

آزمایشی سختی‌گیرهای اصلاح فیزیکی آب

Dr. D. Stefanini, January 1996

تهیه و تنظیم: واحد تحقیق و توسعه شرکت رادین گستر سینا
مهندس نیما رهبر

آنچه پیش روی شماست، مقاله‌ای است که در سال 1996 توسط دکتر دنیل استفانی ارائه گردیده است. در این مقاله، ابتدا انواع و اقسام سختی‌گیرهای اصلاح فیزیکی مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه نحوه آزمایش عملکرد هر یک از آنها به صورت مجزا تشریح شده است.

مقدمه

- تابه امروز انواع متعددی از دستگاه اصلاح فیزیکی آب در نقاط مختلف جهان طراحی و ساخته شده اند که این سختی‌گیرها را می توان در گروه های زیر دسته بندی کرد :
- ۱- سختی‌گیرهای مغناطیسی نفوذ کننده^۱
 - ۲- سختی‌گیرهای مغناطیسی لوله ای^۲
 - ۳- سختی‌گیرهای الکترو مغناطیسی نفوذ کننده^۳
 - ۴- سختی‌گیرهای الکترو مغناطیسی سطحی^۴
 ۵. سختی‌گیرهای الکترولیتی^۵
 ۶. سختی‌گیرهای الکترو مغناطیسی با یک سیم پیچ^۶
 ۷. سختی‌گیرهای الکترو مغناطیسی با دو سیم پیچ^۷
 ۸. رسوبزدای هیدروفلو^۸
 ۹. سایر انواع سختی‌گیرها^۹

مرکزی کریستال ها را تشکیل می دهند که نتیجه آن بر بروز پدیده کریستالیزاسیون در سیستم است.

نکات منفی سختی گیر های مغناطیسی نفوذ کننده

وابستگی این نوع سختی گیرها به نرخ جریان و قابلیت هدایت الکتریکی آب عملاً منجر به غیر قابل اعتماد بودن این سیستم ها می شود (لازم به یادآوری است که در صنعت ، تنظیم دقیق جریان و میزان هدایت الکتریکی آب در مقدار مشخص غیر ممکن است) نکته دیگر آن که در سختی گیرهای مغناطیسی ، کلیه ذرات فلزی و آهنی معلق در آب به وسیله آهن ربای دائمی سیستم جذب می شوند که این مساله موجب کاهش راندمان دستگاه و افزایش احتمال مسدود شدن کامل مسیر لوله می شود. در این صورت ، شدت میدان مغناطیسی در مناطق دور از آهن ربا به میزان قابل توجهی کاهش می یابد و آن هم به نوبه خود موجب کاهش احتمال شکل گیری توده های یونی در این نقاط میشود و به این ترتیب خارج از محدوده سختی گیر امکان تشکیل هسته های مرکزی وجود نخواهد داشت .

سختی گیر های مغناطیسی بر روی لوله های پلاستیکی، لوله های PVC و P.P قابل استفاده نیستند ، چرا که در عمل بدون وجود یک مسیر رسانا برای عبور جریان، امکان شکل گیری میدان الکتریکی وجود نخواهد داشت. در هر صورت این نوع سختی گیری ها در سیستم های سیرکولاسیون صنعتی موفقیت بسیار ناچیزی داشته اند .

سختی گیرهای مغناطیسی لوله ای

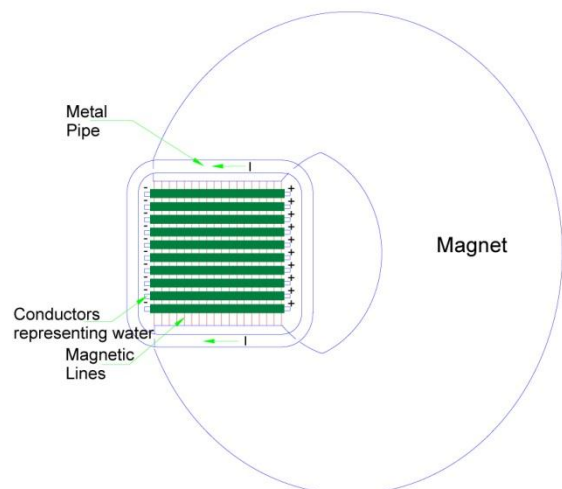
این سختی گیرها از آهن رباهای سرامیکی به همراه پوشش محافظ پلاستیکی ساخته میشوند. در این سختی گیرها برای ایجاد خطوط شار مغناطیسی، دو آهن ربای مجاز به شکل نیم استوانه بر روی لوله سوار می شود . شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده به وسیله این دو آهن ربا به واسطه فاصله هوایی بزرگ بین آنها تضعیف میشود البته در این سختی گیرها هیچ راهی برای کنترل و تنظیم سرعت جریان آب وجود ندارد. ضمن آن که تا به امروز هیچ گواه محکم و قابل اطمینانی دال بر مزیت به کارگیری این سختی گیرها برای افزایش راندمان و بهبود عملکرد سیستم ها ارائه نشده است .

این که آیا دستگاهی با این ساختار اساساً قابلیت ایجاد یک میدان الکتریکی برای تشکیل هسته های مرکزی جهت رشد کریستال ها را دارد یا خیر، مساله ای است که هنوز هم به دیده شک و تردید به آن نگرینسته میشود. البته سازندگان این نوع سختی گیرها مدعی هستند که تولیداتشان بر روی هر نوع لوله با هر جنسی کارایی دارد. اما به همان دلیلی که پیش از این گفته شد ، چنین ادعایی نمی تواند صحت داشته باشد . معایب این سختی گیرها نیز مشابه با معایب سختی گیرهای مغناطیسی نفوذ کننده است .

این نوع سختی گیرها از جمله اولین تجهیزات اصلاح فیزیکی آب به شمار میروند . پس از این کشف که آبی که از روی صخره هایی با خاصیت مغناطیسی عبور می کند رسوب نمی گذارد ، این نوع سختی گیرها تولید شدند. در شکل (۱) نحوه عملکرد سختی گیرهای مغناطیسی نفوذ کننده نمایش داده شده است در این سختی گیرها ، هادی ها نمایش دهنده آبی هستند که در هنگام حرکت در سیستم لوله کشی ، خطوط شار میدان را قطع نموده و ولتاژی تولید می کنند که با علامت مثبت و منفی روی هادی ها نمایش داده شده است ولتاژ ایجاد شده در این سیستم به عواملی مانند سرعت آب عبوری و قدرت میدان الکترو مغناطیسی بستگی دارد.

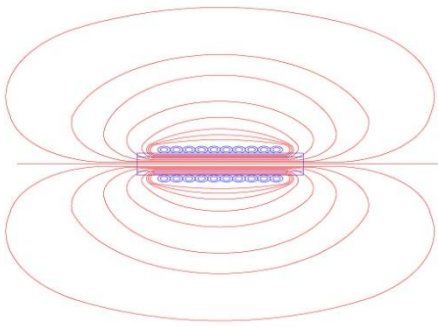
حرف ا روی شکل ۱ بیانگر شدت جریانی است که به واسطه ولتاژ اعمال به سیستم برقرار می شود . جریان تولید شده در این سیستم از نوع جریان مستقیم DC بوده و مقدار آن با ولتاژ و قابلیت هدایت الکتریکی آب متناسب است . اختلاف پتانسیل (ولتاژ) موجود موجب میشود تا این سیستم همانند یک پیل الکترو شیمیایی عمل کرده و یون های فلزی را در آب آزاد کند که نتیجه آن ایجاد خوردگی در سیستم خواهد بود .

تمامی توده ها و هسته های یونی که به واسطه میدان مغناطیسی در سیستم تشکیل می شوند به همراه جریان آب به سمت منابع گرما (مانند دیگها ، مبدل ها و ...) هدایت نمیشوند . بعضی از این توده ها نیز با جذب یون های بیشتر ، به تدریج رشد نموده و بعضی از آنها مجدداً در آب حل میشوند . این توده ها ساختار پایداری ندارند و بعد از گذشت زمان نسبتاً کوتاهی (تقریباً سه و نیم دقیقه) به یون های تشکیل دهنده اولیه تجزیه می شوند. در صورتی که تعداد کافی از توده های یونی به منابع گرما برسند ، این توده ها به تدریج رشد کرده و هسته

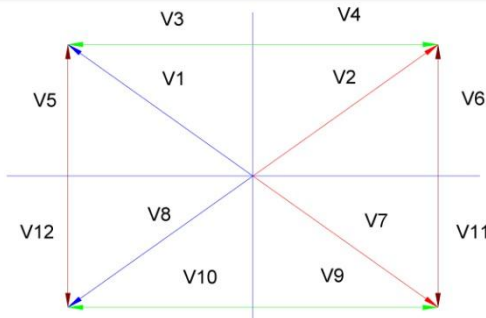


شکل (۱) نحوه عملکرد یک سختی گیر مغناطیسی نفوذ کننده

سختی گیرهای الکترو مغناطیسی



شکل (۲) مقطع یک لوله، سیم پیچ دور آن و خطوط میدان مغناطیسی



شکل (۳) ولتاژهای ایجاد شده در آب

این مساله در ادامه این مقاله در قالب آزمایشی که به طور اختصاصی برای اندازه گیری این نوع ولتاژها طراحی شده نشان داده خواهد شد .

علاوه بر دلایل یاد شده ، در این روش برای تغییر جهت میدان الکتریکی دلایل دیگری نیز وجود دارد که اصلی ترین آن اغتشاش جریان آب در داخل لوله است به دلیل جریان مغشوش ایجاد شده در داخل لوله ، امکان جریان یافتن سیال به صورت لایه ای وجود نخواهد داشت . اغتشاش جریان به عواملی مختلفی بستگی دارد که این عوامل می تواند در هر دستگاه شرایط کاملاً متفاوتی را ایجاد کند. عبور جریان مغشوش از میان خطوط محوری میدان مغناطیسی موجب ایجاد ولتاژهای نامتقارنی در داخل سیم پیچ می شود. این شرایط متغیر را می توان دلیلی بر عملکرد نسبتاً موفق تعدادی از دستگاه ها و عدم کارکرد بسیاری دیگر از آنها دانست .

ساختار این نوع سختی گیرها به گونه ای است که باید بر روی لوله بسته شوند . به همین دلیل ، جنس لوله تاثیر چشمگیری بر عملکرد آنها بر جای می گذارد. از آنجا که سیم پیچ حول لوله در راستای لوله قرار داشته و کاملاً روی آن قرار می گیرد در این سیستم ها ، لوله همانند سیم پیچ ثانویه یک ترانسفورماتور که اتصال کوتاه شده است عمل می کند (شکل ۴) در این مورد، بخش عمده توان الکتریکی به صورت گرما تلف می شود که این مساله به ویژه در مورد لوله های مسی بیشتر مشهود است و موجب می شود راندمان سیستم به میزان قابل توجهی کاهش یابد.

با طراحی صحیح سختی گیرهای الکترو مغناطیسی ، امکان ایجاد یک میدان مغناطیسی قوی با استفاده از امواج الکترو مغناطیسی وجود دارد. در این نوع سختی گیرها ، با محدود کردن جریان می توان نرخ جریان را کنترل کرد. البته این دستگاه تمامی معایب دستگاه های مغناطیسی نفوذ کننده که پیش از این مطرح شد را دارد. البته این نوع سختی گیرها علاوه بر معایب یاد شده عیب دیگری را نیز دارند. به این صورت که در این سختی گیرها برای ایجاد میدان مغناطیسی توسط سیم پیچ ، یک منبع الکتریکی مورد نیاز است که این مساله موجب افزایش هزینه نصب و کارکرد سیستم می شود. تنها مزیت سختی گیر الکترو مغناطیسی نسبت به سختی گیرهای مغناطیسی آن است که در سختی گیرهای الکترو مغناطیسی با قطع جریان الکتریکی میتوان میدان الکترو مغناطیسی را به طور موقت قطع و ذراتی که بر روی سطح داخلی لوله جمع شده اند را از آن جدا نمود .

سختی گیرهای الکترو مغناطیسی سطحی

به سیستم هایی اطلاق می گردد که در آنها برای تولید میدان مغناطیسی ، کابل های سیگنال به دور لوله های آب پیچیده میشوند. ساختار این سیستم ها به گونه ای است که در آنها امکان استفاده از سیم پیچ های 50HZ یا سیم های تکی پیچیده شده به دور لوله وجود دارد. در نوع اخیر معمولاً سیگنالی به صورت یک موج مربعی با فرکانس آلتراسونیک به مدار اعمال می گردد .

شکل (۲) مقطع یک لوله و سیم پیچ دور آن را نمایش میدهد. خطوط قرمز در این شکل نشان دهنده خطوط میدان مغناطیسی هستند . همان طور که ملاحظه میشود ، در این سیستم بیشتر خطوط میدان مغناطیسی موازی با جهت حرکت سیال هستند بنابراین از نظر تئوری ، در داخل میدان مغناطیسی میدان الکتریکی تشکیل نخواهد شد .

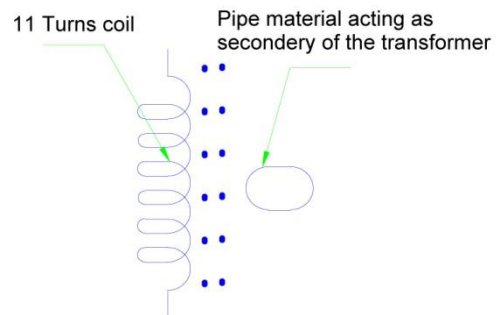
بعضی از خطوط میدان مغناطیسی در انتهای سیم پیچ ، بین قطبها منتقل شده و سیال در حال عبور را با زاویه کم قطع میکنند به این ترتیب ، میدان الکتریکی ضعیفی در دو انتهای کوئل به وجود می آید که این میدان عمود بر خطوط میدان مغناطیسی است در شکل ۳ ولتاژهای ایجاد شده را به واسطه میدان یاد شده نمایش داده شده است. از آنجا که به همراه هر خط میدان مغناطیسی ، خطی برابر و قرینه آن در همان محور وجود دارد ، ولتاژهای V8, V1, V2, V7 در مجموع یکدیگر را خنثی می کنند. بردارهای ولتاژ بر روی دو محور اصلی را نیز میتوان به بردارهای برابر و قرینه V3, V5, V4, V11, V6, V10, V12, V9 تقسیم بندی نمود . بنابراین به دلیل آن که تمامی این بردارها برابر و قرینه یکدیگر هستند، مقدار ولتاژ نهایی باید برابر با صفر باشد در عمل به دلیل توزیع نامتقارن خطوط میدان مغناطیسی ، مقدار ولتاژ دقیقاً برابر با صفر نخواهد بود و مقدار بسیار کمی ولتاژ در سیستم وجود خواهد داشت .

سختی گیرهای الکترولیتی

سختی گیرهای الکترولیتی در واقع همانند یک پیل شیمیایی عمل می کنند. اساس کار این نوع سختی گیرها درست همانند نحوه کارکرد پیل های شیمیایی است به این صورت که هرگاه الکتروود های فلزی از جنس مواد مختلف مانند مس و روی در داخل یک محلول الکترولیت قرار بگیرند و اختلاف پتانسیلی بین آنها ایجاد شود. در صورتی که این دو الکتروود را توسط یک هادی به هم متصل کنیم جریانی بین آنها برقرار خواهد شد. در این صورت آند یون های روی را در الکترولیت (آب) آزاد می کند. آزاد شدن یون های مثبت روی به داخل آب ، موجب میشود تا کاترون ها از طریق هادی به الکتروود مسی (کاتد) هدایت شوند . این فرایند تا اتمام کامل آند (الکتروود از جنس روی) ادامه خواهد داشت .

این مساله در ادامه این مقاله در قالب آزمایشی که به طور اختصاصی برای اندازه گیری این نوع ولتاژ ها طراحی شده نشان داده خواهد شد .

در شکل ۵ ساختار کلی یک سختی گیر الکترولیتی نشان داده شده است. در این نوع سختی گیرها ، الکتروود ها به یک مقاومت الکتریکی یک مگا اهمی متصل میشوند . این عمل جهت بالابردن عمر الکتروود آند (الکتروود از جنس روی) صورت می گیرد ، اما میدان الکتریکی ایجاد شده در آب را نیز به شدت کاهش می دهد . بنابراین به کارگیری این تجهیزات بامشکلاتی مانند بهبود عملکرد سختی گیر به قیمت کاهش- عمر مفید سختی گیر همراه خواهد بود از این سازندگان این نوع سختی گیرها باید تعادل مناسبی بین عمر مفید الکتروود و کارایی بهینه دستگاه ایجاد نماید.



شکل (۴) چگونگی کارکرد سختی گیرهای الکترومغناطیسی سطحی

نکات منفی سختی گیرهای الکترولیتی

سختی گیرهای الکترولیتی معایب بسیاری دارند که عمده ترین آنها عبارتند از :

- ۱- عمر مفید این نوع سختی گیرها قابل پیش بینی نیست، چرا که این مساله اساساً به قابلیت هدایت الکتریکی آب بستگی دارد که در نقاط مختلف دارای محدوده تغییرات گسترده ای است .
- ۲- ساختار و عملکرد سختی گیرهای الکترولیتی به گونه ای است که با از بین رفتن آند ، عملکرد دستگاه نیز بلافاصله متوقف می شود که این مساله ممکن است موجب شود تا تجهیزات گران قیمت در معرض آسیب قرار گیرند.
- ۳- در صورت استفاده از سختی گیرهای الکترولیتی ، یون های روی در آب آشامیدنی آزاد میشوند .
- ۴- به منظور کسب اطمینان از عملکرد قابل اطمینان سختی گیر ، بازرسی متداول و دائم از دستگاه ها الزامی است که این مساله هزینه زیادی را به همراه خواهد داشت .
- ۵- عملکرد این نوع سختی گیرها وابسته به جریان آب است .

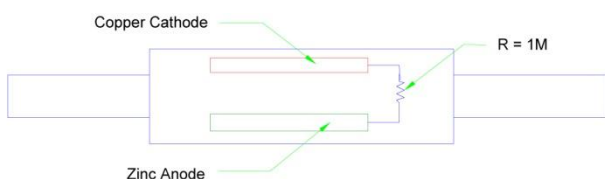
با دقت در عملکرد کلیه دستگاه های فوق این نکته را درمی یابیم که تنها میدان الکتریکی (نه میدان مغناطیسی) است که برای جلوگیری از تشکیل رسوب نقش دارد .

مقایسه سختی گیرهای اصلاح فیزیکی

در حال حاضر شرکت های بسیاری در زمینه تولید سختی گیرهای الکترومغناطیسی با یک سیم پیچ فعال هستند. طراحی تمامی انواع این سختی گیرها اساساً به یکی از دوشیوه زیر انجام می گیرد :

۱. سیم پیچ حول لوله پیچیده شده و به سیگنال ژنراتور متصل میشود .
۲. دو سیم پیچ حول لوله پیچیده شده و یک سر هر یک از سیم پیچ ها به سیگنال ژنراتور متصل میشوند و سردیگر باز می ماند .

اولین شیوه طراحی ابتدا توسط مخترعان هلندی و دومین شیوه طراحی اولین بار توسط مخترعان بلژیکی بکار گرفته شد.

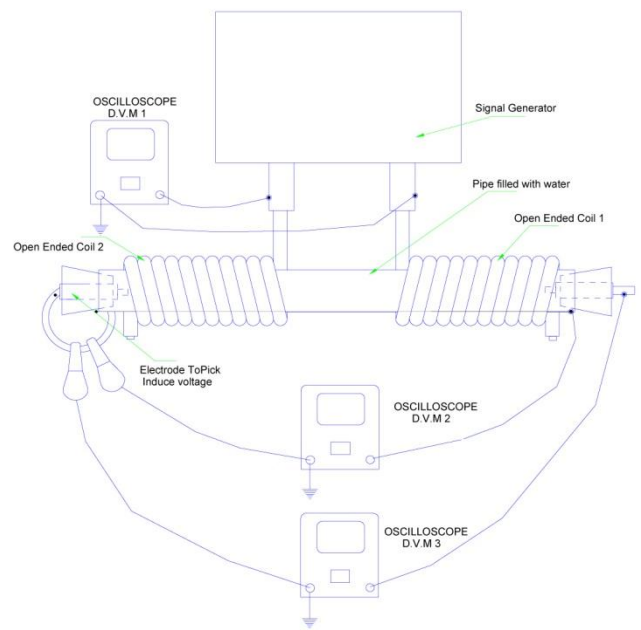


شکل (۵) ساختار کلی یک سختی گیر الکترولیتی

به طور کلی در تمامی این تجهیزات ، محدوده فرکانس سیگنالی که به صورت موج مربعی تولید می شود بین 1kHz تا 6kHz است . علاوه بر سختی گیر هیدروفلو، دو سختی گیر دیگر تولید شده در انگلستان نیز برای این آزمایش انتخاب شد. برای آزمایش سیگنال های تولید شده توسط چنین دستگاه هایی یک روش ساده وجود دارد. از این روش می توان برای آزمایش سختی گیر اصلاح فیزیکی هیدروفلو نیز استفاده کرد.

روش آزمایش سختی گیر الکترومغناطیسی با یک سیم پیچ

در شکل (۶) روش اتصال تجهیزات آزمایش به سختی گیر الکترومغناطیسی با یک سیم پیچ نشان داده شده است. هدف از این آزمایش، اندازه گیری شدت سیگنال القا شده توسط سختی گیر است. بر مبنای نتایج این آزمایش می توان فناوری های مختلفی را برای القای سیگنال مورد نظر به آب به کار گرفت که بر سرعت رسوب گرفتگی تأثیر می گذارند.



شکل (۶) چگونگی اتصال تجهیزات آزمایش به سختی گیر الکترومغناطیسی با یک سیم پیچ

به طور کلی برای القای میدان الکتریکی در داخل آب می توان از دو روش استفاده کرد. اولین روش ، اتصال مستقیم منبع ولتاژ به آب به روش تماسی است. به این صورت که اگر لوله دارای ولتاژ باشد، این ولتاژ به واسطه سطح تماس بین لوله و آب ، از لوله رسانا به آب منتقل می شود. دومین روش نیز مبتنی بر القای مستقیم ولتاژ به آب با استفاده از یک میدان مغناطیسی است . این آزمایش برای بررسی دومین روش، طراحی شده است.

برای انجام این آزمایش و به منظور اندازه گیری هم زمان مقادیر ولتاژ بهتر است از دو یا سه اسیلوسکوپ استفاده کرد. البته این آزمایش را می توان با استفاده از یک اسیلوسکوپ نیز انجام داد. اما در این صورت، مقادیر اندازه گیری شده در هر یک از نقاط باید به صورت دستی یادداشت شوند تا در پایان امکان مقایسه و بررسی آن ها وجود داشته باشد.

سیم پیچ ها به دور یک لوله مسی با طول کوتاه که آب در داخل آن جریان دارد پیچیده می شوند. آزمایش با استفاده از سختی گیر هیدروفلو در وضعیتی انجام می گیرد که یکی از لوله ها حامل جریان آب بوده و دیگری به همراه یک سیم در قسمت میانی لوله است. سختی گیر هیدروفلو نیز در میانه لوله مسی نصب می شود. این لوله در دو انتها در جای خود محکم می شود و برای اندازه گیری ولتاژ القا شده با استفاده از اسیلوسکوپ ، نقاط مناسبی روی آن تعیین می گردد که در صورت وجود هر نوع میدان مغناطیسی در لوله ، یک میدان الکتریکی در آب القا می شود . در آزمایش دوم نیز ، آزمایش اول به همان شکل انجام می گیرد با این تفاوت که این بار، لوله پر از آب است.

برای آزمایش سختی گیر الکترومغناطیسی با یک سیم پیچ، باید قسمت VOLT/ DIV اسیلوسکوپ را روی 2V تنظیم کرد. SWIP TIME/ DIV نیز باید روی 0. 1ms قرار داده شود. از آنجا که اندوکتانس سیم پیچ مقدار بسیار کمی است، برای آن که امکان مشاهده سیگنال خروجی وجود داشته باشد، باید یک سر سیم پیچ را از سیگنال ژنراتور جدا کنیم . به این ترتیب، اسیلوسکوپ باید مستقیماً به ترمینال های خروجی سیگنال ژنراتور متصل شود. در شکل (7) سیگنالی که روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می شود نشان داده شده است. ولتاژ مضاعف (حداقل تا حداکثر ¹¹) برابر با 4V و فرکانس بین 5KHz تا 6KHz خواهد بود. لازم به ذکر است که محدوده یاد شده ، حداکثر فرکانس است.

در ادامه ، باید سیم پیچ را به سیگنال ژنراتور متصل کنیم. در این حالت نیز برای آن که امکان مشاهده سیگنال وجود داشته باشد، VOLT/ DIV اسیلوسکوپ باید روی 5mV(0.005V) قرار داده شود. در صورتی که اسیلوسکوپ روی X10 تنظیم شده است، آن را به X1 کاهش شد، همانند آن چیزی است که در شکل (8) نشان داده شده است. در این حالت نیز مقدار ولتاژ مضاعف 15mV خواهد بود. فرکانس نیز بین 240Hz و 6kHz نگه داشته خواهد شد .

روش آزمایش سختی گیر الکترومغناطیسی با دو سیم پیچ

مشابه با شکل (10) ، اسیلوسکوپ را به هردوسیم پیچ سختی-گیر متصل کنید. VOLT/ DIV اسیلوسکوپ را روی 5V قرار داده و TRIGGERLEVEL را به گونه ای تنظیم کنید که سیگنال مشاهده شده روی صفحه اسیلوسکوپ همانند شکل (۷) باشد. ولتاژ مضاعف نشان داده شده روی صفحه اسیلوسکوپ برای امواج مربعی بین 12V تا 30V خواهد بود. ولتاژ مضاعف سیگنالهای نشان داده شده روی اسیلوسکوپ شماره دو و سه نیز همانند شکل (۸) و برابر با 200mV خواهد بود.

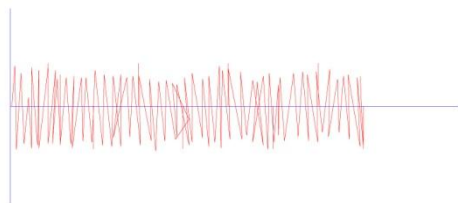
این آزمایش با سیم داخل لوله نیز قابل انجام است که در این صورت نیز نتایج یکسانی به دست خواهد آمد.

همان طور که ملاحظه می شود، مقدار انرژی القا شده در چنین سیستمی بسیار محدود است.

روش آزمایش رسوبزادای هیدروفلو

رسوبزادای هیدروفلو را مطابق شکل (۱۱) به اسیلوسکوپ متصل کنید. VOLT/ DIV را روی 1V تنظیم کنید. با استفاده از سختی گیر هیدروفلو مدل HS38 ، مقدار ولتاژ مضاعف معمولاً برابر با 8V خواهد بود. روی سیم میانی لوله نیز دقیقاً همین ولتاژ اندازه گیری می شود. با وجود آن که هیچ ارتباطی بین لوله و سیم عایق کاری شده داخل آن وجود ندارد، اما مقادیر ولتاژ اندازه گیری شده دقیقاً یکسان خواهد بود. علت این مسأله را می توان در میدان الکتریکی هم محور و نوسانی تولید شده توسط رسوبزادای هیدروفلو جست و جو کرد.

میدان الکتریکی با لوله به صورت هم محور است . این آزمایش را می توان یک بار دیگر، مطابق با جزییات نشان داده شده در شکل (۱۲) تکرار کرد. در این صورت نیز شکل موج و مقادیر ولتاژ دقیقاً یکسان خواهد بود. علت این مسأله آن است که آبی که در داخل لوله جریان دارد همانند یک رسانا عمل نموده و همان ولتاژ ولتاژ را القا می کند.

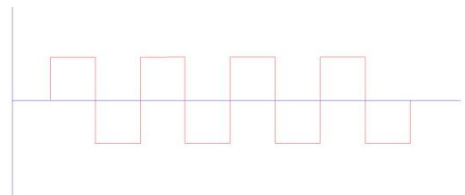


شکل (۹) سیگنال مشاهده شده روی صفحه اسیلوسکوپ

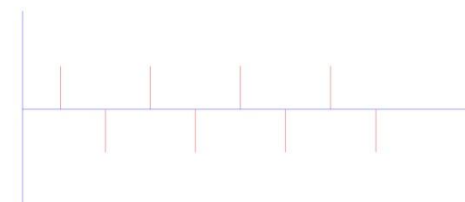
لازم به ذکر است که کاهش قابل توجه خروجی در این حالت به دلیل بار بزرگی است که یک اندوکتانس کوچک بر سیگنال ژنراتور اعمال می کند.

در حالت بعد ، VOLT/ DIV اسیلوسکوپ را به 1mV کاهش داده و میله اندازه گیری را روی لوله قرار دهید. به این ترتیب ، سیگنال مشاهده شده به صورت شکل (۹) خواهد بود. ولتاژ مضاعف القا شده 1mV به قدری پایین است که توسط اسیلوسکوپ به عنوان پارازیت یا نویز^{۱۲} در نظر گرفته می شود.

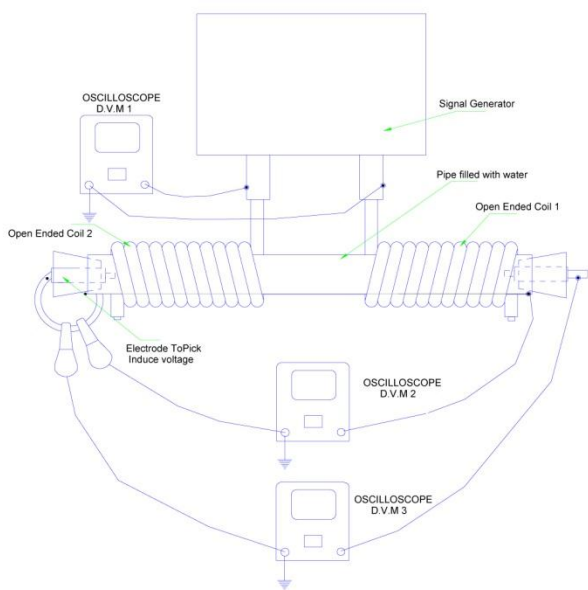
در ادامه ، میله اندازه گیری اسیلوسکوپ را به سیمی که در قسمت میانی لوله قرار گرفته است متصل کنید. با تنظیم دقیق TRIGGER LEVEL اسیلوسکوپ، می توان سیگنالی مشابه با سیگنال نشان داده شده در شکل (۸) را با ولتاژ مضاعف 1mV مشاهده کرد. این سیگنال در واقع قوی ترین سیگنالی است که چنین سیستمی قادر است در آب القا کند. انرژی منتقل شده به واسطه سیگنال الکتریکی نوسانی در واقع مقدار RMS (جذر میانگین مربعات) یا ولتاژ DC معادلی است که می تواند همان انرژی را تولید کند. برای مثال، در صورتی که ولتاژ مضاعف یک موج AC سینوسی برابر با 4.2V باشد، ولتاژ DC معادل با آن 1.5V خواهد بود. در واقع این انرژی میدان الکتریکی است که بر جهت گیری یون های حلال نقش دارد. همان طور که در شکل (۸) نشان داده شد، مقدار RMS در مقایسه با مقدار حداقل تا حداکثر به صورت یک موج ضربه ای آبی است.



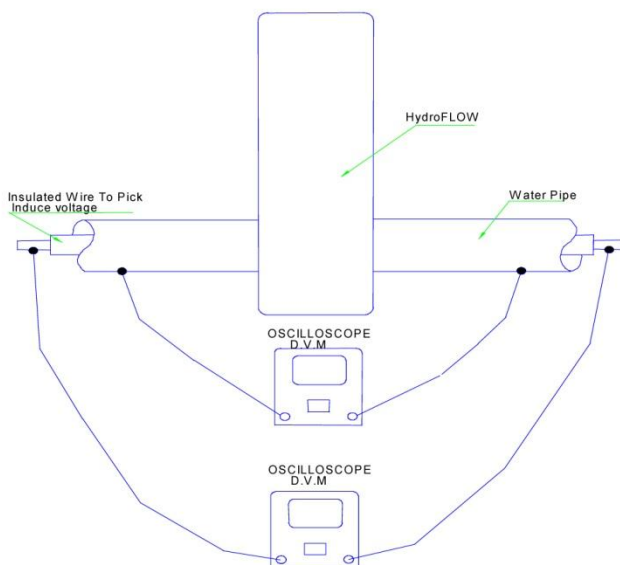
شکل (۷) سیگنال مشاهده شده روی صفحه اسیلوسکوپ



شکل (۸) سیگنال مشاهده شده روی صفحه اسیلوسکوپ



شکل (۱۰) روش آزمایش سختی گیر الکترومغناطیسی با دو سیم پیچ



شکل (۱۱) نحوه اتصال سختی گیر هیدروفلو به اسیلوسکوپ

سختی گیر اصلاح فیزیکی هیدروفلو یک سیگنال ژنراتور پیچیده است که سیگنال ایجاد شده را توسط فریت ها به آب القا می کند. این فناوری دارای گواهی ثبت اختراع بین المللی نیز می باشد. امواج تولید شده توسط این سختی گیر به یک هسته فریتی ارسال می شود. در محدوده کاربردهای متداول، برای ساده سازی عملیات نصب، این هسته به دو مقطع تقسیم می شود که این دو مقطع با استفاده از یک فنر تخت به یکدیگر فشرده می شوند. در کاربردهای تجاری و صنعتی نیز این هسته در چند قسمت ساخته می شود و برای لوله های 30mm تا 2500mm قابل استفاده خواهد بود. به واسطه همین هسته است که میدان الکتریکی هم محور و نوسانی تولید می شود.

میدان الکتریکی هم محور و نوسانی را به اختصار OCMF نیز می نامند و این میدان ولتاژی را در لوله و آب داخل آن القا می کند که مقدار این دو ولتاژ دقیقاً با یکدیگر برابر است. از آنجا که هیچ اختلاف پتانسیلی بین آب و لوله وجود ندارد، بین آن ها جریان الکتریکی برقرار نمی شود. به این ترتیب احتمال بروز هر نوع خوردگی از بین می رود. فرکانس نوسان این میدان نیز معمول بین 100kHz تا 600kHz است (شکل ۱۳).

نتایج حاصل از آزمایش های انجام شده، مزایای سختی گیر هیدروفلو نسبت به سایر انواع سختی گیرها را کاملاً نمایان می سازد. نتایج حاصل از این آزمایش ها حاکی از آن است که به استثنای سختی گیر هیدروفلو، تمامی انواع دیگر سختی گیرها تنها در محل نصب بر وضعیت رسوب گرفتگی تأثیر می گذارند. ضمن آن که عملکرد این سختی گیرها اساساً وابسته به جریان سیال است و برای انتقال انرژی به آب، لازم است تا آب در داخل واحد جریان داشته باشد.

اگر نرخ جریان بیش از محدوده موردنظر باشد، مقدار انرژی منتقل شده به اندازه کافی نخواهد بود و امکان نخواهد بود و امکان ایجاد تاثیر مورد نظر وجود نخواهد داشت. در مقابل، اگر نرخ جریان کمتر از حد معمول باشد، زمان زیادی طول می کشد تا آب به محل ایجاد رسوب گرفتگی برسد و به این ترتیب احتمال ته نشین شدن رسوبات در داخل سیستم بسیار زیاد خواهد بود. به همین دلیل است که سازندگان این نوع سختی گیرها، نرخ جریان و حداکثر جریان را برای تولیدات خود تعیین می کنند. چرا که رعایت محدوده یاد شده یکی از اساسی ترین الزامات عملکرد صحیح این نوع سختی گیرها به شمار می رود. اما مشکل اصلی اینجاست که در کاربردهای عملی، دستیابی به یک محدوده مشخص از نرخ جریان معمولاً امکان پذیر نیست.

به منظور جلوگیری از رسوب گرفتگی، انرژی باید به آب منتقل شود و کریستال های تشکیل شده در سطح را به حالت معلق درآورد. این در واقع همان فرآیندی است که در تمامی سختی گیرهای اصلاح فیزیکی موجود در بازار رخ می دهد.

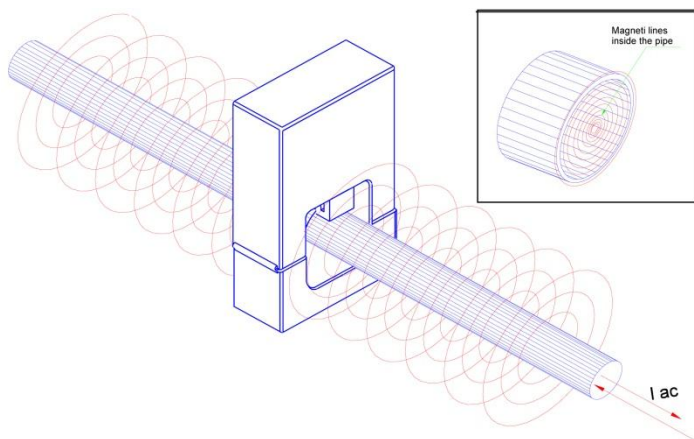
اما رسوبزدای هیدروفلو عملکرد متفاوتی دارد.

آزمایش کریستالیزاسیون آب

یکی از روش های بررسی تاثیر استفاده از سختی گیر هیدروفلو بر جلوگیری از رسوب گرفتگی، مشاهده چگونگی تاثیرگذاری این فناوری بر کریستالیزاسیون آب (در فرآیند تولید یخ) است. مولکول آب متشکل از دو اتم هیدروژن است که با یک پیوند شیمیایی به یک اتم اکسیژن متصل شده اند. هسته اکثر اتم های هیدروژن تنها شامل یک پروتون است (شکل ۱۴). اتم اکسیژن نیز شش الکترون در آخرین لایه خود دارد که با احتساب دو الکترون مربوط به دو اتم هیدروژن، تعداد الکترون های آخرین لایه انرژی اکسیژن به عدد هشت می رسد. هنگامی که اتم اکسیژن یک پیوند شیمیایی تکی برقرار می کند، این اتم یکی از الکترون های خود را با هسته اتم دیگر به اشتراک گذاشته و در مقابل یک الکترون از اتم دیگر را برای خود به اشتراک می گیرد. هنگامی که یک اتم اکسیژن با دو اتم هیدروژن پیوند برقرار می کند، آخرین لایه الکترون های اکسیژن کامل شده و به عدد هشت می رسد.

مولکول آب شکلی خطی نداشته و خمیده است. در نتیجه، بخشی از مولکول آب بار منفی و بخشی دیگری از آن بار مثبت دارد. بنابراین قطبیت مولکول آب کاملاً مشخص است.

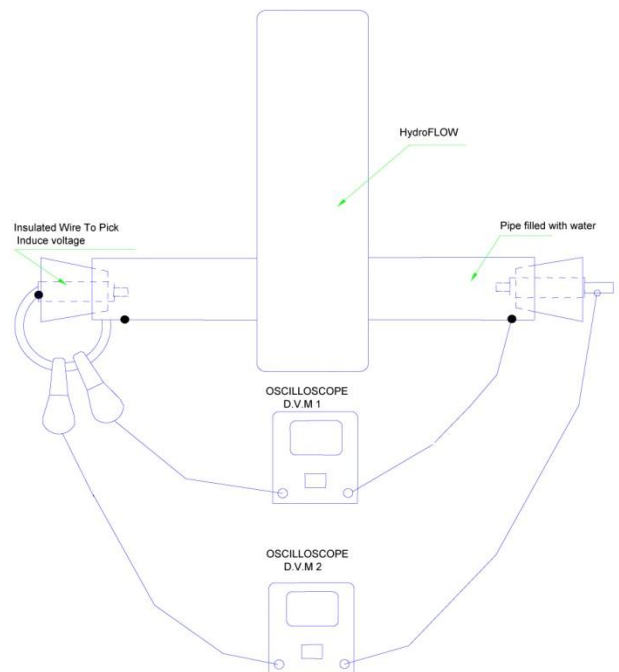
قطبیت مولکول آب نقش مهمی در شکل گیری محلول های آبی ایفا می کند. در صورتی که یک ترکیب یونی مانند کلرید سدیم به آب اضافه شود، مولکول های قطبی آب، نیروی جاذبه الکترواستاتیکی موجود بین یون های مثبت سدیم و یون های منفی کلرید را کاهش می دهند. به این ترتیب، یون های مثبت و منفی کلرید سدیم از یکدیگر جدا شده و کلرید سدیم هیدراته می شود (توسط مولکول های آب احاطه می شود)



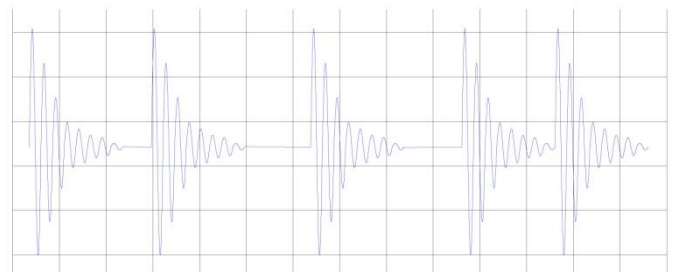
شکل (۱۴) میدان الکتریکی القا شده در سیستم لوله کشی

عملکرد این سختی گیر به گونه ای است که با اعمال انرژی به تمامی قسمت های سیستم لوله کشی، میدان الکتریکی در تمام سیستم لوله کشی منتشر می شود و با شکل گیری هسته های یونی در تمامی قسمت ها و تشکیل مجدد توده های حل شده در آب، از رسوب گرفتگی جلوگیری به عمل می آورد. همان طور که از مقادیر به دست آمده در آزمایش نیز مشهود است، دستگاه هیدروفلو قادر است چند ده هزار برابر سایر دستگاه ها ولتاژ پیچیده را در آب ایجاد نماید. از مهم ترین عوامل برتری این دستگاه نسبت به سایر انواع سختی گیرها این است که این سختی گیر صرف نظر از مقدار و جهت جریان، قابلیت تولید سیگنال در آب را دارد، در صورتی که عملکرد بهینه سایر دستگاه ها در گروهی تنظیم صحیح

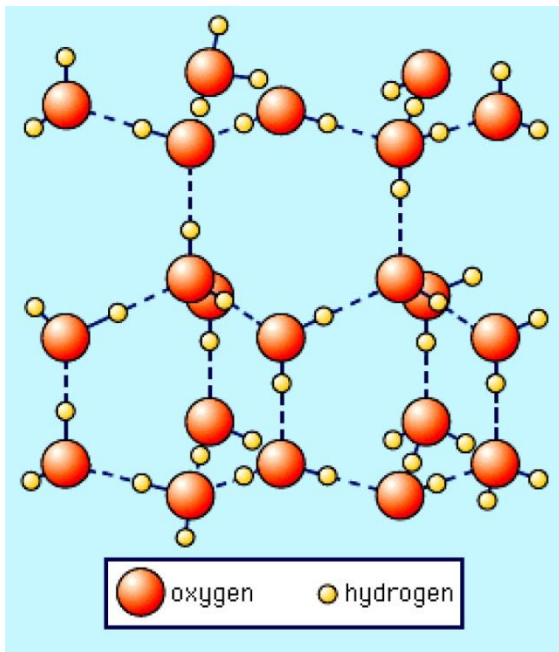
مقدار دبی جریان است که دست یابی به این هدف در عمل امکان پذیر نیست.



شکل (۱۲) روش دیگر اتصال سختی گیر هیدروفلو به اسیلوسکوپ



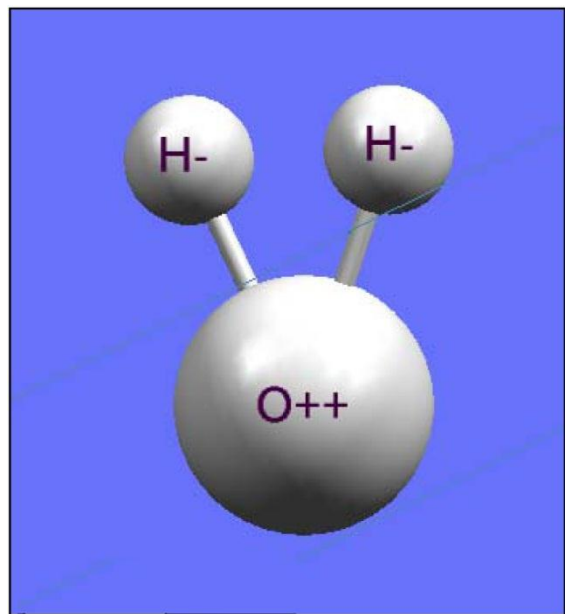
شکل (۱۳) نمونه ای از امواج تولید شده توسط سختی گیر هیدروفلو



شکل (۱۶) ساختار کلی شبکه مولکول های آب

این فرآیند موجب شکل گیری یخ با ساختار یکنواخت می شود. تجهیزات هیدروفلو در قالب دستگاه های تولید برف در کشور سوییس به کار گرفته شده اند. دردهای بالا این تاثیر موجب کریستالیزاسیون کربنات کلسیم به صورت معلق می شود.

1. Intrusive magnets
2. Clamp on magnets
3. Intrusive electromagnets
4. Non intrusive electromagnets
5. Electrolytic
6. Single wire electromagnets
7. Open – ended double single wire
8. HydroFlow
9. Crystallisation
10. Air gap
11. Peak to peak voltage
12. Noise
13. Leaf Spring
14. Hydration she



شکل (۱۵) ساختار کلی مولکول آب

در نتیجه، بار الکتریکی این یون ها به صورت موثر در یک ساختار بزرگ تر توزیع می شود و این مساله از ترکیب مجدد یون های سدیم و کلرید با یکدیگر جلوگیری به عمل می آورد. این فرآیند برای نمک های فلزی تا محدوده ای مشخص رخ می دهد و پس از آن آب به وضعیت اشباع می رسد. با ورود یک یون به آب، ساختار شبکه ایجاد شده بین مولکول های هیدروژن دچار تغییر می شود. مولکول های آب تمایل دارند تا در جهتی دوران کنند که تمرکز بارهای قطبی آن ها به سمت یون های بار مخالف باشد. از آنجا که جهت گیری مولکول های آب در راستای یون ها است. پیوند بین اتم های هیدروژن شکسته شده و گروهی از مولکول های آب به دور یک یون جمع می شود که به آن پوسته هیدراسیون میگویند. جهت گیری این مولکول ها در پوسته هیدراسیون موجب ایجاد یک بار الکتریکی خالص در قسمت خارجی پوسته می شود. این بار الکتریکی با بار الکتریکی یونی که در مرکز قرار می گیرد یکسان خواهد بود. بار الکتریکی در قسمت خارجی پوسته هیدراسیون نیز به سمت مولکول های آب مجاور تمایل دارد که این مساله منجر به شکل گیری پوسته هیدراسیون ثانویه می شود. نتیجه شکل گیری پوسته های هیدراسیون ضعیف شدن ساختار شبکه پیوندهای بین اتم های هیدروژن است. به همین دلیل است که نقطه انجماد آب نمک از نقطه انجماد آب خالص پایین تر است. در مایعات، هریون دارای یک پوسته هیدراسیون است که جهت گیری آن به سمت مولکول های آب حول آن است. این پوسته از شکل گیری ساختار شش وجهی یخ جلوگیری بعمل می آورد (شکل ۱۶).

تاثیر عملکرد سختی گیر هیدروفلو روی آب سخت نیز آن است که این سختی گیر منجر به شکل گیری توده های یونی نمک ها در داخل آب می شود که نتیجه آن گرد هم آمدن پوسته های هیدراسیون است. در دماهای پایین، این فرآیند با کریستالیزاسیون آب در دمایی کمی بالاتر آغاز می شود. علت این مساله پوسته هیدراسیون آب خالص است که در دماهای بالاتر منجمد شده و نمک های آب اشباع شده در دور آن در احاطه می کنند.