# بررسی مبدلها ومولدهای
# MAGNETOSTRICTION

نوشته :
**ضیاء طاهری**
گروه فیزیک دانشگاه تهران

**چکیده :**

چون امپدانس کاراکتریستیک آب تقریباً $۱/۴۸ \times ۱۰^{۶}$ کیلوگرم برمترمربع برثانیه میباشد بنابراین برای انتشار امواج مکانیکی درآب تامسافت‌های دور به توان زیادی احتیاج است که این مقصود با بلور کوارتز که اوایل بوسیله فیزیکدان فرانسوی Paul. Langevin جهت اکتشافات موانع زیر دریا وتعیین عمق آن بکار میرفت حاصل نمیگردد ولی بااستفاده ازخاصیت Magnetostriction مبدلهایی تهیه شده که برخلاف مبدلهای کوارتز وسایر سرامیکها شکننده وظریف نبوده وتوان زیادی تولید میکند و امواج مکانکی حاصل از آن میتواند مسافت زیادی درعمق دریا پیشرفته و پس‌ازبرخورد به‌مانع باتوان کافی منعکس شده وپس‌از تقویت بوسیله‌آشکارکننده‌ها نوع مانع وفاصله آنها معلوم گردد. چون پدیده Magnetostriction دوطرفه است این قبیل فرستنده درعین حال کارگیرنده را هم انجام میدهند درکشتیها و زیردریائیها این دستگاه بنام سونارکه مخفف جمله «Sound Navigation and Ranging» است موسوم میباشد. بحث درمورد چگونگی انتشار امواج حاصل ازاین دستگاه درعمق‌های مختلف دریا وسایر خصوصیات مربوط بآن واینکه باوجود صداهای زمینه موجود در دریا چگونه می‌توان امواج برگشتی را دریافت وتقویت نمود موضوع علم اکوستیک درون ابی است که باید به نشریات‌متعددی که دراین باره وجود دارد رجوع کرد. دراین مقاله‌ما به‌بررسی کارهایی که‌دراین موردصورت گرفته‌وشرح‌دستگاه اکتفا خواهیم‌نمود. البته این پدیده موارد استعمال‌دیگری نیزدارد بخصوص برای‌پاک‌کردن چربی روی فلزات وسایر اجسام بکارمیرود که نتایج بسیار رضایت‌بخشی دارد ودر دستگاههای نجومی از آن استفاده می‌شود.

**پدیده مانیتوستریکسیون:**

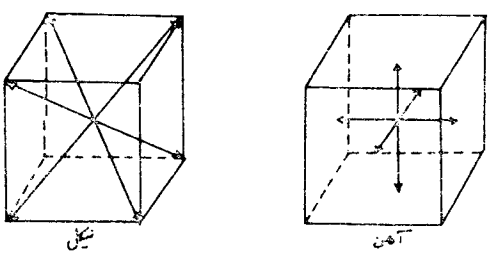
وقتی یک ماده فرومانیتیک‌را تحت اثرمیدان مغناطیسی قرار دهیم درساختمان درونی آن و نیز در ابعاد ماده مزبور تغییراتی حاصل می‌شود. برعکس اگر براین ماده یک نیروی خارجی اثر کند خواص مغناطیسی‌آن تغییرمی‌یابد.

بسیاری ازمواد بیش‌وکم دارای خاصیت مانیتوستریکسیون می‌باشند ولی ازمیان آنها نیکل‌وآهن

و کبالت ازاین نظر اهمیت بیشتری دارند و نیزآلیاژی ازمس ومنگنز وقلع والیاژ معرف به Permendur و آلیاژهائی از آهن و کبالت دارای چنین خاصیتی هستند و همچنین است درمورد gadolinium و Chrome ونیزفریت های برشته که از این لحاظ مورد استفاده قرار میگیرندولی دراین میان کاربرد نیکل والیاژ کبالت و آهن کـه میتواند توان متوسط وزیادی ایجاد کند بیشتر معمول است.

ـ پدیده مانیتوستریکسیون بکمک تئوری سامان ها «Domaine» تشریح می‌شود بموجب این تئوری باآنکه الکترن های مداری یک سیستم اتمی دارای خاصیت‌مغناطیسی است ولی بدلیل جهت های اتفاقی، گشتاورهای مغناطیسی برآیند آنها درگروه اتمهای جدا ازهم صفرمیشود ولی ازاین نظربعضی‌استثناها وجود دارد که درمورد اجسام فرومانیتیک صدق می کند. دراین اجسام میدان مغناطیسی اتمهای موجود درحجم کوچکی درحدود $10^{-8}$ یا $10^{-9}$ سانتیمترمکعب بایکدیگر موازی است درنتیجه میدان‌مغناطیسی این سامان‌ها در اثر یک میدان مغناطیسی خارجی درامتداد یک خط قرار میگیرند. هرسامان دارای یک حد اشباع مغناطیسی است که میدان مغناطیسی آن بسته به ساختمان بلوری ماده مزبور میتواند در یک امتداد ثابت موسوم به«امتداد مغناطیسی ترجیحی» «direction-de-magnetisation privlllgiees» وجودداشته باشد مثلاً در یک بلور مکعب‌شکل آهن یانیکل۶ جهت ازاین نوع وجود دارد. شکل(۱) این جهت‌ها را برای نیکل وآهن نشان‌میدهد.

باافزایش اثر یک میدان مغناطیسی خارجی برخی از سامان های مغناطیسی حجمشان در امتداد

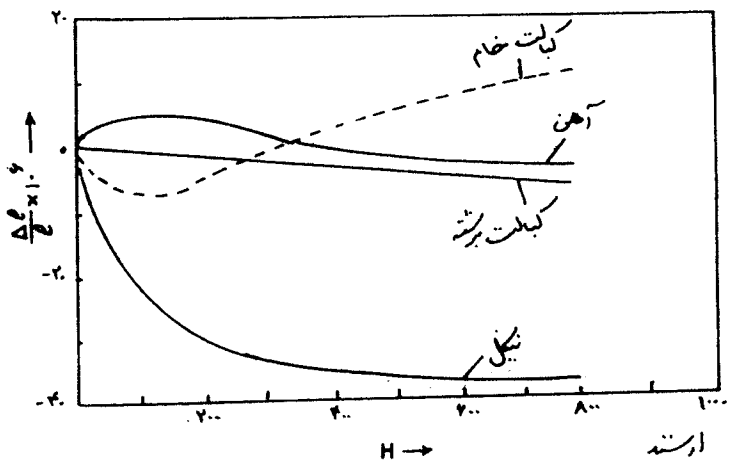



شکل (۱) امتداد مغناطیس ترجیحی برای نیکل و آهن

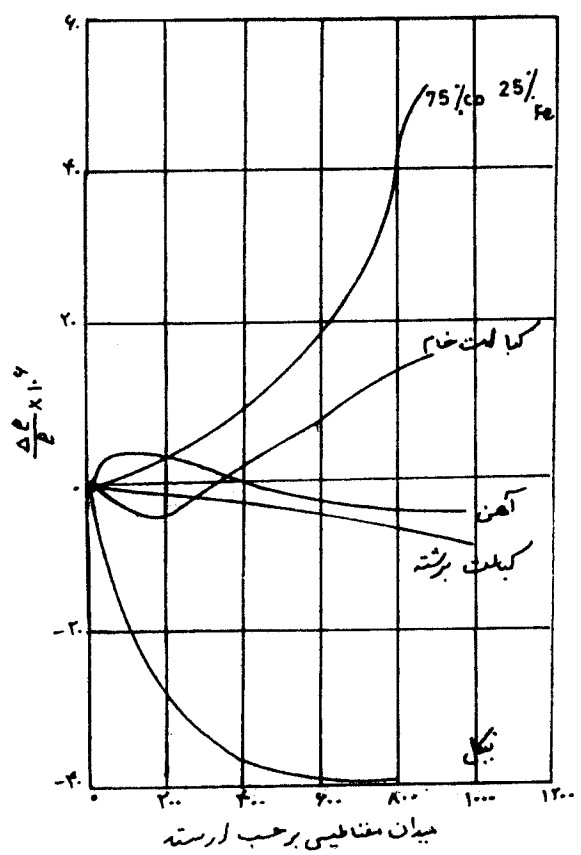
میدان اضافه شده وبرسامان های دیگر که امتدادهای مختلفی دارند تأثیر میگذارند تا جائیکه مجموعه بلور بصورت یک سامان واحد با بعد بزرگ درآید. بهمان نسبت که برشدت میدان افزوده میشود سامان در هربلور یک حرکت چرخشی‌را تحمل میکند تابصورت موازی با میدان درآید درطی مدتی که تأثیر میدان ادامه دارد ماده منبسط یا متراکم میشود تا آنجاکه تمام سامان‌ها موازی میدان خارجی شود دراینصورت ماده ازلحاظ میدان مغناطیسی بحالت اشباع درمیآید باید توجه داشت که تغییرات ابعاد دراثراین خاصیت فوق‌العاده کوچک است. مثلا درمورد نیکل بزرگترین تغییرات‌آن درواحد طول از $3 \times 10^{-5}$ تجاوز نمیکند باین‌ترتیب اگرطول میله نیکلی ۳۰ سانتیمتر باشد افزایش طول آن بیش‌از ۹ میکرن نیست. در بررسی‌های دقیقتری که بعداً بوسیله J.E. Goodman و B. Brown صورت گرفته بزرگترین تغییرات‌نسبی برابر $4 \times 10^{-5}$ بدست آمده است. البته درحالت رزنانس این تغییرطول ممکن است به یکهزارم برسد ولی مقاومت در برابر

خستگی فلزآنرا محدود میسازد نیروی استاتیک مربوط به این تغییر طول با توجه به تغییر مدول الاستیسیته تعیین می‌شود برای نیکل تغییرمدول الاستیسیته حدود ۰٫۷ کیلوگرم برسانتیمتر مربع است.

خاصیت مانیتوستریکسیون مواد فرومانیتیک ازنظر اندازه وجهت تغییرطول با یکدیگر تفاوت زیاد دارند شکل(۲) نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های Carlin وشکل(۳) نتایج کارهایی است که در این مورد B. Brown وهمکارانش انجام داده‌اند. دیده می‌شود که منحنی‌های این دوشکل اولی تا ۸۰۰ ارستد و دومی تا ۱۰۰۰ ارستد رسم شده ونشان میدهد که برای نیکل کاهش طول از ۸۰۰ ارستد ببالا ثابت میماند




(شکل ۲)

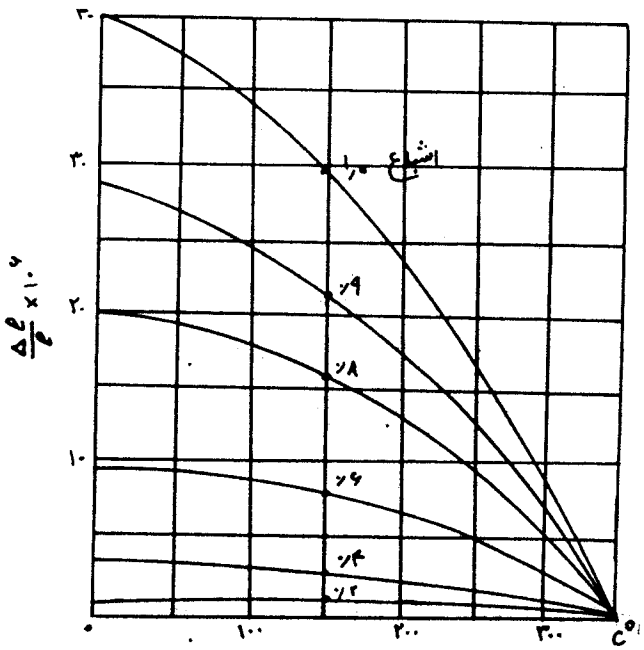



(شکل ۳)

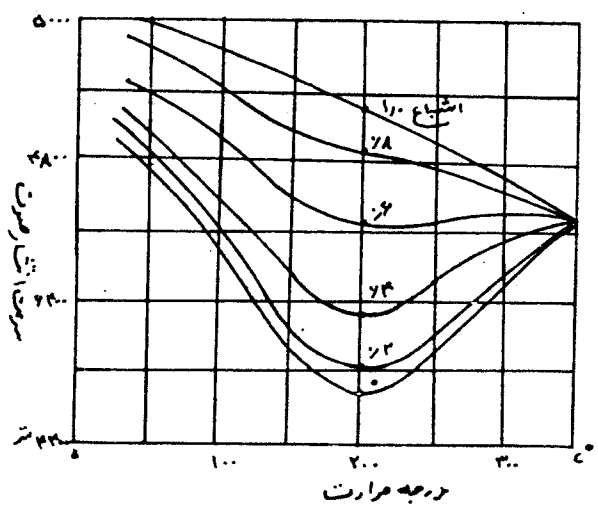
ودرشکل (۳) الیاژ ۷۰٪ کبالت و ۲۰٪آهن تغییرطول نسبتاً زیادی درمیدان ۷۰۰ارستد معرفی می کنددر هردوشکل آهن در میدان ضعیف منبسط ودر میدان قوی متراکم می‌شود. ولی کبالت خام برعکس عمل می کند. کبالت برشته درهردوشکل درمیدان قوی متراکم می‌شود.

تمام موادیکه دارای خاصیت مانیتوستریکسیون هستند نسبت به گرم شدن حساس بوده وقتی‌آنها را تانقطه کوری مربوط به خود گرم کنیم تمام خاصیت مانیتوستریکسیون خود را از دست میدهند. همچنین است درمورد تغییرسرعت انتشارموج درماده فرومانیتیک که برحسب درجه اشباع باافزایش گرما تغییر می‌کند شکل(٤) و (٥) نتایجی است که A.E. Crawford برای نیکل بدست داده است.

چون فرکانس رزنانس یک میله به‌سرعت انتشارصوت درآن بستگی دارد اینست که‌اگربخواهیم




(شکل ٤)




(شکل ٥)

دستگاه درحرارتهای مختلف کار کندباید بااستفاده ازمنحنی های شکل(٤) و (٥) درمحاسبه مشخصات مبدل باین موضوع توجه شود.

اگر فلوی مغناطیسی متغیری که در اثر عبور جریان ازمارپیچ ایجاد می‌شود برهسته که خاصیت مانیتوستریکسیون دارد اثر کند حوزه‌های کوچک مغناطیسی که به‌سامان‌ها معروفند دراستداد های ترجیحی توزیع شده ودرنتیجه گشتاور متوسط مغناطیسی صفرمیشود ولی اگرهسته‌را قبلا درمیدان مغناطیسی نسبتاًقوی قراردهیم دراینصورت باقرارگرفتن هسته درمیدان متغیرمغناطیسی گشتاور ومتوسط صفر نخواهد شد زیرا حوزه‌های مغناطیسی دریک جهت قویترازجهت دیگر شده در نتیجه برطول هسته افزوده میگردد. اگر القاء مغناطیسی $B^\circ$ باندازه $dB$ تغییر کند بعد ارتعاشی $\xi$ متناسب با $B^\circ dB$ تغییرخواهد کرد اگرالقاء مغناطیسی‌را برحسب $wb/m^2$ درنظر بگیریم برای تغییرطول میتوان ازفرمول تقریبی زیراستفاده کرد.

$$\xi = ۰/۰۰۲ B^\circ dB$$

ضریب ۰٫۰۰۲ ثابت نبوده وبه $B^\circ$ بستگی دارد دراینجا ضریب مزبور مربوط به‌وقتی است که $B^\circ$ حدود ۰٫۵ $wb/m^2$ باشد.

چون پدیده مانیتوستریکسیون برای یک ماده مفروض درجهتی ایجاد می‌شود که به‌امتداد میدان خارجی بستگی ندارد بنابراین فرکانس ارتعاشی هسته دوبرابر فرکانس چشمه‌ایست که سولنوئیدراتغذیه میکند. برای‌آنکه پدیده حاصل ماکزیمم باشد A.E. Crawford توصیه میکند که هسته‌را نسبت‌به‌میدان باشدت کمتری مغناطیس کنیم. درعمل پلاریزاسیون مغناطیسی‌را طوری انتخاب میکنند که‌رابطه زیربرقرار باشد:

$$\frac{\Delta \xi}{\Delta B} = \text{maximum}$$

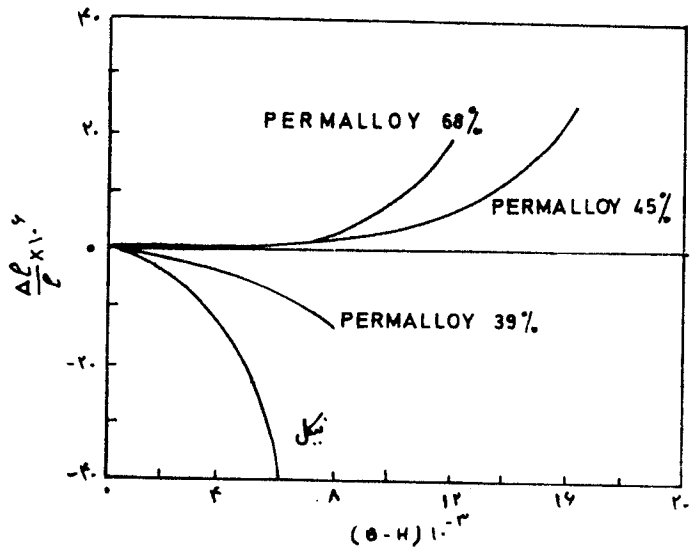
$\xi$ بعد ارتعاشی و $B$ القاء مغناطیسی‌است که باید برابر ۰٫۶ پلاریزاسیون اشباع مغناطیسی باشد. فلوی میدان مغناطیسی معمولا بوسیله آهنربای دایمی یا عبور جریان مستقیم از سیم‌پیچ دور هسته حاصل میگردد. غالباً نیکل خالص برای ساختن مولد امواج اولتراسون بکار میرود ولی در بعضی موارد عیوبی دارد که باید بآن توجه کرد. یکی آنکه نقطه کوری‌آن ۳۶۰ درجه سانتیگراد است واگربخواهیم آنرا برای توان زیاد بکار ببریم باید ازدستگاه خنک کننده استفاده شود عیب دیگر اینست که مقاومت آن در برابر خستگی نسبت به‌سایر مواد مانیتوستریکیتو کمتر است.

ازلحاظ دامنه ارتعاشی الیاژ آهن ـ نیکل جالب‌است.

شکل(٦) براساس تحقیقات Crawford برای الیاژ های مختلف Permalloy بصورت تابعی از میدان مغناطیسی رسم شده است.

دیدیم که پدیده مانیتوستریکسیون درآهن بسته به‌شدت میدان دارای اثرمثبت ومنفی است‌ولی با افزودن درصد مناسبی از نیکل بآن میتوان الیاژی بدست آورد که تغییرطول‌آن بازاء شدت های مختلف میدان مغناطیسی همواره مثبت باشد اگر الیاژآهن ـ نیکل دارای ۳۰٪ نیکل باشداین الیاژ دارای خاصیت

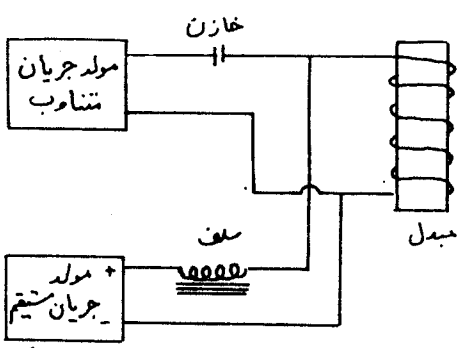
مانیتوستریکسیون طولی نبوده ودر درجه‌حرارت‌معمولی مغناطیس نمیشود. اگر به‌آهن ۳۲ تا ۳۶ درصد نیکل افزوده شود پدیده مانیتوستریکسیون حجمی آلیاژ حاصل ماکزیمم می‌شود واین خاصیت باعث‌می‌شود که درالیاژهای Invar ضریب انبساط طولی بسیار ضعیف شود.




(شکل ٦)

الیاژهای‌آهن ـ کبالت خاصیت‌مانیتوستریکسیون‌قابل‌توجهی دارند وبهمین‌دلیل‌الیاژPermendur که ازو٤٪ آهن، ٤٩٪ کبالت و ٢٪ وانادیم تشکیل شده برای ساختن مولدهای امواج اولتراسون بکار میرود وانادیم برای افزایش خواص مکانیکی بآن اضافه شده شده است این الیاژ میتواند حدود ۱۰۰ بار فشار ایجاد کند که درمقایسه بافشار حاصل ازارتعاشات نیکل که تقریباً ۷ر. بار بوده بسیاربزرگست.

ساختمان مولدهای مانیتوستریکسیون ـ اساس دستگاههای مانیتوستریکسیون بوسیله شکل (۷) نشان داده شده است. میله سرتعش ازآهنربای دایمی است ویا باعبور دادن جریان مستقیم آنرا آهنربا می کنند.




شکل(۷) طرح ساده یک مبدل مانیتوستریکتیف

برای اجتناب از بکار بردن دوبوبین میتوان با قراردادن خازن وسلف در مدار جریان متناوب با

فرکانس زیاد وجریان مستقیم‌را ازیک بوبین عبور داد دراینصورت خازن مانع ورود جریان مستقیم به‌مولد جریان متناوب بوده وسلف نیزعمل عکس‌را انجام میدهد.

چون درفرکانس رزنانس میله‌دامنه ارتعاش به‌ماکزیمم میرسد بنابراین سعی‌میشود که‌فرکانس ارتعاشی‌آن برابر فرکانس رزنانس باشد. وقتی میله بحالت آزاد و بافرکانس اصلی خود ارتعاش کند طول آن برابر نصف طول موج بوده واز رابطه $l=\frac{V}{2f}$ محاسبه میشود که درآن V سرعت انتشارموج درمیله و l طول‌آن و f فرکانس اصلی است.

B.A.WISE برای تهیه یک مولد امواج اولتراسون بااستفاده ازخاصیت مانیتوستریکسیون چهار عامل‌را مؤثر میداند:

۱- خاصیت مانیتوستریکسیون ماده‌ای که هسته‌را تشکیل میدهد.

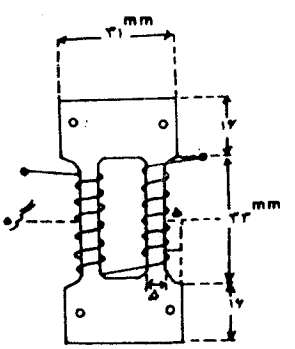
۲- تغییراتی‌را که ماده میتواند تحمل کند.

۳- اتلاف حرارتی درماده.

٤- ساختمان هندسی مولد.

درمورد عامل اول دیدیم که مثلاً نیکل دراثر عبورجریان تغییرطول منفی ولیPermndurتغییر طول مثبت دارد.

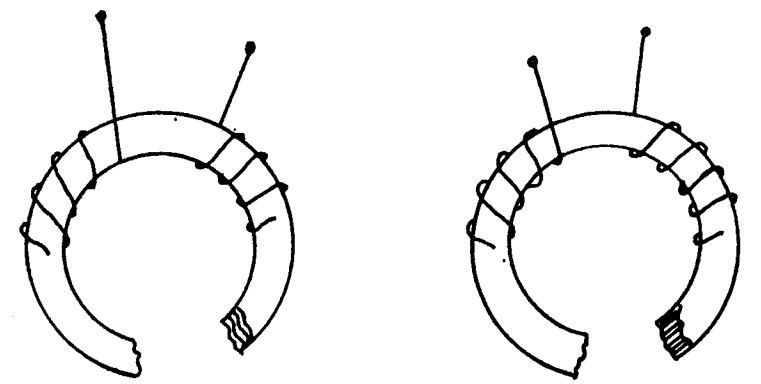
عامل دوم بسته‌به‌خستگی فلزات است معمولا ماکزیمم تغییرطول حین عمل خیلی کمترازخستگی فلزاست. اتلاف حرارتی حاصل‌از پس‌ماند مغناطیسی ویا جریان Eddy است که برای بعضی فلزات کارآیی را ۳۰ تا ٦٥ درصد کاهش میدهد اینست که اسباب‌را ضمن عمل باید بوسیله جریان‌آب یا هوا خنک کرد شکل هندسی مولد میتواند اتلاف حرارت‌را کاهش دهد وآنرا متناسب‌با کاربردی که دارد منطبق کند مثلا میتوان هسته‌را بصورت لوله اختیار کرد که شکافهایی بآن داده باشند. درفرکانسهای زیاد برای جلوگیری ازاتلاف فلوی مغناطیسی هسته‌را بصورت پنجره که از ورقهای نازک متشابه تشکیل شده میسازند (شکل۸) ورقه‌ها تشکیل مدار بسته مغناطیسی‌را میدهد درنتیجه تحریک درتمام طول هسته یکنواخت خواهد بود واین موضوع با توجه به جهت مدار مغناطیسی در دو صفحه متقابل توجیه می‌شود. ولی چون تهیه مبدل




شکل (۸) - مقطع میل نوع پنجره‌ای که برای ایجاد توان زیاد در فرکانس ۲۵ کیلوهرتز بکار میرود

پنجره‌ای مشکل است طبق نظر WHYMARK درفرکانسهای کمتر از ۲ کیلوهرتز میتوان از میله های کوچکی به‌سطح مقطع ۱ سانتیمترمربع استفاده کرد حتی مبدلهای اخیردراین ناحیه ازفرکانسها برمبدلهایی بشکل پنجره ترجیح دارد CAMP و LESLIE دراین زمینه مطالعات جالبی انجام داده‌اند که‌میتوان‌برای اطلاع ازجزئیات به‌مقالات آنها مراجعه کرد.

برای بدست‌آوردن ارتعاشات شعاعی ازمبدلهایی بشکل حلقه استفاده میکنند وآنهارا بوسیله‌چسب Araldit بهم می‌چسبانند این مبدلها بوسیله Williams وهمکاران مورد استفاده قرارگرفت‌شکل(۹). فلوی مغناطیسی دراین نوع مبدلها یکنواخت واتلاف ناچیز است. فرکانس رزنانس مبدلهای حلقه‌ای ازفرمول: $\nu = \frac{V}{\pi d}$ بدست میآید که درآن V سرعت انتشارصوت درحلقه و d قطرآنست.




شکل(۹)

اکنون یک گیرنده‌راکه براساس خاصیت مانیتوستریکسیون ساخته شده مورد بحث قرارمی‌دهیم. البته لازم به‌یادآوری است که دریک مقاله مختصرنمی‌توان جزئیات تئوری وعمل دستگاههائی‌راکه طبق این خاصیت ساخته شده تشریح نمود.

تئوری نحوه عمل گیرنده فرستنده - این تئوری‌را برای میله‌ای که مطابق شکل ۱ سوار شده است درنظر می گیریم. سیم‌پیچ B مولدمیدان‌مغناطیسی‌است‌واگر دستگاه‌بعنوان گیرنده‌عمل کند درسیم‌پیچ Aفشار الکتریکی متناوب ایجاد می‌شود. وقتی میله تحت فشار اکوستیکی تابشی قرارگیرد، برابر با فرکانس موج اکوستیکی به تناوب طول آن کوتاه و بلند میگردد البته میدان پلاریزاسیون B باید خیلی بزرگتر از میدان حاصل از حرکت میله باشد در غیر اینصورت فرکانس ارتعاشی میله دو برابر فرکانس تابشی خواهد بود. اگر فرکانس ارتعاش موج ومیله برابر باشد می‌توان رابطه زیررا نوشت :

$$(۱)\quad \frac{\delta l}{\delta x} = \beta B^{۲}$$

که درآن β ضریب تناسب وبرحسب $m^{۴}/_{wb^{۲}}$ است.

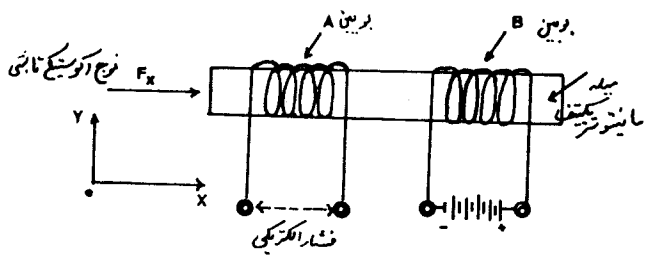
چنین دستگاهی دوطرفه است یعنی اگر به‌دوانتهای بوبین A جریان الکتریکی سینوسی‌وارد شود

ارتعاشات مکانیکی بافرکانس برابر بدست می‌آید.

بنابراین میتوان برای شرح عمل میله نیروی طولی $F_x$ راکه درامتداد محور x برآن اثرمیکند در نظرگرفت درنتیجه داریم:

$$(۸)\quad F_x = -SE\frac{\partial l}{\partial x}$$

که باتوجه به‌قانون Hook نوشته شده ودرآن S سطح مقطع میله و E مدول یانگ است.




شکل (۱۰) نمایش طرح ساده یک گیرنده

درصورتیکه میله‌را دارای خاصیت مانیتوستریکسیون درنظر بگیریم باید جمله $\beta B^2$ راکه درجهت عمل تغییرطول عمل می‌کند بآن بیافزائیم:

$$(۳)\quad F_x = -SE\left[\frac{\partial l}{\partial x} - \beta B^2\right]$$

دراینجا B مجموع القاء مغناطیسی حاصل‌از جریان پیوسته وتناوبی است یعنی:

$$(٤)\quad B = B_0 + B_a$$

تغییرات نیروی داخلی $F_x$ بصورت زیرخواهد بود:

$$(٥)\quad \delta F_x = -SE\left[\delta\left(\frac{\partial l}{\partial x}\right) - 2\beta B_0 \delta B\right]$$

که درآن $\delta B$ تغییرات القاء مغناطیسی است.

رابطه بالا بافرض $B_0 \geqslant B_a$ بدست آمده است. برای نیروی متناوب خواهیم داشت:

$$(٦)\quad F_{xa} = -SE\left(\frac{\partial l}{\partial x}\right) + \Delta SB_a$$

که درآن $\Delta = 2E\beta B_0$ و $B_a$ تغییرات تناوبی فلوی مغناطیسی است. رابطه اخیرنشان می‌دهد که تغییرات نیروی داخلی ازدوقسمت تشکیل شده است یکی تغییرات حاصل از القاء $B_a$ دیگری تغییرنسبی طول $\frac{\partial l}{\partial x}$

چون پدیده حاصل دوطرفه است می‌توان نوشت:

$$(۷)\quad B_a = \mu'\mu_0\left[H_a + \Delta\left(\frac{\partial l}{\partial x}\right)\right]$$

$\mu'$ برابر $\frac{dB_a}{dH_a}$ ونفوذپذیری دینامیک است.

بکمک دو رابطه بالا می‌توان با توجه به استرین حاصل‌از تابش موج اکوستیکی جریان و فشار

الکتریکی القایی‌را معلوم نمود. همچنین دراین حالت تعیین ضرب کوپلاژ $K_c$ جالب توجه است.

درحقیقت وقتی میدان مغناطیسی خارجی ثابت است $(H_a=O)$ رابطه(۷) ساده شده وفرمول(۶) را نیزمیتوان بصورت زیرنوشت:

$$(۸) \quad F_{ax}=-S\left[E-\Delta^{۲}\mu'\mu_{o}\right]\left(\frac{\partial l}{\partial x}\right)_{a}$$

از رابطه فوق می‌توان نتیجه گرفت:

$$(۹) \quad E'=E\left(1-K_c^{۲}\right) \qquad K_c=\sqrt{\frac{\Delta^{۲}\mu'\mu_{o}}{E}}$$

یعنی مدول یانگ درحالت دینامیک $(E')$ بااندازه‌آن درحالت استاتیک $(E)$ باندازه $\left(EK_c^{۲}\right)$ اختلاف‌دارد. کاهش مدول یانگ باعث کاهش فاکتور کیفیت Q شده وازتیزی منحنی رزنانس کاسته می شود. بکمک فرمول(۹) می‌توان طبق رابطه زیرسرعت انتشار موج درمیله مرتعش وبالنتیجه فرکانس رزنانس‌را محاسبه کرد:

$$(۱۰) \quad C'=\sqrt{\frac{E'}{\rho}}=\sqrt{\frac{E}{\rho}\left(1-K_c^{۲}\right)}$$

باین ترتیب می‌بینیم که ضریب کوپلاژ $K_c$ بسیارمهم است وبرای تعیین فرکانس رزنانس باید اندازه‌آن بازاء متغیرهای مختلف معلوم باشد.

## منابع


1 – Fundamentals of Ultrasonics
JACK BLITZ, M SC. F.INST.P
LONDON BUTTERWORTHS 1967

2 – MASON, W. P. Piezoelectric crystals and their Applscation to Ultrasonics, van Nostrand, New 1959

3 – CARLIN, B Ultrasonics, 2nd Edn. McGraw-Hill New york 1960

4 – Ultrasons de haute Intensite B. BROWN – J.E. Goodman DUNOD PARIS 1971

5 – L CAMP J.Acoust. Soc. Am 20.616 1948

6 – R.R.WHYMARK. ACOUSTICA 6, 277 1956

7 – Les transducteurs Electro et Mecano – Acoustiques
R.Lehmann Ed CHIRON PARIS 1963

8 – Ultrasonic Engineering A.E Crawford DUNOD PARIS 1959