های دمای مخروطی توصیه می‌شوند. هم‌چنین زمانی که از چند چاهک دما استفاده می‌شود، توصیه می‌شود در یک خط نباشند. سازنده یا تأمین‌کننده باید موقعیت بهینهٔ (چرخشی) چاهک‌ها را نسبت به مسیرهای اکوستیک ارائه دهد.

۵-۱۶-۴ آرام‌ساز جریان

یکی از مزیت‌های اصلی جریان‌سنج‌های فراصوت نبود افت فشار است. استفاده از یک آرام‌ساز جریان، باعث ایجاد افت فشار می‌شود و تا حدودی این مزیت را نفی می‌کند. کمبود فضای در دسترس برای طول کافی بالادست یا اثرات غیر قابل اندازه‌گیری پیکربندی کاری لولهٔ بالادست، رایج‌ترین دلایل برای استفاده از آن‌ها می‌باشد.

نصب آرام‌ساز جریان در هر موقعیت خط اندازه‌گیری در بالادست جریان‌سنج فراصوت می‌تواند باعث تغییر در آهنگ جریان نشان داده شده به وسیلهٔ جریان‌سنج شود. این تغییر به عوامل زیادی بستگی دارد (به عنوان مثال نوع آرام‌ساز جریان، نوع جریان‌سنج، موقعیت نسبت به جریان‌سنج فراصوتی یا اختلال جریان در بالادست آرام‌ساز جریان). برای جلوگیری از این عدم قطعیت اضافی، هنگامی که جریان‌سنج فراصوت کالیبره

می‌شود، توصیه می‌شود آرام‌ساز جریان واقعی و جریان‌سنج بر روی خط به صورت یکپارچه کالیبره شوند (USMP).

هشدار - بسته به طراحی، آرام‌ساز جریان ممکن است سطوح قابل ملاحظه‌ای از نوفه را تولید کند که در سرعت-های معین گاز بر روی کارکرد جریان‌سنج فراصوتی **تأثیر می‌گذارد. آرام‌سازهای جریان از نوع صفحه‌ای سوراخ‌دار ترجیح داده می‌شوند؛ آرام‌سازهای از نوع دسته لوله‌ای و پره‌ای، فقط چرخش را متوقف می‌کنند و پروفیل جریان را بهبود نمی‌بخشند، و حتی می‌توانند باعث اعوجاج بیشتر پروفیل شوند.**

۵-۱۶-۵ سطح داخلی و زبری جدار

رسوبات ناشی از شرایط انتقال گاز، مانند محصولات میعان یا آثار روغن مخلوط با آلودگی‌های ناشی از سایش یا ماسه، درستی جریان‌سنج را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اثرات مشابهی می‌توانند در اثر زنگ‌زدگی سطوح فاقد عملیات یا پوشش داخلی معیوب حاصل شوند.

۵-۱۶-۶ استفادهٔ دوجهته

برای استفادهٔ دوجهته، هم لولهٔ بالادست و هم لولهٔ پایین‌دست، باید به عنوان لولهٔ "بالادست" در نظر گرفته شود.

۵-۱۷ به‌کارگیری و انتقال

مقررات به‌کارگیری دستی باید اعمال شود. احتمال آسیب به جریان‌سنج فراصوتی طی به‌کارگیری و انتقال باید شناسایی شده و کلیهٔ اقدامات مناسب برای کمینه‌کردن احتمال آن انجام شود. برای مثال، موارد زیر را در نظر بگیرید:

الف- استفاده از یک وسیلهٔ شاخص نظیر شناسایی‌کنندهٔ ضربه طی انتقال؛

ب- استفاده از بالابر جعبه‌ها یا قاب‌های مناسب انتقال؛

پ- استفاده از پوشش‌های فلنج برای اجتناب از آلودگی‌های قسمت درونی جریان‌سنج؛

ت- کمینه‌سازی جداسازی ترانسدیوسر و/یا کابل.

۶ آزمون و کالیبراسیون

۶-۱ آزمون جریان و کالیبراسیون

یک جریان‌سنج فراصوت کلاس ۳ یا ۴ می‌تواند اساساً به هر دو صورت زیر مشخص شود:

الف- جریان‌سنج فراصوتی با ترانسدیوسرهای نصب‌شونده در محل؛

ب- جریان‌سنج فراصوتی با یک بدنهٔ جریان‌سنج.

توصیه می‌شود هر دو شکل جریان‌سنج فراصوت به منظور برقراری تنظیمات پیش از تحویل سیستم الکترونیکی، توسط سازنده به طور استاتیک آزمون کارکردی شوند. این امر یک قسمت از توصیه‌های آزمون پذیرش کارخانه‌ای (FAT)[1] می‌باشد. به طور مشابه، هر دو شکل جریان‌سنج فراصوتی می‌توانند شکل دومی باشند و به طور دوره‌ای در محل تأیید شوند.

با این‌حال، فقط برای جریان‌سنج نوع ب، کالیبراسیون دینامیکی (گاز در حال جریان) تحت شرایط مرجع قابل ردیابی است.

۶-۲ آزمون استاتیک برای نشت و فشار

برای یک جریان‌سنج فراصوتی با بدنهٔ جریان‌سنج، پیش‌نیاز ایمنی این است که تمام قسمت‌های در معرض فشار باید به درستی و مطابق با وظیفهٔ در نظر گرفته‌شده و مقررات ملی و بین‌المللی مورد استفاده، به عنوان مثال مرجع [۱۶] تحت آزمون نشتی قرار گیرند.

برای دستگاه‌های نصب‌شونده، توصیه می‌شود به پتانسیل نشت و کلاس فشار تجهیزاتِ نصب‌شونده در محل، توجه شود.

آزمون نشت و فشار برای تجهیزات بست‌دار قابل کاربرد نیست.

۶-۳ اندازه‌گیری‌های ابعادی

۶-۳-۱ جریان‌سنج فراصوتی با ترانسدیوسرهای نصب‌شونده در محل

۶-۳-۱-۱ غیر تهاجمی یا بست‌دار

این شکل از جریان‌سنج فراصوتی به مکان‌یابی دقیق ترانسدیوسر نیاز دارد، که به موجب آن نخستین بار که همهٔ داده‌های کاربردی مورد نیاز به درستی وارد شدند، ابعاد به صورت نرمال از سیستم الکترونیکی جریان‌سنج فراصوتی به دست می‌آیند. دستگاه‌های فراصوتی تجاری‌سازی شدهٔ موجود می‌توانند برای تأیید

1 - Factory acceptance test

ردهٔ لوله یا به عبارتی برای برقرارسازی ضخامت درست دیوارهٔ لوله به کار روند. در لوله‌های بزرگ‌تر که نوع طراحی بست گیره‌ای، فاصلهٔ ترانسدیوسرهای به کار رفته را کنترل می‌کند، این موضوع غیرعملی می‌باشد و اندازه‌گیری دقیق و علامت‌گذاری سطح بیرونی لوله مورد نیاز است. به کارگیری ابزار استاندارد مانند ابزار سطوح مایع و نوار جوشکاری برای این فعالیت کافی است. ابزارهای مشابه برای علامت‌گذاری سطح خارجی لوله جهت مکان‌دهی ترانسدیوسر مورد نظر و تصدیق علامت‌گذاری استفاده می‌شوند. به عنوان یک روش جایگزین برای تصدیق، این امکان وجود دارد که موقعیت ترانسدیوسر مورد نظر را با استفاده از یک روش نقشه‌برداری ابعادی تاییدشده که یک سیستم اختصاصی از زاویه‌سنج دقیق مهندسی و منشورهای با طراحی خاص می‌باشد.

۶-۳-۱-۲ نصب

برای این شکل از جریان‌سنج فراصوتی ، معمولاً لازم است که بخش‌های سخت‌افزاری نصب‌شونده، در ابتدا به فرایند یا "لولهٔ اصلی" جوشکاری شوند. سخت‌افزار ممکن است ترکیبی از ریشهٔ لوله‌های زاویه‌دار و برش‌داده‌شده همراه با فلنج‌ها باشد که موقعیت سه بعدی آن نسبت به لولهٔ اصلی بر روی عملکرد جریان‌سنج فراصوتی تأثیر می‌گذارد. در طی فرایند جوشکاری، هرگونه حرکت سخت‌افزار می‌تواند ناشی از نیروهای حرارتی باشد و بنابراین موقعیت نهایی پساجوشکاری، هم به صورت خطی و هم زاویه‌ای، می‌تواند مغایر با فرضیه و حالت تعیین‌شده باشد. روش نقشه‌برداری ابعادی که یک سیستم اختصاصی زاویه‌سنج و منشورهای با طراحی خاص را به کار می‌گیرد، برای اطمینان از این موضوع که سخت‌افزار با آخرین جهت‌گیری خارج از مشخصات سازگار نباشد، می‌تواند طی عملیات خال‌جوش[1] اولیه و سپس به جوشکار در انجام تنظیمات کوچک در هر مرحله از فرایند جوشکاری کمک کند. ابعاد ساخته شدهٔ نهایی نیز برای بهینه‌سازی برنامه-نویسی سیستم الکترونیکی نسبت به ترانسدیوسر بحرانی و مختصات لولهٔ اصلی می‌توانند به دقت تعیین و گزارش شود.

۶-۳-۲ جریان‌سنج فراصوت با بدنهٔ جریان‌سنج

۶-۳-۲-۱ کلیات

درجایی که ترانسدیوسرهای جریان‌سنج فراصوتی به بدنهٔ جریان‌سنج نصب شده‌اند، روش‌شناسی[2] دقیق‌تر و ساده‌تری می‌تواند به کار رود، که به موجب آن طراحی بدنهٔ جریان‌سنج می‌تواند به صورت اختصاصی تحت

---

1 - Tack- welding
2 - Methodology

شرایط استاتیکی آزمون شود. این امر شامل اندازه‌گیری ابعاد بحرانی بدنهٔ جریان‌سنج می‌باشد که در آن پارامترهای زیر باید ثبت شوند (توسط کاربر یا سازنده):

الف- ابعاد هندسی؛

ب- مساحت سطح مقطع جریان‌سنج؛

پ- طول هر مسیر اکوستیک بین سطوح ترانسدیوسر؛

ت- زاویهٔ انحراف هر مسیر اکوستیک یا فاصلهٔ محوری (محور بدنهٔ جریان‌سنج) بین ترانسدیوسرهای جفت هم.

بسته به کاربرد:

ث- مادهٔ بدنهٔ جریان‌سنج؛

ج- ضرایب انبساط دمایی و فشاری بدنهٔ جریان‌سنج؛

چ- ضخامت دیواره.

۶-۳-۲-۲ آزمون تصدیق جریان صفر

برای تصدیق سیستم اندازه‌گیری زمان گذار جریان‌سنج، آزمون تصدیق جریان صفر می‌تواند انجام شود که باید سازنده برای آن، روش‌ها و رواداری‌هایی را تعیین کند. چنین آزمونی می‌تواند در امکانات سازنده به عنوان بخشی از روش کنترل کیفیت نرمال، یا به عنوان بخشی از FAT مشتری، مورد انتظار باشد، ولی این امر می‌تواند در محل در طی راه‌اندازی جریان‌سنج فراصوتی نیز انجام شود. با این وجود، به کاربر توصیه می‌شود که برای چنین آزمونی، اقدامات احتیاطی معینی در نظر گرفته شود. جریان‌سنج فراصوتی حتی به کوچکترین تغییرات در زمان گذار نیز حساس است که این تغییرات ناشی از ناپایداری نبوده بلکه ناشی از حرکت سیال گازی است که این حرکت نیز نتیجهٔ نشتی‌های کوچک یا گرادیان‌های حرارتی می‌باشد. بنابراین، ترانسدیوسرهای جریان‌سنج فراصوتی باید به طور کامل از حرکت هوای محیط مجزا شوند و زمانی که آزمون در فشار بالاتر از اتمسفر انجام می‌شود، توصیه می‌شود، وسیلهٔ پایش فشار به اندازهٔ کافی حساس به کار رود تا تصدیق کند که هیچ حرکت گازی ناشی از نشت به محیط ایجاد نمی‌شود. به علاوه، آزمون باید به طوری انجام شود که بدنهٔ جریان‌سنج، یا سایر تجهیزات به کاررفته برای جانمایی ترانسدیوسرهای نصب‌شونده در محل در یک پیکربندی نصب شبیه‌سازی‌شده از حرارت تابشی ناشی از فرآیندهای مجاور یا خورشید جداسازی شوند.

۶-۳-۲-۳ تنظیم تأخیر زمانی و رواداری ابعادی

زمانی که شرایط استاتیکی قابل اطمینان برقرار شد، یعنی زمانی که فشار کاملاً پایدار است، جداسازی کامل از حرکت گاز در نظر گرفته‌شده و تأثیرات دمایی حذف شده است، مقدار SOS نشان داده شده به وسیلهٔ جریان‌سنج فراصوتی (MSOS) می‌تواند با TSOS مربوط به شرایط غالب گاز آزمون مقایسه شود. بنابراین تنظیمات بسیار جزئی و اغلب تکراری مربوط به زمان برای جبران رواداری‌های الکتریکی و مکانیکی درون USMP، انجام می‌شود تا توافق دقیق بین MSOS و TSOS حاصل شود. برای جریان‌سنج فراصوت کلاس ۳ یا ۴، USMP ممکن است در اصل شامل چیزی بیشتر از ترانسدیوسرها، کابل‌ها و سیستم الکترونیکی نباشد. اگر قبل از ارسال جریان‌سنج فراصوتی، چنین تنظیماتی انجام شود، نیازی به انجام تنظیمات بعدی برروی این نوع نیست، به شرط این‌که هیچ‌کدام از اقلام فوق‌الذکر، عوض نشوند یا تغییر نکنند.

۶-۳-۲-۴ گزارش آزمون استاتیکی

توصیه می‌شود، پس از انجام آزمون استاتیکی گزارشی تهیه شود. توصیه می‌شود، این گزارش شامل موارد زیر باشد:

الف- تاریخ(های) آزمون؛

ب- داده‌های سازنده مانند اندازهٔ جریان‌سنج و شماره سریال جریان‌سنج ، برای جریان‌سنج تحت آزمون؛

پ- شرح مکتوب روش آزمون؛

ت- ماهیت (مثلاً مخلوط گاز، رطوبت) و شرایط (فشار و دما) گاز آزمون؛

ث- MSOS از جریان‌سنج مورد آزمون و TSOS مشتق شده از مخلوط گاز، فشار و دمای گاز آزمون؛

ج- مرجع منبع برای TSOS؛

چ- فایل log شامل همهٔ داده‌های گرفته‌شده در طی آزمون و/یا کالیبراسیون؛

ح- سابقه و گزارش تنظیمات پارامتر؛

خ- شرح هر تغییر یا انحراف از شرایط مورد نیاز آزمون.

۶-۴ آزمون دینامیک (آزمون و کالیبراسیون، تنظیم تحت شرایط جریان)

۶-۴-۱ کلیات

بسته به کاربرد، جریان‌سنج فراصوت تکی یا USMP ممکن است به صورت دینامیکی آزمون و کالیبره شود. دو روش اصلی در این‌خصوص به کار می‌رود:

الف- آزمون و/یا کالیبراسیون جریان دینامیکی همراه با بدنهٔ متعلق به خود تحت شرایط مرجع کاملاً قابل ردیابی در یک مرکز کالیبراسیون اختصاصی؛

ب- آزمون دینامیکی جریان در محل و تنظیم برای تطابق با یک جریان‌سنج مرجع نصب‌شونده یا سایر اشکال مقایسه، این روش در عمل برای جریان‌سنج فراصوتی با ترانسدیوسرهای نصب‌شونده در محل انجام می‌شود.

۶-۴-۲ آزمون دینامیکی تحت شرایط مرجع جریان

آزمون و/یا کالیبراسیون جریان دینامیکی، مجموعه‌ای از خطاهای سیستمی را به عنوان تابعی از آهنگ جریان (و/یا عدد رینولدز) تحویل می‌دهد، که می‌تواند برای تصحیح خروجی جریان‌سنج به کار رود. این مجموعه معمولاً به صورت یک منحنی کالیبراسیون یا آزمون ارائه می‌شود.

عدم قطعیت اندازه‌گیری امکانات کامل آزمون استفاده شده برای کالیبراسیون نباید بزرگ‌تر از محدوده‌های خطای توافق‌شده یا مشخص‌شدهٔ جریان‌سنج فراصوتی برای آزمون باشد؛ و ترجیحاً از یک‌سوم این محدودیت‌های خطا فراتر نرود.

۶-۴-۳ آزمون دینامیکی در محل

در جایی که یک جریان‌سنج فراصوتی به عنوان فناوری دوم بر روی همان خط فرآیندی که یک جریان‌سنج با فناوری متفاوت از قبل بر روی آن موجود است، نصب شده است، به عنوان مثال برای کم‌کردن احتمال قطعی‌های رایج ، ابتدا کالیبراسیون دینامیکی تحت شرایط مرجع در یک مرکز اختصاصی کالیبراسیون انجام می‌شود، در چنین حالتی تا زمانی که جریان‌سنج فراصوتی به عنوان مرجع اصلی یا جریان‌سنج اصلی جدید همراه با جریان‌سنج موجود تنظیم می‌شود تا با جریان‌سنج فراصوتی سازگار باشد.

زمانی که آزمون دینامیکی در میدان اجرا می‌شود، در لحاظ‌کردن عدم قطعیت‌های مقایسه‌ای جریان‌سنج فراصوتی و جریان‌سنج مرجع باید توجه زیادی مبذول شود که شامل صحت اعتبار کالیبراسیون هر جریان‌سنج مرجع می‌باشد، که در امتداد این امر، شرایط نصب هر جریان‌سنج مرجع و تاثیری که آنها بر روی اعتبار مقایسه خواهند داشت، مورد توجه خواهد بود. شرایط نصب جریان‌سنج مرجع چنان‌چه مورد قبول باشد، باید اعتباردهی شود یا روش هرکدام از اشکال مرجع دیگر نیز باید اعتباردهی شود تا چنین آزمونی نتایج مفیدی داشته باشد. توصیه می‌شود، در جایی که چند شکل مختلف از تزریق گاز به یک خط مشترک که حاوی جریان‌سنج فراصوتی می‌باشد توصیه می‌شود ترکیبی از جریان‌سنج‌های فرآیندی نصب‌شده به عنوان وسیله‌ای برای آزمون دینامیکی آن جریان‌سنج در نظر گرفته شود، به عنوان مثال در خط مشعل،

قابلیت اعتماد بستگی به شرایط استاتیکی در سرتاسر تاسیسات فرآیندی دارد و این یک مفهوم چالش‌برانگیز با عدم قطعیت پیچیده می‌باشد.

اشکال مختلف جریان‌سنج فراصوتی دارای سطوح مختلف حساسیت به اغتشاشات پروفیل جریان بالادست و پایین‌دست هستند. برای مثال، جریان‌سنج فراصوتی چندمسیره حساسیت کمتری به پروفیل جریان نسبت به جریان‌سنج فراصوتی تک‌مسیره دارد، و یک جریان‌سنج فراصوتی با ترانسدیوسرهای نصب شونده در محل احتمالاً کمتر از یک جریان‌سنج فراصوتی بست‌دار تحت تأثیر قرار می‌گیرد. انتخاب فناوری جریان‌سنج فراصوتی باید به گونه‌ای اختصاص داده شود که مناسب کاربرد و الزامات اجرای تعریف‌شده در بند مقدمه باشد. توصیه می‌شود که از کتاب راهنمای عملیات جریان‌سنج فراصوتی استفاده شود یا سازندهٔ جریان‌سنج فراصوتی در این‌خصوص مشورت گرفته شود.

۶-۴-۴ گزارش

نتایج آزمون دینامیکی باید بنا به تقاضا به همراه بیان شرایطی که تحت آن، آزمون دینامیکی انجام شده است، در دسترس باشد. داده‌های ارائه‌شدهٔ آزمون به عنوان نتیجهٔ آزمون دینامیکی باید شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسایی جریان‌سنج و توصیف آزمون:

۱) داده‌های سازنده مانند اندازه و شماره سریال جریان‌سنج،

۲) عدم قطعیت تخمینی آزمون و/یا نتایج کالیبراسیون،

۳) تشریح مکتوب روش آزمون، به عنوان مثال شامل:

i. موقعیت جریان‌سنج (افقی، عمودی جریان رو به بالا، عمودی جریان رو به پایین) و جهت جریان‌سنج

ii. پیکربندی لولهٔ بالادست و پایین‌دست برای شرایط‌دهی پروفیل جریان غیرمغشوش، شامل قطرهای داخلی

iii. ماهیت (یعنی ترکیب گاز، رطوبت، تراکم‌پذیری) و شرایط (فشار و دما) گاز آزمون

iv. تشریح هر تغییر یا انحراف از شرایط آزمون مورد نیاز؛

ب- نتایج:

۱) انحرافات تعیین‌شده در آهنگ‌های جریان بررسی‌شده؛

۲) تاریخ(های) آزمون؛

۳) در جریان‌سنج‌های دوجهته: جریان پیش‌رونده یا جریان معکوس؛

۴) MSOS جریان‌سنج تحت آزمون و TSOS از ترکیب گاز، فشار و دما، و تراکم‌پذیری؛

۵) آرشیو، شامل تمام داده‌های گرفته شده در طی آزمون و/یا کالیبراسیون؛

۶) گزارشی از پارامترهای پیکربندی جریان‌سنج در طی آزمون و/یا کالیبراسیون.

۶-۵ عیب‌یابی جریان‌سنج

۶-۵-۱ کلیات

برخلاف اکثر جریان‌سنج‌ها، جریان‌سنج‌های فراصوتی می‌توانند اطلاعات عیب‌یابی گسترده‌ای را تحویل دهند که به واسطهٔ آنها نه تنها تصدیق قابلیت جریان‌سنج فراصوتی گازی، بلکه چندین مولفهٔ دیگر در درون سیستم نیز امکان‌پذیر نیست. به دلیل قابلیت‌های عیب‌یابی گسترده، این استاندارد، از اضافه‌کردن و استفاده از عیب‌یابی خودکار در مقابل بررسی کیفیت توسط نیروی انسانی حمایت می‌کند.

اطلاعات عیب‌یابی در دسترس جریان‌سنج فراصوتی می‌تواند برای استنباط لزوم کالیبراسیون مجدد به کار رود، بنابراین به جریان‌سنج اجازه می‌دهد تا برای کالیبراسیون از روی خط حذف شود تا به صورت بالقوه هزینه و دردسرهای ناشی از تعطیلی خط فرآیندی کاهش یابد.

برای کاربردهایی که نیاز به ممیزی مستمر دارند، این استاندارد باید بازنگری شود.

۶-۵-۲ مقایسهٔ سرعت مطلق صوت

هنگامی که ترکیب گاز، دما، و فشار معلوم باشند، TSOS می‌تواند با MSOS نمایش‌داده‌شده توسط جریان‌سنج فراصوت مقایسه شود. TSOS می‌تواند با استفاده از یک معادلهٔ حالت نظیر AGA 10 یا معادل آن و با به‌کارگیری مقادیر اندازه‌گیری‌شده فشار، دما یا ترکیبات گاز محاسبه شود. نرم‌افزار اختصاصی برای محاسبهٔ TSOS در دسترس است.

SOS یک ابزار عالی برای پایشِ نه فقط سلامت و قابلیت خود جریان‌سنج فراصوتی، بلکه پایش مولفه‌های دیگر در USMP، نظیر فرستنده‌های دما و فشار را مقدور می‌سازد.

در کاربردهایی نظیر گاز مشعل، که ترکیب گاز می‌تواند به صورت چشمگیر و سریع تغییر کند، همگام‌سازی شاخص MSOS در جریان‌سنج فراصوتی و زمان نمونه‌برداری برای ترکیب گاز، برای اعتباردهی مقایسهٔ SOS مطلق، بحرانی می‌باشد. توصیه می‌شود، آرشیوی از شاخص MSOS در جریان‌سنج فراصوتی همراه با تاریخ و زمان آن فعال شود.

یک تفاوت غیرقابل قبول بین مقادیر MSOS و TSOS نه فقط منجر به بررسی منابع دادهٔ فشار و دما می‌شود، بلکه بررسی سریع فنون نمونه‌برداری و روش‌شناسی برای ترکیبات گاز را به دنبال داشته‌باشد. هنگامی

که این اشکال مقایسه همگی اعتباردهی شدند، توصیه می‌شود، بازرسی از ترانسدیوسرها برای اثبات این‌که آیا رسوب یا جرم‌گرفتگی از آلودگی‌های ناشی از گاز اتفاق افتاده است یا نه، انجام گیرد.

۶-۵-۳ مقایسهٔ سرعت نسبی صوت

یک جریان‌سنج فراصوت با دو یا چند مسیر ممکن است با مقایسهٔ مقادیر SOS هر مسیر پایش شود.

مزایا عبارتند از:

الف- مستقل از ترکیبات گاز؛

ب- اندازه‌گیری می‌تواند تحت شرایط جریان انجام شود - در سرعت‌های بالا، توصیه می‌شود تغییر طول مسیر اکوستیک به دلیل افزایش اختلاف به صورت چشمگیری پروفیل جریان را از شکل طبیعی خارج کند؛

پ- محاسبه می‌تواند به صورت خودکار به عنوان بخشی از پکیج عیب‌یابی انجام شود.

۶-۵-۴ نسبت‌های سرعت

سرعت‌های هر مسیر اختصاصی در یک جریان‌سنج فراصوتی چندمسیره، دارای روابط منحصربه‌فردی می‌باشد که پروفیل جریان را تحت تاثیر پیکربندی لوله است، بازتاب می‌دهد. در سرعت‌های بالاتر از ۱ m/s تا ۲ m/s، این روابط در شرایط عملیاتی عادی جریان‌سنج فراصوتی تغییر نمی‌کند، و بنابراین می‌توانند به منظور عیب‌یابی به صورت برخط پایش شوند.

۶-۵-۵ سایر پارامترها

گرچه SOS یکی از مهم‌ترین پارامترهایی می‌باشد که برای تصدیق استفاده می‌شود، بسیاری از پارامترهای دیگر نیز وجود دارند که توسط جریان‌سنج فراصوتی مشخص می‌شوند، و این پارامترها می‌توانند برای اطمینان از کارکرد بهینهٔ جریان‌سنج فراصوتی پایش شود.

۶-۶ صحه‌گذاری در محل

۶-۶-۱ کلیات

در جایی که هیچ امکانی برای هر شکل ممکن آزمون دینامیکی وجود نداشته باشد، قابلیت جریان‌سنج فراصوتی می‌تواند با فنون مختلف تصدیق شود.

۶-۶-۲ روش‌های تصدیق در محل

۶-۶-۲-۱ روش سرعت مساحت به وسیلهٔ لولهٔ پیتو، فیلم داغ[1]، و حس‌گرهای سیمی یا بادسنج‌ها[2]

این روش برپایهٔ اندازه‌گیری تقریبی پروفیل سرعت جریان با انتگرال‌گیری مناسب بر روی سطح مقطع جریان می‌باشد. کاربرد روش سرعت مساحت باید همواره ملاحظات تنظیمات مربوطه را داشته باشد. چنان‌چه این فن، شامل نمونه‌برداری مؤثر پروفیل سرعت جریان باشد، از یک جریان ثابت در سراسر فرآیند تصدیق مطمئن شوید.

۶-۶-۲-۲ روش اپتیکی

روش LDA[3] (بادسنجی لیزر-داپلر) بر پایهٔ اندازه‌گیری نقطه به نقطهٔ سرعت به‌وسیلهٔ ذرات پخش‌کنندهٔ نور می‌باشد. از آن‌جایی که تنها اندازه‌گیری نقطه به نقطهٔ مداوم می‌تواند بر روی سطح مقطع جریان انجام شود، این روش فقط در جایی قابل کاربرد است که بتوان در طول آزمون جریان ثابتی را حفظ کرد.

۶-۶-۲-۳ روش‌های ردیابی

این فن، شامل تزریق مقادیر کوچک یک ایزوتوپ رادیواکتیو درون خط گاز می‌باشد که با گاز مخلوط شده و بعد از آن‌که از دو آشکارساز نواری عبور کرد با همان پروفیل جریان سازگار می‌شود. این آشکارسازها در یک فاصلهٔ کافی در پایین‌دست نقطهٔ تزریق قرار می‌گیرند و در طول خط گاز در مسافت‌های مشخص فاصله-گذاری می‌شوند. در اصل آن یک زمان علامت‌گذاری در فن پرواز جهت اندازه‌گیری سرعت جریان سیال می‌باشد. یک خط گاز که دارای لولهٔ مستقیم مناسب کوتاهی باشد، گزینهٔ خوبی برای این فن نیست، چون که طول لولهٔ مستقیم بسته به آرام‌سازی جریان ۱۰D تا ۲۰D برای اختلاط مورد نیاز بوده و این طول برای اندازه‌گیری خود ۵D تا ۱۰D می‌باشد. هنگامی که عدم قطعیت قابل قبول امکان‌پذیر باشد، لازم است که شرایط نصب تصریح‌شده، برآورده شوند. البته حصول چنین شرایطی برای لوله‌های با قطر بزرگتر، نظیر خطوط گاز مشعل، سخت می‌باشد. این فن برای دست‌یابی به درستی مورد قبول در سرعت‌های جریان کم، نیاز به خطوط لولهٔ مستقیم طولانی‌تری دارد. با توجه به این که ایزوتوپ رادیواکتیوداری نیمه‌عمر محدودی می‌باشد، مدت زمان عملی آزمون که شامل زمان حمل آن به محل تصدیق شود و به‌علاوه زمان کار نیز

1 - Hot film
2 - Anemometers
3 - Laser–Doppler anemometry

درنظرگرفته‌شود. این ملاحظات به‌ویژه برای تاسیسات از دور یا فراساحلی که تأخیرات زیادی به دلیل مشکلات آب و هوایی و انتقال می‌تواند حاصل شود، به کار می‌رود.

۶-۶-۲-۴ گزارش تصدیق در محل

توصیه می‌شود، پس از تکمیل عملیات تصدیق در محل، گزارشی ارائه شود. توصیه می‌شود، این گزارش شامل موارد زیر باشد:

الف- تاریخ(های) انجام آزمون؛

ب- داده‌های ارائه‌شده توسط سازنده، مثل اندازهٔ جریان‌سنج و شماره سریال جریان‌سنج مورد آزمون؛

پ- توصیف مکتوب روش آزمون؛

ت- ماهیت (مثلاً ترکیب، رطوبت) و شرایط (فشار و دما) گاز آزمون، شامل زمان و تاریخ برای مقایسه با آرشیو جریان‌سنج فراصوتی؛

ث- MSOS از جریان‌سنج مورد آزمون و TSOS مشتق‌شده از مخلوط گاز، فشار، و دمای گاز آزمون؛

ج- مرجع منبع برای TSOS؛

چ- آرشیو شامل تمام داده‌های اخذ شده در طی آزمون و/یا کالیبراسیون؛

ح- گزارشی از پارامترهای پیکربندی جریان‌سنج در طی آزمون؛

خ- مقادیر فاکتورهای تنظیم در سیستم الکترونیکی مربوط به جریان‌سنج فراصوت قبل از تنظیم و مقدار پس از تنظیم؛

د- توصیف هر تغییر یا انحراف از شرایط آزمون مورد نیاز.

پیوست الف

(الزامی)

یادداشت کاربردی ویژه بر روی مشخصات و نوفهٔ شیر

الف-۱ مقدمه

به دلیل معرفی موفق جریان‌سنج‌های فراصوت برای اندازه‌گیری جریان گاز، این قبیل جریان‌سنج‌ها به طور رضایت‌بخشی در بسیاری از کاربردها استفاده می‌شوند و استاندارد پیش‌فرض اندازه‌گیری با درستی بالا می-شود.

بنابراین، با افزایش در تعداد سنجه‌های نصب‌شده، در کاربردهایی که نوفهٔ فراصوت تولیدشده توسط فشار یا تنظیم‌کننده‌های جریان موجب مشکلاتی می‌شود. هنگامی که تحقیق برای بررسی این مشکل شروع شد، مشخص شد که تمام اطلاعات نوفه به سختی در دسترس هستند، به ویژه نوفه موجود در گسترهٔ فراصوت و خطوط لولهٔ فشاربالا. گرچه مدل‌هایی که در دسترسند تولید نوفه برای گسترهٔ قابل شنیدن را توصیف می‌کنند، تعمیم این مدل‌ها به گسترهٔ فراصوت به سختی توسط داده‌های آزمایشگاهی حمایت می‌شوند و بیشتر آن‌ها بی‌فایده می‌باشند.

به همین دلیل، یک برنامهٔ آزمون برای حصول موارد زیر برقرار می‌شود:

- داده‌های اساسی مورد نیاز برای طراحی جریان‌سنج‌های فراصوت با مصونیت نوفهٔ بهبودیافته؛
- داده‌ها برای ساختن مدلی که می‌تواند برای پیش‌بینی استفاده شود، مرحلهٔ اول، سطوح نوفه تولیدشده و مرحلهٔ دوم، عملکرد یک جریان‌سنج فراصوت به سطوح نوفه فراصوت.

بنابراین، یک رویکرد تئوری فرموله شده در ابتدا برای تعیین عوامل حاکم که بر تولید نوفه تأثیر می‌گذارند. سپس یک مدل عملی براساس اندازه‌گیری‌های واقعی به دست آمده از میدان، توسعه می‌یابد.

الف-۲ مدل

الف-۲-۱ تئوری تولید نوفه

شیرهای کنترل فشار منبع اصلی نوفه فراصوت می‌باشند، و تولید نوفه‌شان به شرایط عملیاتی نظیر افت فشار و آهنگ جریان بستگی دارد.

برای توصیف، یک نقطهٔ شروع خوب، مدل توصیف‌شده در مرجع [۴۷] کتابنامه است. توان اکوستیک تولید شده با یک شیر کنترل، Wa، می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$W_a \propto q_m c_1^2 \left\{ \frac{2}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P_1}{P_{vc}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \right\}^{5/2} \left(\frac{P_1}{P_{vc}} \right)^{\gamma + \frac{1}{\gamma} - 1}$$ (الف-۱)

که در آن:

q_m آهنگ جرمی جریان؛

c_1 سرعت صوت بالادست شیر کنترل؛

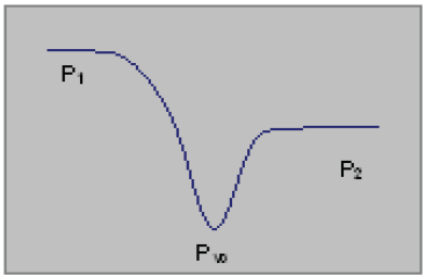
$\gamma = C_p / C_V$ ثابت پواسون (برای گازهای طبیعی اغلب ۱٫۳)؛

P_1 فشار بالادست شیر کنترل؛

P_{vc} فشار در مقطع منقبض؛

فشار در مقطع منقبض به مشخصه‌های شیر وابسته است و می‌تواند با ضریب بازیافت فشار، F_L، توصیف شود (به شکل الف۱ رجوع شود):

$$F_L = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_{vc}}$$ (الف-۲)



شکل الف۱ - افت فشار در شیر کنترل

تبصره:

- زمانی که $P_1=P_2$ (بازیافت بالا)، آن‌گاه $F_L=0$
- زمانی که $P_2=P_{vc}$ (بدون بازیافت)، آن‌گاه $F_L=1$
- F_L می‌تواند به میزان بازبودن شیر مرتبط باشد.

توان اکوستیک تولیدشده به وسیلهٔ شیر کنترل می‌تواند مطابق با فرمول‌های الف-۱ و الف-۲ محاسبه شود. با این‌حال برای یک جریان‌سنج فراصوت، توان اکوستیک مهم نیست بلکه فشار اکوستیک پخش‌شده مهم است. براساس مرجع [۴۶] کتابنامه، ارتباط بین انرژی اکوستیک و فشار اکوستیک پخش شده، p_n، می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$P_n = 2 \times \sqrt{\frac{W_a \rho c}{A}}$$ (الف-۳)

که در آن:

ρ چگالی گاز؛

c سرعت صوت؛

A مساحت سطح مقطع لوله است.

الف-۲-۲ شاخص عملی

یکی از مشکلات استفاده از فرمول‌های الف-۱ تا الف-۳ تعیین مقدار p_{vc}، فشار در مقطع منقبض‌شده می‌باشد. تعابیری می‌توانند برای p_{vc} یافت شوند، اما آن‌ها مربوط به میزان بودن شیرکنترل و سایر پارامترهای فرایند می‌باشد. تلاش برای حل این مشکل منجر به تعداد کثیری از معادلات دیگر با یک سری از ضرایب نامعلوم می‌شود. بنابراین نیاز به یک رویکرد تجربی می‌باشد.

نه فقط سطح نوفهٔ شیر، بلکه روشی که پیش‌بینی می‌کند که آیا سنجه می‌تواند به طور رضایت‌بخش در یک نصب داده‌شده در یک گسترهٔ عملیاتی خاص عمل کند. بنابراین، علاوه بر سطح نوفه (فشار اکوستیک پخش‌شده) تولیدشده با شیر، مشخصه‌های جریان‌سنج فراصوت و خصوصیات لوله‌کشی، مثل زانویی‌ها و اتصال‌های T و صداخفه‌کن‌ها (در صورت کاربرد)، در نظر گرفته شوند.

بنابراین، معادلهٔ ریتوف و وارد[1] (مرجع [۴۷]) فقط برای تعیین عوامل مهم به کار می‌رود؛ داده‌های اندازه‌گیری برای استخراج یک معادلهٔ عملی به کار می‌رود.

محدودیت‌های تصدیق گاز طبیعی، ترکیب فرمول الف-۱ تا الف-۳ به یک عبارت برای نوفه شیر، $L_{p,N,v}$، منجر می‌شود که فشار اکوستیک پخش شده نسبت p_1/p_{vc} و ریشهٔ دوم جریان جرمی را تخمین بزند.

$$L_{p,N,v} = p_1 \Big/ p_{vc} \sqrt{q_m} \qquad \text{(الف-۴)}$$

با در نظر گرفتن ارتباط بین این اجزا، براساس داده‌های اندازه‌گیری برای گاز طبیعی، فرمول (الف-۴) می‌تواند به صورت زیر ساده‌سازی شود:

$$L_{p,N,v} = \Delta p \sqrt{q_v} \qquad \text{(الف-۵)}$$

که در آن، q_V آهنگ حجمی جریان واقعی است، نه آهنگ جرمی جریان.

وزن شیر، N_v، اضافه می‌شود تا وابستگی به ساختمان شیر و نوع ترتیب به کار رفته، در نظر گرفته‌شود:

$$L_{p,N,v} = N_v \Delta p \sqrt{q_V} \qquad \text{(الف-۶)}$$

1 - Reethof and Ward

وزن شیر تعیین می‌کند که یک شیر تا چه اندازه نوفه دارد. مقدار زیاد وزن، یک شیر پرنوفه، مقدار کم آن یک شیر بدون نوفه (آرام) را مشخص می‌کند. ضریب شیر می‌تواند برای شرایط بالادست و پایین‌دست تفاوت داشته باشد و همچنین تابعی از فرکانس است. در عمل شیرهای با نوفهٔ خیلی‌کم در شیرهای با وزن $N_v = ۰/۰۲$ یافت می‌شوند. پرنوفه‌ترین شیر مورد آزمون، ضریب ۲ دارد. این بدان معنی است که انتخاب شیر درست بسیار مهم است.

الف-۲-۳ عناصر لوله‌کشی

براساس تئوری سیستم‌های خطی، اثرات ناشی از عناصر لوله‌کشی می‌توانند با تعدادی شاخص‌های تضعیف امواج فراصوت در باند فرکانسی مربوطه ارائه شوند. تأثیر عناصر متعدد لوله‌کشی با تعدادی N_d، که ضرب همهٔ بخش‌های همهٔ عناصر لوله‌کشی تکی است ارائه می‌شود. مقدار N_d بین صفر و ۱ است؛ هر چه میرایی اکوستیک لولهٔ کاری بهتر باشد، مقدار N_d به صفر نزدیک‌تر است.

در نتیجه، سطح نوفه در موقعیت جریان‌سنج فراصوت با رابطهٔ زیر داده می‌شود:

$$L_{p,N,v} = N_d N_v \Delta p \sqrt{q_V} \qquad \text{(الف-۷)}$$

الف-۲-۴ مقاومت سیگنال اکوستیک

همهٔ ترانسدیوسرهای فراصوت بر اساس پیزوسرامیک[1]، حساسیت همهٔ ترانسدیوسرها کاملاً مشابه است.

عوامل کلیدی در مقاومت سیگنال دریافتی موارد زیرند:

- فشار؛
- چگالی؛
- طول مسیر اکوستیک یا قطر داخلی لولهٔ سنجه.

در کنار این، اگر فنون متوسط‌گیری در پردازش سیگنال به کار می‌روند، ریشهٔ دوم تعدادی از نمونه‌ها نیز باید در نظر گرفته شود.

برای گاز طبیعی، این امر منجر به فرمول ساده برای سیگنال، P_s، می‌شود:

$$P_s = \frac{p}{l_p \sqrt{n_s}} \qquad \text{(الف۸)}$$

که در آن:

n_s تعداد نمونه‌های متوسط‌گیری‌شده؛

[1] - Piezoceramics

l_p طول مسیر اکوستیک است.

الف-۲-۵ گسترهٔ عملیاتی جریان سنج فراصوت

برای تعیین گسترهٔ عملیاتی جریان‌سنج فراصوت، پارامتر δ(S/N) تعریف می‌شود، بازتاب نسبت بین نوفهٔ شیر در موقعیت سنجه و مقاومت سیگنال.

$$\delta(S/N) = P_{s,USM} / L_{p,N,USM} \quad \text{(الف-۹)}$$

استفاده از فرمول الف-۷ و الف-۸، منجر می‌شود به:

$$\delta(S/N) = \frac{p\sqrt{n_s}}{l_p N_d N_v \Delta p \sqrt{q_V}} \quad \text{(الف-۱۰)}$$

یادآوری- در استاندارد ISO 17089-1:2010، معادلات ۲۷ و ۲۸، برای به دست آوردن q_m، q_V را بخوانید. این خطای کوچک در چاپ‌های بعدی اصلاح خواهد شد.

در سطح سیگنال به نوفه معین، جریان‌سنج فراصوت، تابع را متوقف می‌کند. این پارامتر مخصوص سازنده است، که $\delta_{critical}$ نامیده می‌شود.

برای $\delta > \delta_{critical}$ ، سنجه کار می‌کند (یعنی مقاومت سیگنال کافی وجود دارد).

برای $\delta \leq \delta_{critical}$ ، سنجه کار نمی‌کند (نوفه خیلی زیادی وجود دارد).

به دلیل طبیعت تصادفی نوفه، در بسیاری از حالت‌ها یک ضریب ایمنی برابر با ۲ درمعادله قرار می‌گیرد، تا اطمینان حاصل شود که عملکرد اندازه‌گیری علی‌رغم وجود نوفه در سطح خیلی بالایی است. با این ضریب ایمنی، مقدار δ با ضریب ۲ کاهش می‌یابد.

جدول الف۱ مقادیر را برای یک محاسبهٔ نمونه با استفاده از فرمول الف-۱۰ فهرست می‌کند.

جدول الف۱ - مثال محاسباتی

محاسبهٔ δ(S/N) در گاز طبیعی		
p_{min}	۳٫۴۱	MPa
n_s	۱	تعداد نمونه‌های استفاده شده در پردازش سیگنال.
l_p	۰٫۲۱	m
N_d	۰٫۰۱	
N_v	۰٫۴	
Δp	۴٫۶۵	MPa
$q_{v,max}$	۱۹۰۰۰	Nm^3/h
ضریب اطمینان	۲	
δ(S/N)	۳٫۱۷	

اندازه‌های عملی برای کاهش سطح نوفه.

در محیط‌های پرنوفه، به طور کلی سه راه برای غلبه بر مشکلات نوفه زیاد وجود دارد:

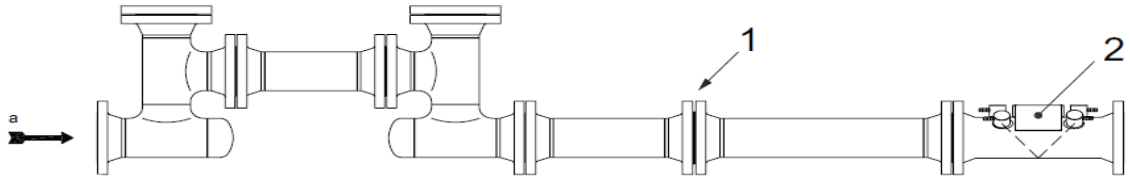
الف- با تضعیف مکانیکی نوفه؛

ب- با انتخاب فرکانس متفاوت برای مبدل؛

پ- با به کار بردن پردازش سیگنال پیشرفته.

الف-۲-۶ تضعیف مکانیکی

انواع مختلف صداخفه‌کن‌ها وجود دارند، بیشتر آن‌ها اشکالاتی دارند همچون حساسیت به جرم‌گرفتگی یا افت فشارهای زیاد. مورد اخیر می‌تواند مهم باشد چون آن می‌تواند به تنظیم کل سیستم اثر بگذارد. یکی از معدود استثناها برای این مورد صداخفه‌کن جزء لوله‌ای نامیده می‌شود (شکل الف۲ رجوع شود، معمولاً به پیکربندی [Brandenburg Gate] ارجاع می‌شود) که دارای یک تضعیف عالی به طور تقریبی ۴۰ dB ترکیب شده با یک افت به نسبت فشار پایین می‌باشد.



راهنما

1 آرام‌ساز جریان

2 جریان‌سنج فراصوت

A نوفه

شکل الف۲ - صداخفه‌کن جزء لوله‌ای نوعی با آرام‌ساز جریان و سنجه فراصوت

طول ورودی مقابل سنجه به طراحی آرام‌ساز جریان و پیکربندی مسیر اکوستیک جریان‌سنج فراصوت بستگی دارد؛ به این خاطر کاربر بهتر است از سازنده مشورت بگیرد.

در ترکیب با تکنولوژی تراکم پالس کدگذاری شده (CPC)، به طور تقریبی موجب تضعیف ۵۵ dB تا ۶۰ dB می‌شود. این ترکیب قادر است تا با تقریباً هر تداخلی مقابله کند.

الف-۲-۷ عناصر لوله‌کشی

رایج‌ترین عناصر لوله‌کشی خم‌های 90°، اتصالات T، و خم‌های خارج از صفحهٔ دوبل هستند. تضعیف آن‌گونه که در جدول الف۱ نشان داده شده است راهنمای کلی است و به فرکانس عملیات، چگالی گاز و شکست سیال بستگی دارد. برای فرکانس مبدل برابر با ۲۰۰ kHz، تضعیف در جدول الف۲ نمایش داده می‌شود.

جدول الف۲- تضعیف عناصر لوله‌کشی (در ۲۰۰ kHz)

عنصر لوله‌کشی	تضعیف نوعی
زانویی	۵ dB
تی	۹ dB تا ۱۰ dB
خم خارج از صفحهٔ دوبل	۱۲ dB
طول مستقیم ۱۰۰ m	۵ dB

الف-۲-۸ سایر عناصر در لوله

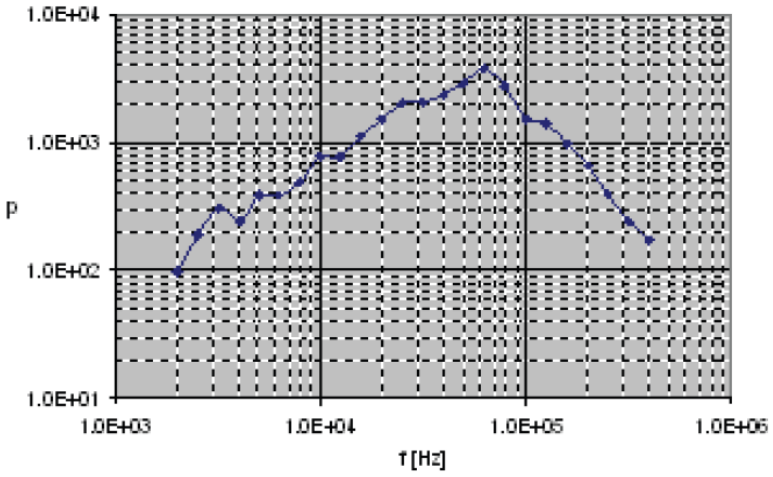
هر جزئی که مانع جریان می‌شود، صوت را پخش می‌کند و بنابراین نوفه را تضعیف می‌کند. در خط لولهٔ انتقال گاز، تنوع زیادی از عناصر نوع انسدادی مثل فیلترها، مبدل‌های حرارتی، آرام‌سازهای جریان صفحهٔ سوراخ، و سایر جریان سنج‌ها مثل صفحات اوریفیس یا سنجه‌های توربین وجود دارند. تضعیف این‌ها، در ۲۰۰ kHz، در جدول الف۳ نمایش داده می‌شود.

الف۳- تضعیف سایر عناصر (در ۲۰۰ kHz)

سایر عناصر	تضعیف نوعی
فیلتر	۱۰ dB تا ۲۰ dB
مبدل حرارتی	۱۰ dB تا ۲۰ dB
سنجه توربین	۱۰ dB تا ۲۰ dB
صفحهٔ اوریفیس	۶ dB ($\beta \leq 0/5$)
صداخفه‌کن جزء لوله‌ای ۴تی	۳۵ dB
صفحهٔ سوراخ‌دار (صاف‌کنندهٔ جریان)	۶ dB

الف-۲-۹ فرکانس مبدل

بسته به طراحی و کاهش فشار آن، نوفه تولید شده به وسیلهٔ شیر معمولاً بیشترین دامنه‌اش را بین ۳۰ kHz و ۸۰ kHz دارد و در فرکانس‌های بالاتر منحرف می‌شود (شکل ۳ رجوع شود). بسته به شیر، آن ممکن است برای اندازه‌گیری سیگنال‌های اکوستیک در فرکانس‌های بالاتر، جایی که سطح نوفه اساساً پایین است، سودمند باشد. جریان‌سنج‌های فراصوت اخیر مبدل‌هایی که در فرکانس‌های در گسترهٔ ۳۰۰ kHz کار می‌کنند را به کار می‌گیرند. شکل ۳ یک توزیع فشار صوتی نوعی را که توسط یک شیر کنترل فشار تولید شده، نشان می‌دهد. در ۸۰ kHz، فشار نوفه در حدود ۱۳۰۰ Pa است؛ در ۳۰۰ kHz آن فقط ۱۱۵ Pa است.



شکل الف۳ - توزیع طیفی فشار صوت

الف-۲-۱۰ پردازش سیگنال

الف-۲-۱۰-۱ کلیات

برای پردازش سیگنال، انتخاب‌های زیادی، بسته به فرکانس مرکز و پهنای باند مبدل وجود دارد. با توجه به سنجه‌های موجود در بازار در زمان انتشار، به طور کلی سه روش به کار رفته وجود دارد:

- ارتباط؛
- انباشت؛
- تراکم پالس کدگذاری شده.

الف-۲-۱۰-۲ روش ارتباط

روش ارتباط یک روش فیلترینگ گسترده با استفاده از الگوریتم دامنهٔ فرکانس است. ناکارآمدی آن فقدان دقت اندازه‌گیری است، و بنابراین این روش معمولاً برای سنجه‌های برای انتقال حفاظت به کار نمی‌رود.

الف-۲-۱۰-۳ انباشت

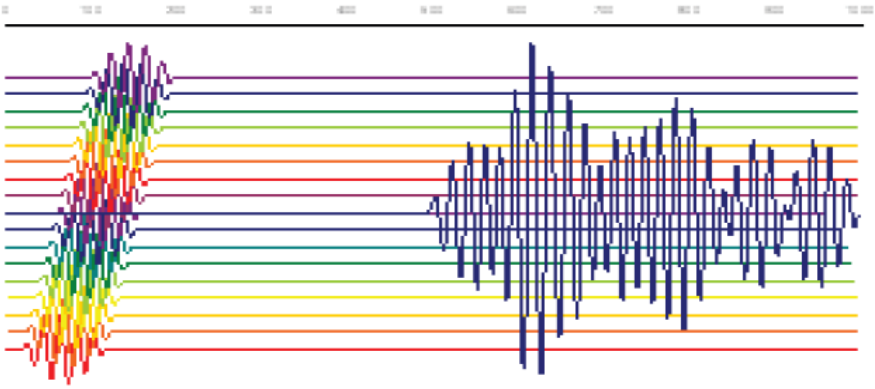
انباشت روشی است که آن نیز به طور گسترده استفاده می‌شود، برای نمونه در نوسان‌نمای دیجیتال. بدین وسیله تعدادی از سیگنال‌های دریافتی بر روی همدیگر انباشت می‌شوند. با فرض این‌که سیگنال‌های فراصوت هم‌فاز هستند و نوفه مرتبط همفاز نیست، نرخ سیگنال به نوفه با تعداد سیگنال‌های انباشته شده افزایش می‌یابد.

انباشت نوعاً نرخ سیگنال به نوفه را با ریشه دوم اندازهٔ انباشت بهبود می‌دهد، مثلاً انباشت نه سیگنال دریافتی نرخ سیگنال به نوفه را با یک ضریب ۳ یا ۱۰ dB افزایش می‌دهد.

لازمهٔ موفقیت، پایداری زمان در سیگنال‌های دریافتی است، و این ضعف این روش برای اندازه‌گیری جریان فراصوت است. به خاطر آشفتگی، زمان‌های گذار فراصوت نسبت به نوسان که با عنوان ناپایداری سیگنال مشخص می‌شوند، برای نوسان مستعدند. در موقعیت‌هایی که اختلال زمانی نسبتاً کوچک است، انباشت می‌تواند با موفقیت به کار برده شود. گرچه، در سرعت‌های جریان بالاتر، اختلال زمانی تا چنان سطحی که اندازه‌گیری دیگر امکان‌پذیر نیست، افزایش می‌یابد.

الف-۲-۱۰-۴ تراکم پالس کدگذاری شده

CPC یک تکنولوژی پردازش سیگنال طراحی شده برای غلبه بر اختلال زمانی- مربوط به مشکلات انباشت- است. برای احیای سیگنال اصلی و حذف جزء اختلال زمانی، به جای یک سیگنال منفرد، یک ازهم‌پاشیدگی پیچیده شامل تعداد زیادی از پالس‌های منفرد انتقال‌دهنده در الگوی کدگذاری شدهٔ زمانی معین تولید می‌شود (به شکل الف۴ رجوع شود). در محل دریافت، این کد زمانی منتقل شده برای احیای سیگنال اصلی به کار می‌رود.



شکل الف۴ - انتقال یک ازهم‌پاشیدگی چندپالسی

کتاب‌نامه

[۱] استاندارد ایران ایزو شمارهٔ ۵۱۶۸، اندازه‌گیری جریان سیال- روش اجرایی برای عدم قطعیت

[۲] استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۸۹۵۱، اندازه گیری جریان گاز درون مجاری بسته -وسایل اندازه‌گیری توربینی

[۳] استاندارد ایران ایزو آی‌ای‌سی شمارهٔ ۱۷۰۲۵، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

[۴] استاندارد ایران ایزو آی‌ای‌سی شمارهٔ ۴-۹۸۱۹، کمیت‌ها و یکاها-قسمت ۴: مکانیک

[5] lSO 3, *Preferred numbers - Series of preferred numbers*

[6] lSO 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full - Part 1: General principles and requirements*

[7] ISO 7870-4, *Control charts - Part 4: Cumulative sum charts*

[8] ISO 11631:1998, *Measurement of fluid flow - Methods of specifying flowmeter performance*

[9] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

[10] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

[11] AGA 10, *Speed of sound in natural gas and other related hydrocarbon gases*

[12] GERG 2008 wide-range equation of state for natural gases and other mixtures GERG TM15 2007

[13] OIML D 11, *General requirements for electronic measuring instruments*. Available (2012-06-06) at: http://www.oiml.org/publications/D/D011-e04.pdf

[14] OIML R 137-1, *Gas meters - Part 1: Requirements*. Available (2012-06-06) at: http://www.oiml. org/publications/R/R137-1-e06.pdf

[15] Directive 2004/22/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on measuring instruments. *Off. J. Eur. Union* 2004-04-30, **L135**, pp. 1–80

[16] Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment. *Off. J. Eur. Union* 1997-07-09, **L181**, pp. 1–68

[17] Broca O., Escanda J., Delenne B. Influence of flow conditions on an ultrasonic flow meter. Flomeko, 2003

[18] de Boer G ., H uijsmans F. New design concepts in ultrasonic gas flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000

[19] de Boer G., Kurth M. Investigation regarding installation effects for small ultrasonic metering packages. North Sea Flow Measurement Workshop, 1999

[20] Bokhorst E. Impact of pulsation sources in pipe systems on multipath ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000

[21] Brown G. Velocity profile effects on multipath ultrasonic flow meters. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006

[22] Calogirou A., Boekhoven J., Henkes R.A.W.M. Effect of wall roughness changes on ultrasonic gas flow meters. *Flow Meas. Instrum.* 2001, **12**(3), pp. 219–229

[23] Commissaris K.H., De Boer G. Realization of compact metering runs with ultrasonic gas flow meters and reducing measurement uncertainty. Flomeko, 2003
[24] Coull J.C., Barton N.A. Investigation of the installation effects on ultrasonic flow meters and evaluation of computational fluid dynamics prediction methods. North Sea Flow Measurement Workshop, 2002
[25] Dane H.J., Wilsack R. Upstream pipe wall roughness influence on ultrasonic flow measurement. AGA Operations Conference, 1999
[26] Drenthen J.G., Kurth M ., Vermeulen M. The use of ultrasonic flow meters at M&R stations. AGA Operations Conference, 2006
[27] Drenthen J.G., De Boer G. The manufacturing of ultrasonic gas flow meters. *Flow Meas. Instrum.*2001, **12**(2), pp. 89–99
[28] Drenthen, J.G. The use of the speed of sound as a verification tool. Instromet International publication, 2000
[29] Drenthen J.G., Kurth M., Van Klooster J. A novel design of a 12 chord ultrasonic gas flow meter with extended diagnostic functions. AGA Operations conference, 2007
[30] Folkestad T., Flolo D., Tunheim H., Nesse O. Operating experience with two ultrasonic gas meters in series. North Sea Flow Measurement Workshop, 2003
[31] Furuichi N ., S ato H ., Terao Y. Effect of surface roughness of pipe wall for transit time ultrasonic flowmeter. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006
[32] GERG Project Group. *Present status and future research on multi-path ultrasonic gas flow meters*. Programme Committee No. 2: Transmission and Storage, Groupe Européen De Recherches Gazières, 1995. (GERG Technical Monograph 8)
[33] GERG Project Group.*GERG project on ultrasonic gas flow meters, Phase II*. (GERG Technical Monograph 11.)
[34] GERG Project Group. Evaluation of flow conditioners - Ultrasonic meters combinations. North Sea Flow Measurement Workshop, 2004
[35] Grimley T.A. Performance testing of ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1997
[36] Karnik U., Geerlings J. The effect of steps and wall roughness on multipath ultrasonic meters. 5th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2002
[37] Kegel T.M. Uncertainty analysis of turbine and ultrasonic meter volume measurements. AGA Operations Conference, Orlando, FL, 2003
[38] Lansing J ., D e Boer G. Benefits of dry calibration of ultrasonic gas flow meters. AGA Operations Conference, 1998
[39] Mantilla J., Haner W. Process variable stability, data processing and installation end environmental influences during ultrasonic meter calibration. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006
[40] Moore P.I., Brown G.J., Stimpson B.P. Modelling of transit time ultrasonic flow meters in theoretical asymmetric flow. Flomeko, 2000
[41] Moore P.I. Modelling of installation effects on transit time ultrasonic flow meters in circular pipes, Ph.D. thesis, University of Strathclyde, 2000
[42] Morrison G.L., Tung K. *Numerical simulation of the flow field downstream of 90 degree elbows and the simulated response of an ultrasonic flow meter*. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2001. (Report No. GRI-01/0090.)
[43] Morrison G.L. *Pipe wall roughness effect upon orifice and ultrasonic flow meters*. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2001. (Report No. GRI-01/0091.)

[44] Morrison G.L., Brar P. *CFD evaluation of pipeline gas stratification at low flow due to temperature effects*. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2004. (Topical Report GRI-04/0185.)
[45] Morrow, T.B. *Line pressure and low-flow effects on ultrasonic gas flow meter performance*. Chicago, IL: Gas Research Institute, 2005-03. (Topical Report GRI-05/0133.)
[46] Morse P.M., Ingard K.U. *Theoretical acoustics*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1986. 927 p.
[47] Reethof G., Ward W.C. A theoretically based valve noise prediction method for compressible fluids. *J. Vib. Acoust. Stress Reliab. Des*. 1986, **108**, pp. 329–338
[48] Riezebos H.J. Whistling flow straighteners and their influence on US flow meter accuracy. North Sea Flow Measurement Workshop, 2000
[49] Sloet G.H. Bi-directional fiscal metering stations by means of ultrasonic meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1999
[50] Smalling J .W., B raswell L.D. Flare gas ultrasonic flow meter. Proceedings of the 39th Annual Symposium for the Process Industries
[51] Stoll P., Slawig H., Müller C., Boer G., Vermeulen M. Ultrasonic noise characteristics of valves with respect to ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 1998
[52] Vermeulen M.J.M., De Boer G. A model for the estimation of the ultrasonic noise level emitted by pressure regulating valves and its influence on ultrasonic flow meters. North Sea Flow Measurement Workshop, 2003
[53] Vermeulen M.J.M., De Boer G., Buijen van Weelden A., Botter E., Dijkmans R. Coded multiple burst (CMB) signal processing applied to ultrasonic flow meters in applications with high noise levels.
[54]North Sea Flow Measurement Workshop, 2004 [54] Volker H., Wehmeier M., Dietz T., Ehrlich A., Dietzen M. The use of an 8 path ultrasonic meter as a reference standard. 5th International South East Asia Hydrocarbon Flow Measurement Workshop, 2005
[55] Wilsack R. Integrity of custody transfer measurement and ultrasonic technology. CGA Measurement School, 1996
[56] Zanker K. The calibration, proving and validation of ultrasonic flow meters. 6th International Symposium on Fluid Flow Measurement, 2006.