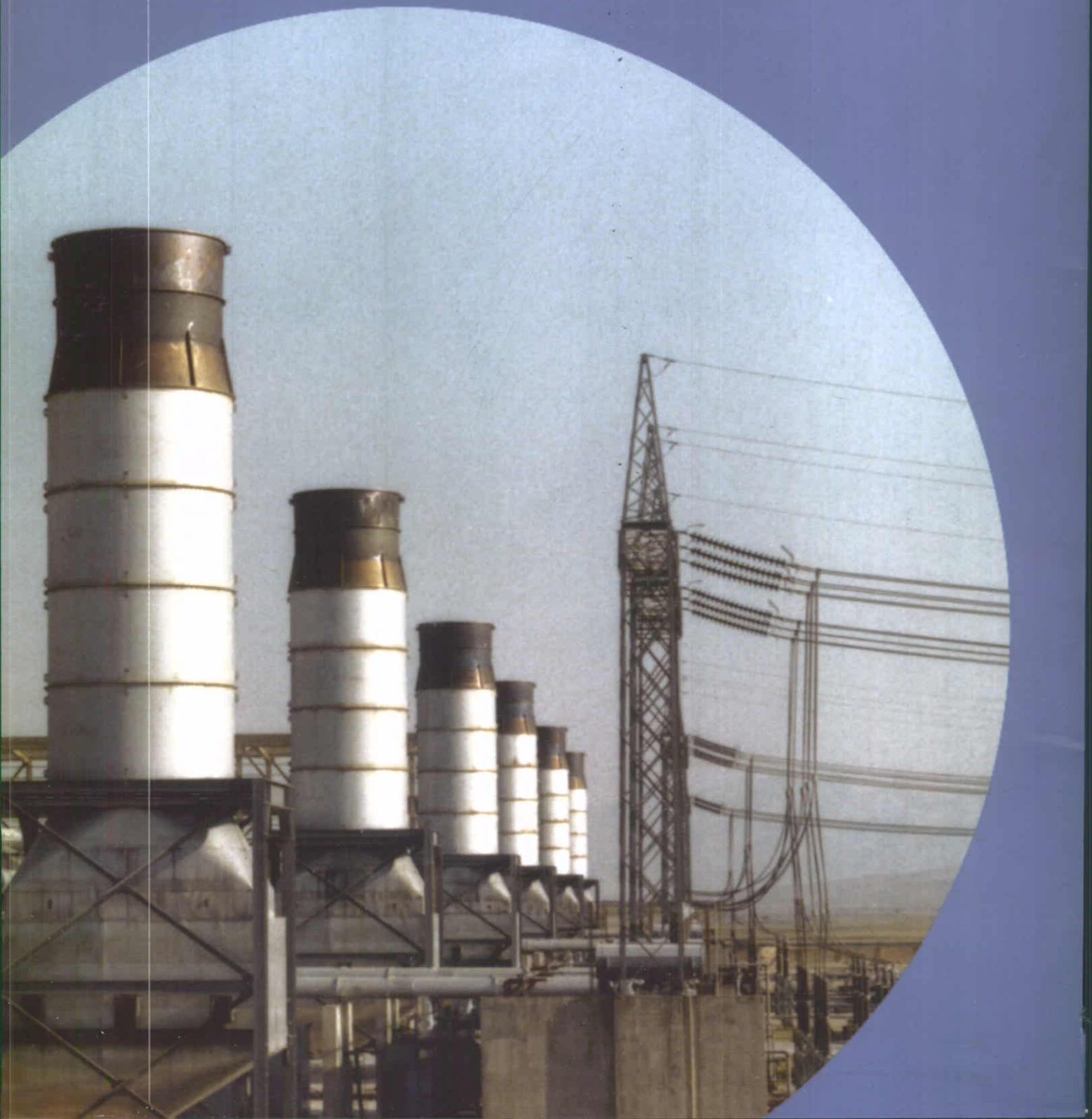
شرکت مهندسی

قدس نیرو

نشریه فنی تخصصی قدس نیرو

شماره ۲۶ - تابستان ۱۳۸۷



بسمه تعالی

نشریه فنی تخصصی قدس نیرو
شماره ۲۶- تابستان ۱۳۸۷

مدیر مسئول: مهندس احمد شکوری‌راد
سـر دبیـر : مهندس فتانه دوستدار

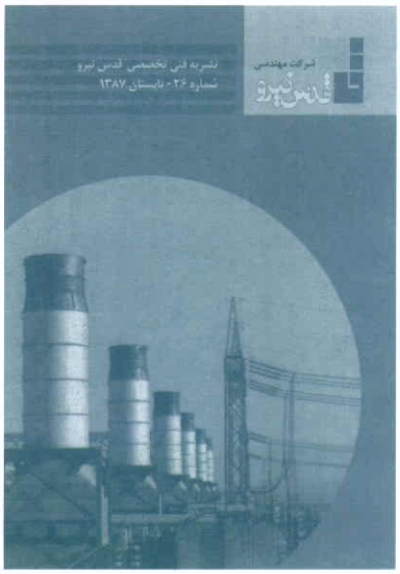
با تشکر از همکاری آقایان:

- مهندس احمد اهرابی
- مهندس حسین بختیاری‌زاده
- مهندس احمد فریدون درافشان
- مهندس علی شاه‌حسینی
- دکتر همایون صحیحی
- مهندس منصور قزوینی
- مسعود نجمی

از مدیر و همکاران محترم امور پشتیبانی سپاسگزاریم.

هیأت داوران:

مهندس پورنگ‌پاینده، مهندس مسعود حبیبا...زاده، مهندس فتانه دوستدار، مهندس محمدرضا رضایی، مهندس رضا رضوی، مهندس محمد حسن زرگرشوشتری، مهندس فرهاد شاهمنصوریان، مهندس فرهنگ شعفی، مهرداد صارمی، دکتر همایون صحیحی، مهندس غلامرضا صفارپور، دکتر جعفر عسگری، مهندس امیر همایون فتحی، مهندس بهرام کرمانی، مهندس علی اصغر کسائیان، مهندس محسن کمالی زاده، مهندس وحید مرتضوی، مهندس رضا میرمحمدی، مهندس محمدرضا نصرالهی، مهندس محمدیحیی نصرالهی، مهندس بهروز هنری.



فهرست مطالب

معرفی	۱
مدیریت انرژی، نگرشی جدید در مشاوره مهندسی - مهندس حمید ناصری	۲
بررسی استفاده از ترانسفورماتورهای با هسته آمورف در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی- مهندس جواد رضوان طلب	۱۰
بهبود سیستم آب خنک کن از طریق کنترل و نظارت برخوردگی- مهندس حمیدرضا کریمی	۱۸
پیش زمینه‌ها و پیامدهای ادراک سیاست سازمانی و رابطه آن با تصویر سازمانی – مهندس مهدی صانعی	۲۷
دلایل بکارگیری روغن و نقش آن در مونیتورینگ ترانسفورماتورهای قدرت – مهندس فرشید رسولی آزاد	۳۳
روش‌های کنترل فعال ارتعاش مستقیم در سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی- مهندس رامتین نظام آبادی	۳۸

این نشریه از طریق اینترانت قدس‌نیرو در دسترس همکاران می‌باشد. ارتباط مستقیم با مقاله‌دهندگان از طریق **Email** یا فاکس آنان در انتهای هر مقاله و همچنین ارائه نظرات، پیشنهادات و سؤالات احتمالی خوانندگان گرامی از طریق اینترانت قدس‌نیرو و یا شماره تلفن نشریه ۸۸٤٤۲٤۸۲ امکان‌پذیر می‌باشد.

مدیریت انرژی، نگرشی جدید در مشاوره مهندسی

حمیدناصری

مشاور سیستم مدیریت یکپارچه (IMS)- مدیریت ارشد امور عمومی

چکیده

ممیزی انرژی مجموعه اقداماتی است که جهت شناسایی سیستم‌های تولید، توزیع و مصرف انرژی در واحد صنعتی و چگونگی و مقادیر و موقعیت‌های مصرف انرژی در فعالیت‌هایا فرآیندها، انجام شده و طی آن فرصت‌ها، امکانات صرفه‌جویی انرژی مشخص و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. منطقی نمودن مصرف انرژی و اصلاح استانداردهای آن در واحدهای صنعتی، اساس ***مشاوره بهینه سازی مصرف انرژی*** *می‌باشد و رویکرد مطرح در فرایند مشاوره بهینه سازی مصرف انرژی، منطقی نمودن مصرف انرژی و اصلاح استانداردهای آن در واحدهای صنعتی است. این مقاله به تشریح اهداف و گام‌های لازم برای استقرار مدیریت انرژی در سازمان‌ها و برنامه ریزی جهت انجام ممیزی انرژی ادواری در آنها می‌پردازد.*

به منظور حصول به اهداف مدیریت انرژی در بخش‌های مختلف و اجرای صحیح آن، راهکارهای گوناگون ذیل مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- *کاهش تقاضای انرژی از طریق اعمال صرفه جویی‌های فردی و تصویب استانداردها و معیارهای اقتصادی به منظور تشویق واحدها به کاهش مصرف.*
- *تغییریا اصلاح فرایندهای پرمصرف، که این امر از طریق اعمال ممیزی انرژی و اصلاح فرایندها برپایه آن و یا تغییر تکنولوژی مورد استفاده امکان پذیر است و اجرای این روش‌ها باید با انجام بررسی و تهیه توجیهات فنی - اقتصادی صورت گیرد.*
- *جایگزینی سوخت‌های موجود با سوخت‌های ارزان تر و دارای آلایندگی کمتر، که اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را برای واحد مربوطه و در کل برای کشور به دنبال خواهد داشت.*

تعیین اولویت‌ها و چگونگی استفاده از این اولویت‌ها از طریق انجام ممیزی انرژی می‌باشد که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

۱- مقدمه

درپی صنعتی شدن کشورها و توسعه شهرنشینی و افزایش تقاضا برای مصرف انواع انرژی بویژه سوخت‌های فسیلی، انرژی به طور عام و نفت و گاز به طور خاص در استراتژی‌های توسعه ملی و جهانی و سیاستگذاری‌های کلان جایگاهی بیش از گذشته پیدا کرده و درحقیقت به یک عامل کلیدی و استراتژیک در حیات ملتها و دولتها تبدیل شده است.

باتوجه به تأثیرات انرژی در حوزه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی، سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی و ضرورت نگرش جامع و سیستماتیک به این مقوله مهم حیاتی، آنچه که امروز نیاز آن بیش از گذشته احساس می‌شود، موقعیت و جایگاه مدیریت انرژی در کشور است. بی تردید روابط نزدیک و تنگاتنگ انرژی و توسعه صنعتی و افزایش مصرف و بهای انواع انرژی طی سالهای اخیر ازیک طرف و نقش انرژی در قیمت تمام شده کالاهای تولیدی و صنعتی و نیز فشار اقتصاد و تجارت جهانی بر اقتصاد کشورها درجهت کاهش قیمت محصولات از سوی دیگر موجب شده است که اهمیت مدیریت انرژی بیش از گذشته موردتوجه خاص قانونگذاران، سیاستگذاران و مدیران بنگاههای اقتصادی و صنعتی کشور قرار گیرد. مشکلات مختلف مانند تولید، توزیع و مصرف انرژی در سطح کشور، سیستم قیمت گذاری، مسائل سرمایه‌گذاری و کمبود اطلاعات انرژی بطور کامل ناشی از ضعف مدیریت انرژی و نبود یک نهاد قوی ویکپارچه برای تصمیم‌گیری و سیاستگذاری در حوزه انرژی است. بدیهی است در خلاء چنین نهادی سیاستهای کلان انرژی کشور همچنان نامعلوم و کمرنگ بوده و بر مشکلات نیز افزوده خواهدشد.

افزون بر اینها، رشد شدت انرژی در کشور بویژه در بخشهای غیرمولد (حمل و نقل و مصارف خانگی) نسبت به تولید ناخالص داخلی[1] افزایش یافته، به طوری که سهم صنعت از انرژی در کشور ما تنها ۲۱ درصد است و این رقم در کره جنوبی بیش از ۵۲ درصد گزارش شده است. افزایش قیمت تمام شده سوختهای فسیلی و ملاحظات زیست محیطی موجب شده است تا افزایش بازدهی انرژی مورد تاکید بیشتر قرار گیرد. ازسوی دیگر مسأله افزایش بازدهی انرژی با کمترین هزینه، برای مدتی نامحدود امکانپذیر نیست و بنابراین منطقی است که نرخ شدت انرژی کاهش یابد. طبق پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد، در سال ۲۰۲۰ نزدیک به ۸۵ درصد از جمعیت جهان به کشورهای درحال توسعه تعلق خواهدداشت. بدیهی است با افزایش جمعیت، تقاضای

1- Gross production (GPD)

انرژی در کشور ما به عنوان یک کشور درحال توسعه به شدت افزایش می‌یابد و درپی آن علاوه بر فشارهای اقتصادی و تبعات اجتماعی، محیط‌زیست نیز دچار آلودگی بیشتر خواهدشد. تخریب محیط زیست و از بین رفتن منابع طبیعی یکی از نشانه‌های بارز مصرف نادرست انرژی است که بی‌شک زیان‌های ناشی از آن در آینده به مراتب بیش از هزینه‌هایی است که امروز تحت عنوان یارانه به انواع انرژی تعلق می‌گیرد.

کاهش و یا تعدیل یارانه‌های انرژی، تصحیح الگوی مصرف، کاهش شدت انرژی و استفاده بهینه از آن، قیمت گذاری صحیح، سرمایه گذاری اصولی و نه لزوماً گران، بهره گیری از تکنولوژی‌های پیشرفته، تشویق به استفاده از انرژی‌های نو (تجدیدپذیر)، پرهیز از تصمیمات بخشی و جزیره‌ای، فرهنگ‌سازی در حوزه مصرف و تأسیس یک نهاد قدرتمند و یکپارچه برای سیاستگذاری، نیازمند ایجاد و تقویت یک عزم قوی ملی است که ضرورت آن با توجه به تحولات سیاسی و اقتصادی منطقه و جهان به شدت محسوس است.

اولین گام در منطقی نمودن مصرف انرژی و اصلاح استانداردهای آن در واحدهای صنعتی، زمینه ایجاد مدیریت انرژی در واحدها و برنامه ریزی برای انجام ممیزی انرژی ادواری در آنها است. ممیزی انرژی مجموعه اقداماتی است که جهت شناسایی سیستم‌های تولید، توزیع و مصرف انرژی در واحد صنعتی و چگونگی و مقادیر و موقعیت‌های مصرف انرژی در فعالیت‌هایا فرآیندها، انجام شده و طی آن فرصت‌ها امکانات صرفه جویی انرژی، مشخص و مورد ارزیابی قرار گیرد. مراحل معمول دریک ممیزی انرژی عبارتند از:

- مطالعه فرایندهای تولید مربوط به کارخانه و تشکیل تیم مهندسی انجام کار
- بازدید اولیه فرایندهای تولید مربوط به کارخانه و تشکیل تیم مهندسی انجام کار
- بازدید مجدد و دقیق تر از خط تولید و انجام اندازه گیری‌های مورد نیاز از میزان مصارف انرژی و تجزیه و تحلیل فرایند تولید
- تهیه گزارش از وضعیت مصارف انرژی توسط تیم مهندسی و برشمردن پتانسیل‌های موجود و ارائه پیشنهادات و راهکارهای بدون هزینه و کم هزینه و پرهزینه به مدیریت کارخانه.

با توجه به پرداخت یارانه دولتی، قیمت حامل‌های انرژی (به عنوان نمونه قیمت بنزین) در کشور ما به میزان قابل ملاحظه ای پایین‌تر از نرخ‌های جهانی است.

اگر چه در سال‌های اخیر تا حدی سعی شده است این فاصله کاهش داده شود لیکن هنوز هم این قیمت‌ها از قیمت‌های بین المللی فاصله‌ای جدی دارد. پایین بودن قیمت انرژی در ایران مشوق مصرف بی رویه بوده و هیچگونه انگیزه ای در مصرف کنندگان برای صرفه‌جویی ایجاد ننموده است. سرانه مصرف انرژی در ایران نسبت به سایر کشورها بالاتر است. عدم ایجاد تمهیدات لازم برای صرفه‌جویی در مصرف و پایین بودن استانداردهای مربوط به ابنیه مسکونی و صنعتی از لحاظ نکات مربوط به انرژی منجر به وضعیتی شد که در زمستان جاری (۱۳۸۶) کشور ما به عنوان کشوری دارای ذخایر غنی نفت وگاز ویکی از تولید کنندگان و صادرکنندگان مهم حامل انرژی، دچار کمبود گاز و قطعی در برخی مناطق کشور گردید. لذا وقت آن رسیده که مدیران وکارشناسان محترم بخش صنعت کشور به عنوان یکی ازعمده ترین مخاطبین صرفه جویی در مصرف انرژی موضوع را جدی گرفته و اقدام اساسی و بلند مدت به عمل آورند و وضعیت‌های دشوار را به عنوان فرصت‌های بهبود تلقی نموده و از آنها ثمر شیرین برداشت شود. همچنانکه صنعتگران ژاپنی از شوک ناشی از افزایش شدید قیمت نفت در اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی استفاده نمودند. در این راستا انجام مراحل ذیل برای انجام یک ممیزی انرژی موفق توصیه می‌شود.

۲- مرحله اول : برنامه ریزی و سازماندهی مدیریت انرژی

۲-۱- استقرار سیستم مدیریت انرژی

مدیریت انرژی به معنی تنظیم برنامه و ایجاد ساختار و سازماندهی مناسب برای کنترل و نظارت دائم برنحوه بکارگیری بهینه منابع انرژی است. بطور کلی تشکیل مدیریت انرژی دستاوردهای ذیل را به دنبال دارد:

- استفاده بهینه و منطقی از منابع انرژی
- مقابله با هزینه تأمین انرژی از طریق کاهش میزان مصرف و کاهش هزینه انرژی در قیمت تمام شده محصولات
- کمک به امنیت عرضه و در واقع کمک به امنیت ملی و امکان دسترسی دراز مدت به منابع
- کمک به طولانی تر شدن عمر ذخائر انرژی
- کمک به توسعه اقتصادی
- مقابله با آلودگی‌های زیست محیطی

به منظور حصول به اهداف مدیریت انرژی در بخش‌های مختلف و اجرای صحیح آن، راهکارهای گوناگونی به شرح ذیل مورد استفاده قرارمی‌گیرد:

– کاهش تقاضای انرژی از طریق اعمال صرفه جویی‌های فردی و تصویب استانداردها و معیارهای اقتصادی به منظور تشویق واحدها به کاهش مصرف.

– تغییر یا اصلاح فرایندهای پرمصرف. بدیهی است که این امر از طریق اعمال ممیزی انرژی و اصلاح فرایندها برپایه آن ویا

تغییر تکنولوژی مورد استفاده امکان پذیر است. روشن است که اجرای این روش‌ها باید با انجام بررسی و تهیه توجیهات فنی - اقتصادی صورت گیرد.

– جایگزینی سوخت‌های موجود با سوخت‌های ارزانتر و دارای آلایندگی کمتر، که اهداف اقتصادی وزیست محیطی را برای واحد مربوطه و بطورکلی برای کشور به دنبال خواهد داشت.

۲-۲- اهداف مدیریت انرژی

بطور کلی مدیریت انرژی برای برقراری اهداف ذیل تشکیل می‌شود:

- بهبود کارآیی انرژی در دستگاه‌ها و فرایندها، کاهش مصرف انرژی و درنتیجه کاهش هزینه‌ها
- ایجاد و گسترش ارتباطات صحیح میان بخش‌های مختلف در امور انرژی
- توسعه روش‌های مؤثر اطلاع رسانی، گزارش دهی و مدیریتی برای استفاده معقول و منطقی از انرژی
- جستجوی روش‌های بهینه برای افزایش بازده سرمایه گذاری‌های انرژی از طریق تحقیق و توسعه
- افزایش منافع و تخصیص آن به برنامه مدیریت انرژی
- کاهش اثرات ناشی از کمبودیا وقفه در عرضه انرژی بر روی عملکرد سیستم
- مجهز شدن به مناسب ترین نوع تکنولوژی

به منظور نیل به این اهداف، باید تکنولوژی‌هایی که دارای راندمان مصرف انرژی بالایی بوده مدنظر قرارگیرند. بدیهی است که به منظور بهره گیری درست از این تکنولوژی‌ها، آموزش‌های صحیح کارکنان و پرسنل مربوطه از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد. در برخی از موارد با تغییرات جزیی در تکنولوژی موجود می‌توان راندمان و کارآیی انرژی در واحد را درحد مطلوب بالا برد. همچنین برخی از سازمان‌ها دارای تکنولوژی مناسب می‌باشند، اما به دلیل عدم آگاهی مسؤلین و پایین بودن تخصص کارکنان، مصرف انرژی در سازمان بالا بوده که این امر نیاز به آموزش‌های تخصصی رایادآوری می‌نماید. پس از آنکه مدیریت سازمان، کمیته انرژی را تشکیل داد، اهدافی راکه باید سازمان مربوطه به آنها دست یابد، تعیین می‌نماید. همچنین بایستی زمان دستیابی به این اهداف بطور کامل در خط مشی مدیریت انرژی منعکس گردد. لازم نیست خط مشی مدیریت انرژی به صورت یک خط مشی جدید نوشته شود، بلکه بازبینی فعالیت‌های صورت گرفته در مدیریت انرژی و تدوین آنها نیز می‌تواند به عنوان خط مشی تلقی گردد.

۲-۳- اصول مدیریت انرژی

بطور کلی استقرار مدیریت انرژی رویکردهایی به شرح ذیل را در بر دارد:

- خرید انرژی با مناسب ترین قیمت
- اداره امور مصرف انرژی با بازدهی بالا که بمنظور برآورده نمودن هدف مذکور باید ملاحظات و نکات ذیل مدنظر قرارگیرد:

– بکارگیری مدیریت انرژی وتشکیل یک گروه مدیریت انرژی در سازمان و همچنین حصول اطمینان از آموزش درست و صحیح کارکنان مدیریت انرژی
– تعیین مسؤلیت استفاده از انرژی
– اعمال سیستم نظارت بر انرژی و بازنگری نحوه مصرف انرژی
– برنامه ریزی برای بازدهی مصرف انرژی در طرح‌ها، تمام فرایندهای کاری، ساختمان‌ها و تجهیزات و حصول اطمینان از اجرای مطلوب آن
– تعیین معیارهای روشن برای سرمایه گذاری در انرژی
– افزایش آگاهی کارکنان و آموزش آنها برای صرفه جویی در مصرف انرژی
– افزایش آگاهی کارکنان و ایجاد فرهنگ صرفه جویی در انرژی

۲-۴- مراحل اجرایی استقرار مدیریت انرژی

مدیریت انرژی به عنوان رویه ای سیستماتیک با هدف مشخص و دارای مراحل اجرایی به شرح ذیل می‌باشد:

- اعمال روش کنترل مصرف انرژی

روش‌های کنترل مصرف انرژی دامنه گسترده ای را در بر می‌گیرد که عبارتند از :

☑ بررسی نوع و میزان سوخت مصرفی و هزینه‌های مربوطه از طریق قبوض
☑ بکارگیری راهکارهای بدون هزینه
☑ کنترل بازدید از وسایل، تجهیزات و ماشین‌های مصرف کننده انرژی در هریک از بخشها جهت اطمینان از حداکثر بازدهی آنها
☑ بررسی میزان و سطوح آگاهی و دانش کارکنان در رابطه با انرژی و مصرف بهینه آن و ارائه راهکارهای کم هزینه و با هزینه زیاد بمنظور کاهش مصرف انرژی در سازمان

- سرمایه گذاری در بهینه سازی مصرف انرژی

با انجام بازدید از بخش‌های مختلف سازمان و مطالعه کلیه فعالیتهای مصرف کننده انرژی در آنها فرصت‌های صرفه جویی انرژی درسازمان مشخص و تعیین گردیده و هزینه‌های اجرای آنها برآورد می‌شود و در نهایت با توجه به

قیمت در کشور، زمان برگشت سرمایه و اولویت‌های مربوط به فرصت‌های مختلف ارائه خواهد شد.

- حفظ وضعیت بهینه و کنترل مداوم مصرف انرژی

به منظور حفظ وضعیت بهینه و کنترل مداوم مصرف انرژی باید سیستم اطلاعات مدیریت انرژی ایجاد گردد تا بتواند پایداری میزان مصرف انرژی، جمع آوری و پردازش داده‌های مربوطه و ارائه آنها به مسئولین تصمیم گیرنده و بررسی نیاز به انجام عملیات تعمیر و نگهداری در صورت ضرورت را برعهده گیرد.

۲-۵- مراحل تشکیل مدیریت انرژی

جهت دستیابی به اهداف مدیریت انرژی، مدیریت سازمان کمیته ای را برای مدیریت انرژی تشکیل می‌دهد که وظایف و مسؤلیت‌ها و اختیارات و مناسبات مشترکی در مورد بهینه سازی مصرف انرژی داشته باشند و بودجه ای را برای راهبرد پروژه فوق تخصیص می‌دهد.

یکی از وظایف مهم مدیریت سازمان در این مرحله پشتیبانی از کمیته مزبور است تا به بهبود و اصلاح فرایندها پرداخته شود. این کمیته از اعضای مختلفی تشکیل یافته که تحت نظارت مدیر انرژی به وظایف خود عمل می‌نمایند. وظایف مدیر انرژی و انتظارات سازمان از او مطابق بانیازهای خاص هر سازمان است. این وظایف عبارتند از:

۱) پژوهش و شناخت بهترین شیوه‌های مدیریت انرژی

۲) بازبینی و گزارش دهی مصرف انرژی

۳) اجرای برنامه‌ها و خط مشی‌ها برای دستیابی به بهینه سازی مصرف انرژی

۴) هدایت کمیته انرژی

۵) کسب پشتیبانی مدیریت سازمان از اعضای تیم

۶) بررسی تأثیر خط مشی جدید کاری

۷) تهیه گزارش حول محورهای زیر:

- سیاستگذاری در زمینه مدیریت انرژی
- تشکیل سازمان و ساختار
- ایجاد انگیزش
- ایجاد نظام اطلاع رسانی
- ارزیابی فنی - اقتصادی
- سرمایه گذاری

۲-۶- تشکیل کمیته انرژی

اولین قدم برای برقراری سیستم مدیریت انرژی تشکیل کمیته انرژی می‌باشد. این کمیته پس از تشکیل باید در درجه اول از پشتیبانی مدیریت ارشد مجموعه برخوردار باشد. در این صورت کمیته انرژی خواهد توانست فعالیتها و اقدامات خود را به شرح ذیل دنبال نماید:

- سازماندهی و تهیه فهرستی از کارمندان مورد نیاز برای استفاده از آنها (درحال وآینده) و فراخوانی آنها جهت برگزاری جلسات بحث و مشاوره درباره دیدگاهها، پیشنهادها، فعالیتها، و برنامه‌های مختلف در زمینه صرفه جویی انرژی
- تشکیل اهداف مورد نظر درانرژی و اولویت بندی آنها.
- ترسیم نقشه عملیاتی به منظور ارائه فعالیتها و جلب توجه مدیران وکارکنان به سوی فعالیتهای صرفه جویی در انرژی
- تعیین اهداف مورد نظر صرفه جویی در انرژی و اولویت بندی آنها
- بهینه سازی استفاده از انرژی
- آگاه نمودن مدیریت کارمندان از آخرین پیشرفت‌های انجام شده در زمینه برنامه‌های صرفه جویی انرژی
- سازمان دهی و تشکیل یک گروه کاری برای نظارت، ارزیابی و تهیه گزارش از برنامه‌های تعیین شده.
- مشاوره و استفاده از توانایی‌های سازمانهای دولتی یا خصوصی در پروژه‌های ممیزی و ارزیابی صرفه جویی انرژی در صنعت

۲-۷- آگاه سازی

آگاه سازی به عنوان یک رکن مهم در استقرار مدیریت انرژی در دو بخش انجام می‌شود:

- آگاه سازی مدیران و کارمندان (برگزاری جلسات توجیهی)

در این مرحله باید با مدیران و کارمندان جلسات توجیهی برگزار شود و در این جلسات توجیهی پیرامون اهمیت مقوله انرژی بحث گردد.

- بررسی سطح آگاهی دیگر کارکنان و ایجاد فرهنگ صرفه جویی

سطح آگاهی کارکنان در حل و فصل مسائل مختلف کارخانه باید مورد بررسی و تحلیل قرارگیرد. فرهنگ صرفه جویی در انرژی نیازمند ارائه نتایج، آمارها و موفقیت‌های این دپارتمان در مبحث انرژی می‌باشد که باید به اطلاع کارکنان رسیده و نسبت به حساس سازی آنها اقدام نمود که در این راستا استفاده از یک مشاور برای برگزاری دوره‌های حساس سازی ضروری است.

۳- مرحله دوم : بررسی‌های میدانی و ممیزی انرژی

در انجام مشاوره انرژی، شناسایی و بررسی میدانی و ممیزی انرژی جزء مراحل مهم کار می‌باشد. این مرحله به منظور حصول به اهداف زیر می‌باشد:

الف) تعیین مکانیزم‌ها و فرصت‌های صرفه جویی

حتی در سازمان‌هایی که در برنامه‌های توسعه خود موضوع صرفه جویی و کاهش هزینه را مورد توجه قرارمی‌دهند، بطور معمول به جنبه‌های صرفه جویی انرژی توجه چندانی نمی‌شود. بنابراین لازم است پس از انجام ممیزی انرژی، مکانیزم توسعه به صورت تهیه طرح فنی - اقتصادی برای بخش خاص صورت گیرد. مکانیزم‌های توسعه باید به صورتی باشد که در حد یک پروژه قابل ارائه به هر ارگان بین المللی باشد. در این مکانیزم‌ها تمام پارامترهای مهم برای اجرایی شدن پروژه‌ها را باید در نظر گرفت.

ب) تعیین وضعیت و نگهداری

ج) زمان بندی تولید و مشخص نمودن زمان‌های تعمیر و توقف تجهیزات

بنابراین در این مرحله، وضعیت کامل سازمان به دقت مورد بررسی قرار می‌گیرند. این ابعاد شامل نکات ذیل می‌باشد:

- رسم نقشه جانمایی تجهیزات
- رسم دیاگرام تک خطی توزیع قدرت

لازم است نمایی تک خطی از فیدرهای ورودی به کارخانه رسم شود. این کار باعث ایجاد تصویر بهتر از نحوه توزیع انرژی الکتریکی در واحد صنعتی خواهد شد.

- جمع آوری اطلاعات اولیه شامل نوع ومقدار تولیدات، مواد اولیه، ظرفیت اسمی و عملی واحدها.
- بررسی تجهیزات سخت افزاری

در این بخش فهرست تجهیزات تولیدی، مدل، تعداد از هر مدل، ظرفیت تولید، مشخصات فنی بخش‌های الکتریکی آن، مصرف انرژی آنها در شرایط مختلف، طول عمر، راندمان انرژی مورد انتظار در جداول ثبت می‌شود.

- معرفی امکانات (آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها)

تهیه فهرست تجهیزات موجود با ذکر مدل و تعداد هر یک، مشخصات فنی و قابلیت‌ها، مصرف انرژی هریک.

- کنترل کیفیت و تجهیزات مربوطه

تهیه فهرست تجهیزات موجود با ذکر مدل و تعداد هر یک، مشخصات فنی و قابلیت‌ها، مصرف انرژی هریک

- خدمات کامپیوتری

تهیه فهرست تجهیزات موجود با ذکر مدل و تعداد هر یک، مشخصات فنی و قابلیت‌ها، مصرف انرژی هر یک

- برگزاری جلسات با مهندسین و اپراتورهای دستگاه‌ها برای آشنایی با مشکلات خطوط تولید
- تهیه فهرستی از تجهیزات عمده انرژی بر و بخش‌های عمده مصرف کننده انرژی بر مبنای اطلاعات فوق.

۴- مرحله سوم : مراحل فنی و مهندسی

۴-۱- بررسی میزان مصارف انرژی

در این بخش منابع انرژی (برق و گازیا بخار و هوای فشرده و ...) مصرفی در بخش‌های مختلف کارخانه بطور دقیق بررسی می‌شوند و میزان مصارف انرژی در بخشهای مختلف و در زمانهای مختلف به طور کامل تعیین می‌شود. این مرحله شامل موارد زیر باشد:

۴-۱-۱- بررسی مصرف برق: تعیین میزان کلی مصرف برق در ماه‌های مختلف و تعیین میزان مصرف برق در بخش‌های مختلف.

۴-۱-۲- بررسی مصرف گاز: مصرف گاز نیز همانند مصرف برق باید در طول دوره‌های زمانی متفاوت و نیز در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۱-۳- بررسی مصرف سوخت فسیلی: مصرف سوخت‌های فسیلی نیز همانند مصرف برق و گاز باید در طول دوره‌های زمانی متفاوت و نیز در بخش‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۱-۴- پیش بینی و برآورد مصرف انرژی در سال‌های آتی بر اساس تغییرات قیمت حامل‌های انرژی.

۵- مرحله چهارم : ارائه طرح عملیاتی با ذکر نقاط صرفه جویی

در این بخش با استفاده از نتایج بدست آمده در مراحل قبل، سعی می‌کنیم عوامل اتلاف انرژی را از بین برده یا کاهش دهیم. موارد تجربه شده در طرحهای عملیاتی سازمان‌های مختلف به ترتیب ذیل ارائه می‌شود:

- بهبود ضریب بارگذاری دستگاه‌ها و ترانس‌ها
- اصلاح ضریب توان و خازن گذاری
- استفاده از تجهیزات کنترل دور مناسب در کلیه دستگاه‌ها و استفاده از ASD و بررسی میزان تأثیر آن بر مصرف انرژی
- استفاده از موتورهای با بازده بالا
- بهینه سازی تجهیزات در جهت افزایش بازدهی الکتریکی موتورها
- بهبود کنترل‌ها (موتورها به هنگام عدم استفاده از آنها خاموش شوند).
- کاهش مصارف ساعات اوج مصرف (پیک سایی)
- تعمیر و نگهداری منظم موتورها طبق زمان بندی و انجام برنامه MPMP

- استفاده از کوره‌های با بازدهی بالا
- ترویج فرهنگ مصرف صحیح انرژی در کارخانه

۶- مرحله پنجم : برآورد هزینه و امکان سنجی انجام پروژه‌های بهینه سازی مصرف

۶-۱- هزینه و امکان سنجی

از جمله مهمترین مراحل در مسیر انجام یک پروژه برآورد هزینه و بررسی مسائل اقتصادی می‌باشد و برای اجرای هر طرح صنعتی ابتدا باید توجیه پذیری فنی - اقتصادی آن طرح نشان داده شود. هدف از انجام طرح‌های بهینه سازی، کاهش هزینه‌های عملکرد و تولید از طریق کاهش هزینه‌های مصرف انرژی است. اما اغلب پروژه‌های بهینه سازی مصرف انرژی نیازمند سرمایه گذاری‌های کلان برای بازسازی یا نصب تجهیزات فنی جدید می‌باشند.

مشخصه بارز سرمایه گذاری در طرح‌های صنعتی بهینه سازی (همانند سایر فعالیت‌های تجاری)، سرمایه گذاری در زمان حال و سوددهی در زمان آینده است. از این گروه مدیریت باید توانایی ارزیابی مالی و توجیه اقتصادی طرح بهینه سازی مورد نظر خود را داشته و قادر باشد برآورد صحیح و قابل قبولی از مدت زمان برگشت سرمایه و سود حاصل از انجام پروژه به عمل آورده و به منظور تصمیم گیری برای اجرای طرح مذکور در اختیار مدیران ارشد خود قرار دهد. برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها باید تحلیلی کمی از پارامترهای اقتصادی سرمایه گذاری انجام داد. این پارامترها عبارتند از:

میزان سرمایه گذاری اولیه، مدت زمان برگشت سرمایه، عمر اقتصادی یا سوددهی، ارزش اسقاطی یا ارزش تجهیزات در پایان عمر اقتصادی. بنابراین ارزیابی فنی و اقتصادی پروژه‌های صرفه جویی مصرف انرژی باید با دقتی جامع و کامل صورت پذیرد. اصولاً راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

- راهکارهای بدون هزینه: این راهکارها بطور عمده در جهت ترویج فرهنگ مصرف صحیح انرژی در تمام سطوح کارخانه از کارگرها تا مدیران ارشد می‌باشند. اطلاع رسانی و تبلیغات و برقراری نظم در کارخانه که افراد را به سمت مصرف صحیح انرژی سوق دهد از فرآیندهایی هستند که در شمار این راهکارها قرار می‌گیرند.

- راهکارهای هزینه بر : این راهکارها فنی و تکنولوژیکی بوده و علیرغم هزینه بر بودن به جهت تأثیر قابل توجهی که بر کاهش مصرف انرژی دارند، زمان بازگشت سرمایه در مورد آنها کوتاه می‌باشند. این راهکارها نیز مجدداً به سه نوع کم هزینه و هزینه متوسط و پرهزینه تقسیم می‌شوند.

بنابراین گروه مدیریت انرژی بایستی در راستای ارزیابی فنی، مراحل ذیل را به انجام رساند:

- برآورد هزینه
- طبقه بندی فرصت‌ها به انواع کم هزینه، با هزینه متوسط و پرهزینه
- اولویت بندی فرصت‌ها بر اساس مسائل اقتصادی و اجرایی

۶-۲- تشکیل ماتریس‌های شناسایی وضعیت موجود مدیریت انرژی

یکی از راههای تعیین وضعیت موجود هرسازمان از نظر انرژی، معین کردن جایگاه سازمان در ماتریس مدیریت انرژی است. ستون‌های این ماتریس (از سطح صفر تا ۴) نشان دهنده میزان تکامل سازمان در قبال مدیریت مؤثر انرژی و سطرهای آن در ارتباط با موضوعات کلیدی مدیریت می‌باشند. استفاده از ماتریس مدیریت انرژی به دو دلیل ذیل توصیه می‌شود:

- کمک به شناخت وضعیت موجود مدیریت انرژی و سیاستهای جاری مدیریت انرژی در سازمان
- کمک به سازماندهی وبهبود مدیریت انرژی در سازمان

با پرکردن ماتریس مدیریت انرژی یعنی رنگی کردن خانه‌های مربوط به وضعیت موجود در کارخانه، در نهایت دریک نگاه، می‌توان به وضعیت مدیریت انرژی در آن کارخانه پی برد. جدول ذیل ماتریس مدیریت انرژی را در حالت کلی نشان می‌دهد. نیل به این اهداف در هر واحد صنعتی با توجه به عوامل مختلف و شرایط تعیین کننده موجود، برنامه‌ریزی و مطالعات خاص خود را طلب نموده و نیاز به شناخت کاملی از سازمان دارد.

شناخت کافی موجود در گزارش ممیزی از فرآیندها و نحوه تولید محصول و آگاهی از نقاط کلیدی و پرمصرف در فرایندهای سازمان باعث خواهد شد تا سازمان بر پایه این دانسته‌ها، سریعتر، بهتر و کاملتر به اهداف تعیین شده دست یابد. همچنین تعیین دقیق شرایط مصرف با انجام فعالیت‌های میدانی و حضور در واحد و انجام اندازه‌گیری‌های لازم بدست می‌آید که اجرای صحیح آنها نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و اجرای برنامه در شرایط کوتاه و مناسب زمانی و شناخت کامل از توانایی‌های دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری دارد. تشخیص و تعیین میزان اثربخشی فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی نیز نیازمند شناسایی کامل شرایط فرآیند، درک صحیح از شرایط و پتانسیل‌های موجود و تعیین اثرات متقابل تغییرات پیشنهادی در شرایط کاری دارد.

محور ارزیابی	۰	۱	۲	۳	۴
سرمایه گذاری	هیچگونه سرمایه گذاری در افزایش کارایی انرژی انجام نمی‌شود.	فقط هزینه‌های پایین به حساب می‌آیند.	سرمایه گذاری فقط با استفاده از معیار دوره برگشت در کوتاه مدت	استفاده از دوره برگشت سرمایه برای همه سرمایه گذاری‌ها	گرایش به سمت برنامه‌های "سبز" (حفظ محیط زیست) با ارزیابی دقیق از سرمایه گذاری در ایجاد ساختمان‌های جدید و نو سازی
بازاریابی	در کارایی انرژی هیچگونه پیشرفتی وجود ندارد.	تماسهای غیررسمی برای پیشبرد کارایی انرژی به کار می‌رود.	برخی از افرادی که برای این کار تعیین شده اند آموزش لازم را می‌بینند.	برنامه آگاه کردن کارکنان و برقراری نشست های عمومی به طور منظم	بازاریابی درباره ارزش کارایی انرژی و عملکرد مدیریت انرژی چه در داخل سازمان و چه در خارج از سازمان
سیستمهای اطلاعاتی	هیچگونه سیستم اطلاعاتی وجود ندارد. درباره مصرف انرژی هیچ اطلاعاتی وجود ندارد.	هزینه گزارش دهی براساس داده‌های فاکتورها می‌باشد. مهندس گزارشات را برای استفاده داخلی در درون دپارتمان فنی جمع آوری و منظم می‌کند.	گزارشات نظارتی بر اساس اطلاعات عرضه ارائه می‌شود. واحد انرژی مشارکت موقت در تعیین بودجه دارد.	گزارشات فنی برای افراد براساس اندازه گیری ارائه می‌شود امّا میزان صرفه جویی به طور مؤثر به استفاده کنندگان گزارش نمی‌شود.	سیستم جامعی اهداف رامعین کرده، بر مصرف نظارت داشته و نواقص رامعلوم می‌سازد. همچنین مقادیر صرفه جویی را بدست آورده و نحوه تخصیص بودجه را بررسی می‌کند.
انگیزه	هیچگونه تماسی با استفاده‌کنندگان انرژی وجود ندارد.	تماس غیررسمی بین مهندس انرژی و تعدادی از مصرف کنندگان وجود دارد.	از طریق کمیته ای که متشکل از مدیران ارشد واحدهاست با مصرف کنندگان عمده تماس برقرار می‌شود.	کمیته انرژی به عنوان کانال اصلی بوده، همچنین تماس مستقیم با مصرف کنندگان عمده می‌باشد.	از طریق مجاری رسمی‌و غیررسمی ارتباطی به طور منظم بوسیله مدیریت انرژی و کارکنان انرژی در همه سطوح سازمانی استفاده می‌شود
سازماندهی	در سازمان مدیریت انرژی ویا هر فرد دیگری به عنوان مسؤل انرژی وجود ندارد.	مدیریت انرژی بصورت پاره وقت با اختیار محدود وجود دارد.	پست سازمانی مدیریت انرژی وجود دارد که به کمیته موقت انرژی گزارش می‌دهد اما مدیران و اختیارات آنها روشن نیست.	مدیرانرژی در برابر کمیته انرژی که مرکب از همه مدیران قسمتهای استفاده کننده به سرپرستی یکی از اعضا هیأت مدیره می‌باشد مسؤل است.	مدیریت انرژی کاملاً هماهنگ با ساختار مدیریت است. تفویض اختیار در مورد مصرف انرژی و مسؤلیتها کاملاً روشن است.
سیاست انرژی	هیچگونه سیاست روشن و سریعی وجود ندارد.	مجموعه ای از خط مشی انرژی غیر مکتوب وجود دارد.	سیاست انرژی بوسیله مدیر انرژی با مدیران ارشد تعیین نشده است.	سیاستی درباره انرژی به طور رسمی وجود دارد اما از طرف مدیران ارشد هیچ تعهدی بطور فعال وجود ندارد.	سیاست انرژی، برنامه عملیاتی، تجدید نظر منظم از طرف مدیران ارشد به عنوان استراتژی سازمان وجود دارد.

۷- نتیجه گیری

مدیریت انرژی به عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد موردتوجه خاص قانونگذاران، سیاستگذاران و مدیران بنگاههای اقتصادی و صنعتی کشورهای در حال توسعه و همچنین توسعه یافته قرار گرفته است. در این راستا استفاده از تکنولوژی‌های جدید و طراحی دوباره فرایندهای تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی اجتناب ناپذیر است.

به منظور بهره گیری درست از این فن آوری‌ها، آموزش‌های صحیح کارکنان و بومی سازی فن آوری از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد که این موارد در سطح واحدهای صنعتی با شاخص‌های بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری و بهبود عملکردهای محیط زیست در استفاده از منابع تجدید پذیر و غیرقابل تجدید، قابل مشاهده خواهد بود.

برای استقرار مدیریت انرژی، مشاوره مهندسی بر طبق روش‌های معلوم و بر طبق گام‌های اشاره شده در این مقاله، الزامی می‌باشد. بنابراین می‌بایست مشاوره انرژی به عنوان حرفه ای جدید و قابل کاربرد در تمام زمینه‌های صنعتی مورد توجه قرار گیرد و در برنامه توسعه بازار مشاوره مهندسی قرارگیرد.

مراجع

۱- جنبه‌های کلی ممیزی و مدیریت انرژی - شورای ملی بهره‌وری هند (NPC)

۲- گزارش برنامه ریزی سالانه مصرف انرژی و روش‌های ارائه ترازنامه انرژی - دانشکده صنعت آب و برق

۳- انرژی: مدیریت، عرضه و بهینه‌سازی مصرف - دکتر امیرعباس صدیقی - حسین فرخ مال

آقای حمید ناصری دارای لیسانس مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) در سال ۱۳۶۵ و فوق لیسانس مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی) از دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۷۰ می‌باشد.

ایشان جمعاً ۲۵ سال تجربه کاری در زمینه‌های نفت و گاز، برق، صنایع خودرو سازی، و خدمات مشاوره و آموزش مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی دارد و از سال ۱۳۸۰ تاکنون با قدس نیرو بعنوان مشاور سیستم‌های مدیریت IMS همکاری می‌نماید. زمینه کاری و علاقمندی آقای ناصری ابزارهای مدیریتی برای تعالی سازمانی می‌باشد.

Email:
h.nasseri@beheaneh.com

بررسی استفاده از ترانسفورماتورهای با هسته آمورف در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی

جواد رضوان طلب

کارشناس برق- مدیریت ارشد مهندسی نیروگاههای بخار و انرژی های نو

چکیده

در این مقاله به بررسی هسته‌های آمورف و استفاده از آنها درترانسفورماتورهای قدرت پرداخته شده است. فلزات آمورف دسته خاصی از مواد هستند که بر خلاف فلزات معمولی، ساختار کریستالی خاصی نداشته و آرایش اتمها در آنها اتفاقی است. به علت ترکیبات شیمیایی و ساختار این مواد، تلفات هسته در آنها به شدت کمتر است و لذا در سال‌های اخیر استفاده از آنها در ساخت هسته‌های ترانسفورماتورهای قدرت بیشتر شده است. در ادامه مقاله به بررسی روش‌های مختلف طراحی هسته‌های ترانسفورماتور مذکور از جمله روش صلیبی، چنبره‌ای، هسته با فاصله هوایی توزیع شده، هسته‌های پوششی و هسته‌های پشته ای که در این تحقیق گردآوری شده اند، پرداخته شده است. در انتهای مقاله نیز ترانسهای آمورف با ترانسهای معمولی از دیدگاه اقتصادی و هزینه مورد نیاز برای ساخت، مقایسه شده اند.

واژه‌های کلیدی: *ترانسفورماتورهای قدرت، سیم پیچی ترانس، هسته ترانس، تلفات هسته*

۱- مقدمه

در سالهای اخیر تغییرات عمده ای در صنعت برق جهان ایجاد شده است. بحران‌های نفتی در کشورهای صنعتی سبب توجه شدیدتر به مسأله کمبود انرژی و لزوم صرفه جویی در آن گردیده است. به همین دلیل شرکت‌های بزرگ صنعت برق بخصوص آنهایی که هزینه تولید برق بالایی را متحمل می‌شدند، در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی سرمایه گذاری‌های عظیمی‌نموده‌اند. علاوه بر این بسیاری از دولتها وارد برنامه‌هایی جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و مشکلات زیست محیطی ناشی از این گازها گردیده‌اند. به همین دلیل، تجهیزات برقی، و از جمله ترانسفورماتورهایی با راندمان عملکرد بالا، توجه بسیاری از بهره برداران تأسیسات برقی را به خود معطوف نموده است.

تلفات انرژی در ترانسفورماتورهای توزیع حدود ۳ تا ۵ درصد از کل توان الکتریکی تولید شده، برآورد می‌گردد که عدد قابل توجهی است. در ایالات متحده آمریکا میزان به هدر رفتن انرژی ناشی از تلفات در هستهٔ ترانسفورماتورهای توزیع سالانه بالغ بر 50×10^{9} kWh برآورد شده است [۱]. کاهش میزان تلفات بی‌باری ترانسفورماتورها به عنوان دسته مهمی از تلفات شبکه که به محض برق‌دار کردن ترانسفورماتور و فارغ از توان خروجی، شاهد حضور آن در شبکه هستیم، نقش بسزایی در کاهش مقادیر مصرفی سوخت‌های فسیلی برای تأمین این توان و در نتیجه افزایش انتشار گازها و ذرات جامد آلاینده دارد. یکی از تکنولوژی های پدید آمده در راستای افزایش راندمان ترانسفورماتورها، استفاده از فلزات آمورف در ساخت هستهٔ ترانسفورماتورهای توزیع می‌باشد. استفاده از ترانسفورماتورهای با هسته آمورف[1] در سال‌های اخیر، در سیستم قدرت الکتریکی و حتی در کاربردهای الکترونیکی رو به افزایش است [۲].

۲- معرفی فلزات آمورف

فلزات آمورف[2] کلاس جدیدی از مواد هستند. این مواد علیرغم فلزات معمولی که دارای ساختارهای کریستالی بوده و اتمها در آنها آرایش منظم، سه بعدی و تکرار شونده را تشکیل می‌دهند، هیچگونه شکل کریستالی و بلوری ندارند. مشخصه این فلزات آرایش اتمهای آنها می‌باشد. این ساختار اتمی خاص، سبب ایجاد تلفات هیسترزیس و جریان گردابی بسیار پایین در آنها گردیده است. این میزان تلفات عموماً ۳۰٪ ورق‌های نرمال مورد استفاده در ساخت هسته‌های ترانسفورماتورها می‌باشد. به دلیل نیاز به سرعت سرد کردن بالا در حدود 10^{6} K/Sec. در ساخت این نوارها جهت جلوگیری از تشکیل ساختار بلوری، عموماً امکان ساخت آنها با ضخامت‌های بیشتر از حدود

1- Amorphous core transformers
2- Amorphous

۰/۰۳ mm وجود ندارد. از طرف دیگر، ضخامت و فاکتور فضای پایین، حساسیت در برابر تنش و شکنندگی این مواد و از همه مهمتر سختی بسیار بالای این مواد که برش آنها را با مشکلات زیادی روبرو می‌کند، سبب بروز چالش‌هایی در تولید انبوه و مقرون به صرفه این نوع از ترانسفورماتورها گردیده است. انواع مختلفی از آلیاژهای آمورف تاکنون وارد بازار شده اند و از میان آنها سیستم‌های آلیاژی آهن- بور- سیلسیم عملکرد خوبی به عنوان هسته ترانسفورماتور از خود نشان داده اند. این امر بخصوص در مورد آلیاژ $Fe_{78}\ B_{13}\ Si_9$ صادق می‌باشد. در حال حاضر بالغ بر ۱۲۵۰۰۰۰ ترانسفورماتور توزیع با هسته آمورف در سراسر دنیا نصب شده است و به تأسیسات برقی کمک می‌کنند تا راندمان سیستم‌های انتقال و توزیع خود را افزایش دهند. این ترانسفورماتورها بطور عمده در کشورهای امریکا، ژاپن، چین و هند مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند. آرایش بی‌شکل گونهٔ این دسته مواد، خواص ویژه ای از نظر مغناطیسی و الکتریکی و شیمیایی به آنها داده است که در ادامه به تفصیل ذکر می‌گردد.

۳-خواص فلزات آمورف

۳-۱- اشباع مغناطیسی و نقطه کوری

هنگامی‌که مواد مغناطیسی توسط یک میدان مغناطیسی خارجی تحریک می‌گردند شاهد ایجاد چگالی شار میدان مغناطیسی به میزان β در درون خود هستند. با افزایش شدت میدان خارجی چگالی شار میدان مغناطیسی نیز افزایش می‌یابد. اما این افزایش β در یک حد معین که به آن β_S می‌گویند متوقف می‌شود. میزان این β_S در مورد ورق‌های آمورف برابر ۱/۵۷ و در مورد ورق‌های سیلکونی تا ۲/۰۱ گزارش گردیده است. با توجه به آنکه فلزات آمورف از ۸۰٪ آهن و ۲۰٪ بور تشکیل شده اند و بور نیز یک ماده غیرمغناطیسی است، β_S حدود ۲۱٪ کاهش یافته است. به دلیل چگالی شار اشباع کمتر در ورق‌های آمورف، ولت بر دور انتخابی آنها در سطح مقطع یکسان کمتر بوده که این امر سبب افزایش تعداد دورهای مورد نیاز برای رسیدن به ولتاژ نامی در این دسته از ترانسها می‌باشد. افزایش تعداد دور این ترانسها افزایش حجم و وزن مس به کار رفته و به طبع آن افزایش قیمت‌هادی‌های به کار گرفته شده را در پی خواهد داشت. همچنین با افزایش حجم‌هادی‌ها، حجم ترانس، تانک و روغن به کار گرفته شده نیز افزایش می‌یابد.

لازم به ذکر است که میزان β_S به دمای محیط نیز وابسته است. پس از گذر از حد دمایی معینی میزان β_S برابر صفر می‌گردد که اصطلاحاً به این دما، دمای کوری می‌گویند و آن را با θ_f نمایش می‌دهند. β_S و θ_f دو فاکتور مهم در مواد مغناطیسی می‌باشند. در مورد فلزات آمورف θ_f وابستگی شدیدی با ساختار اتم مواد دارد، به این معنی که با افزایش بیشتر حضور فلز آهن، θ_f کاهش می‌یابد. البته دمای کوری ورق‌های سیلکونی بالاتر از ورق‌های آمورف می‌باشد. اما بر اساس استاندارد IEC 60076-2 که بیان کننده سقف حرارتی مجاز جهت کارکرد ترانسفورماتورها می‌باشد، حداکثر دمای مجاز جهت ترانسهای روغنی $105^{o}\ C$ وجهت ترانسهای خشک کلاس F برابر با $180^{o}C$ می‌باشد. این اعداد از میزان دمای کوری ورق‌های آمورف بسیار کمتر بوده و بیان کننده قابلیت بالای این ورق‌ها جهت استفاده در صنعت ترانسفورماتورسازی می‌باشد.

در جدول (۱) مطالب فوق بین چند نوع ورق آمورف و ورق سیلکونی m-2 مقایسه شده است [۱].

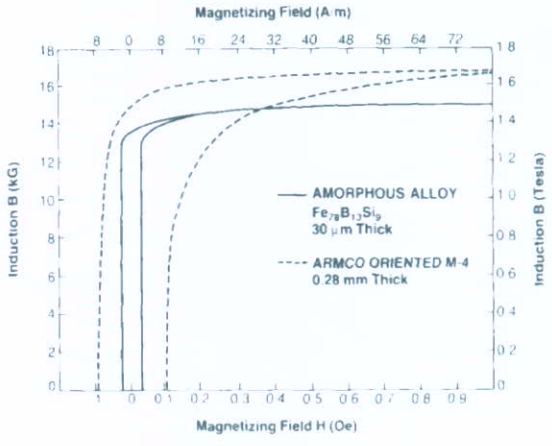
جدول (۱): مقایسه شار اشباع ودمای کوری ورق‌های سیلکونی و ورق‌های آمورف

نوع ورق	چگالی اشباع مغناطیسی	دمای کوری برحسب کلوین ^{o}K
Grain oriented (m-2)	۲/۰۱	۱۰۱۹
آمورف $Fe_{80}P_{13}C_7$	۱/۴	۵۸۷
آمورف $Fe_{80}B_{20}$	۱/۶	۶۴۷
آمورف $Fe_{80}B_6C_6$	۱/۷۵	<۶۰۰
آمورف $Fe_{80}B_{11}Si_9$	۱/۵۹	۶۶۵

۳-۲- تلفات مغناطیسی

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، فرآیند مغناطیس شدن یک فرآیند غیرخطی می‌باشد. چنانچه نمودار هیسترزیس B-H را رسم نماییم سطح محصور بین منحنی برابر تلفات در یک سیکل گردش را نمایش می‌دهد. میزان تلفات با افزایش فرکانس تحریک افزایش می‌یابد. در این بخش ۲ دسته مؤلفه مهم در تلفات مشاهده می‌شود. یکی تلفات مستقل از فرکانس یا همان تلفات جریان گردابی (L_e) است و دیگری تلفات ناشی از هیسترزیس(L_h) که به فرکانس کاری وابسته می‌باشد.

شکل (۱) بیان کننده مقایسه‌ای بین منحنی‌های مغناطیس شوندگی ورق‌های سیلکونی موجود و ورق‌های آمورف است. همانطور که در شکل مزبور مشخص است مساحت محصور شده در منحنی مغناطیس شوندگی که به نوعی بیان کننده تلفات بی‌باری در هر سیکل می‌باشد در مورد فلزات آمورف ۴۰٪ - ۳۰٪ کمتر از ورق‌های سیلیکونی متداول می‌باشد.



شکل (۱): مقایسه منحنی مغناطیس شوندگی ورق‌های آمورف و ورق‌های سیلکونی موجود [۱]

۳-۳- بررسی تلفات جریان گردابی

دسته دوم تلفات بی‌باری، تلفات جریان گردابی می‌باشد. میزان تلفات مربوط به جریان گردابی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۳، ۴]:

$$L_e = \frac{(\pi B_m f d)^2 \eta}{6p} \qquad (۱)$$

پارامترهای به کار رفته در رابطه فوق عبارت هستند از:

B_m: ماکزیمم چگالی شار، $B_m \propto (V/f)$

f: فرکانس تحریک

η: ضریب شار پس‌ماند

d: ضخامت ورق به کار رفته

p: مقاومت ویژه ورق

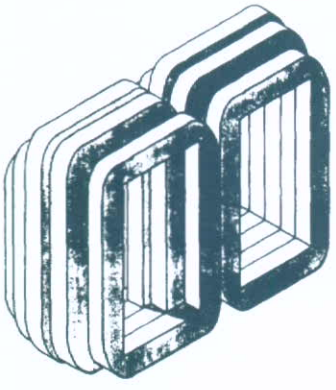
این ورق‌ها به دلیل حضور میزان بیشتری از عناصر غیر فلزی در ساختمان خود شاهد مقاومت ویژه الکتریکی بالاتری هستند. با توجه به رابطه (۱)، بالا بودن مقاومت ویژه الکتریکی تاثیر معکوس بر روی میزان تلفات گردابی و در نتیجه کاهش آن دارد. میزان این مقاومت ویژه[1] برای یک ورق ۳٪ سیلکونی برابر ۴۸-۴۵ Ωm و برای ورق آمورف Metglas ۲-۲۶۰۵۵ معادل ۱۳۷ Ωm می‌باشد [۵]. از دیگر عوامل مؤثر بر میزان تلفات جریان گردابی ضخامت ورقها است. ضخامت ورق‌های آمورف در حدود ۰/۰۲۵mm و ضخامت ورق‌های فولادهای سیلیکونی در حدود ۰/۲۵mm، یعنی حدود ۱۰ برابر ورقهای آمورف می‌باشد. این ضخامت پایین از اثرات فرآیند ریخته‌گری است که طی این فرایند فلز از حالت مذاب با سرعت یک میلیون درجه در ثانیه تا حالت جامد سرد می‌شود. این سرعت بالا در سرد شدن فلز یک فاکتور حیاتی در دستیابی به ساختار غیرکریستالی است که این به نوبه خود عامل اصلی ایجاد ویژگی تلفات بسیار پایین در این مواد می‌باشد. به علت ضخامت بسیار پایین همراه با سطح غیر یکنواخت این مواد، ضریب فضای هسته که بنا به تعریف عبارت است از نسبت سطح مقطع خالصی که شار از آن گذر می‌کند به کل سطح مقطع موجود هسته، در فلزات آمورف حدود ۸۰٪ است که در مقایسه با ضریب ۹۵٪ ورق‌های سیلکونی متداول، بسیار پایین‌تر است. این عامل باعث می‌شود که برای ساخت هسته‌های آمورف سطح مقطع بالاتر استفاده شود.

مشکل سازترین ویژگی این مواد برای ترانسفورماتور سازها، سختی این نوع ورق‌ها می‌باشد که حدود ۴ تا ۵ برابر فولادهای سیلیکونی است. ابزارهای برش متداول از جنس کاربید در هنگام برش این فلزات، هزار برابر سریعتر از زمان برش فولادهای سیلیکونی با دانه‌های جهت دار، فرسوده و مستهلک می‌شوند. از این رو تکنیکهای خاصی در ساخت و مونتاژ این ورق‌ها به منظور برش کمتر و راحت‌تر استفاده می‌شود. از دیگر مشکلات ساخت ترانسفورماتورهای با هسته آمورف می‌توان به سختی حمل و نقل ورقها و نصب آنها اشاره نمود.

۴- روشهای مختلف طراحی هسته ترانس آمورف

۴-۱- روش صلیبی[2]

در این روش حلقه‌هایی از ورق‌های آمورف با پهنای کم در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند تا مسیر چرخش شار را فراهم نمایند. بسته به شرایط طراحی ۵ تا ۹ چرخه جهت حرکت شار ایجاد می‌شود. نمایی از این هسته‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): نمایی از یک هسته Cruciform

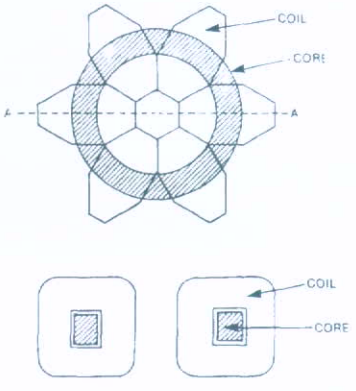
طراحی ترانس‌های تک فاز به صورت Shell Type سبب دو برابر شدن تعداد حلقه‌های شار نسبت به نوع Core Type می‌گردد. حلقه‌های سیم‌پیچ بر روی دو سیلندر جدا شونده که

1- Resistivity
2- Cruciform

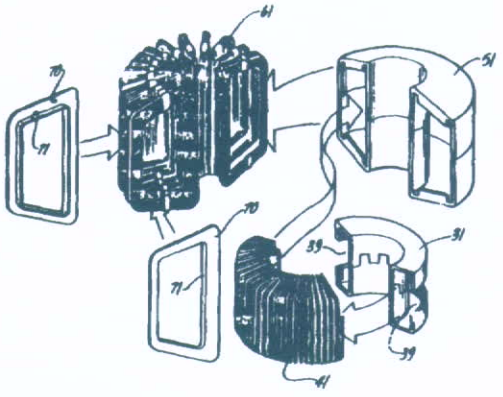
مستقیماً بر روی هسته مونتاژ شده قرار دارند پیچیده می‌شوند. در این طراحی از یک کویل با ساختاری ساده جهت حفاظت در برابر اتصال کوتاه و حفاظت عایقی استفاده می‌شود. با این حال در طراحی این ترانسها نیاز به تانکهایی بزرگتر و با حجم روغن بیشتر نسبت به نوع سیلکونی احساس می‌شود. همچنین هسته و سیم‌پیچها به صورت محکم به یکدیگر متصل می‌شوند تا از وارد آمدن استرس به هسته جلوگیری شود. از مزایای این روش طراحی این است که به دلیل دایره‌ای شدن تقریبی مسیر، ضریب فضا به ۸۴ تا ۹۰ درصد ارتقا می‌یابد. همچنین استرس کمتری به هسته در حین پیچیده شدن وارد می‌شود. البته این طراحی دارای معایبی نظیر نیاز به سرمایه‌گذاری بالا در زمینه برش و مونتاژ هسته و همچنین کار کارگاهی حجیم در زمینه مونتاژ سیم‌پیچ‌ها بر روی این هسته‌ها است.

۴-۲- روش چنبره ای[1]

طراحی چنبره‌ای مختص استفاده در اتوترانسفورماتورهای کوچک و ترانس‌های مربوط به وسایل اندازه‌گیری است. این هسته‌ها با یک نوار آمورف که به صورت پیوسته بر روی هم پیچیده می‌شوند تهیه می‌گردند. پس از پیچش هسته هر حلقه سیم را که به شکل مستطیل است به دور هسته می‌پیچند. نمایی از این هسته در شکل (۳) نشان داده شده است. البته اجرای سیم‌پیچی در این هسته‌ها بسیار دشوار بود و نیاز به توسعه ماشین آلات و روشهای سرهم کردن اجزاء بوبین دارد. یکی از روش‌های نوین جهت انجام سیم پیچی در شکل (۴) نشان داده شده است[۶]. در این روش ابتدا سیم‌پیچ‌های فشار ضعیف را پیچیده، سپس بر روی آنها کاغذ عایقی قرار داده و سیم‌پیچ فشار قوی را روی آن قرار می‌دهند. در نهایت اقدام به گذراندن نوار هسته از درون دالان سیم‌پیچ فشار ضعیف نموده و هسته را می‌پیچند. از مزایای مهم این سیم‌پیچی کارایی بالای هسته در این حالت می‌باشد، زیرا به علت عدم برش ورق تلفات بسیار کم می‌شود.



شکل (۳): نمایی از یک هسته چنبره ای

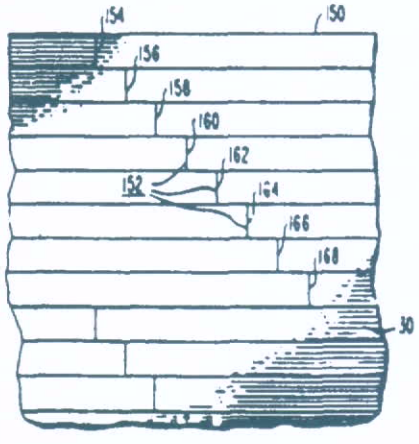


شکل (۴): نمایی از نحوه مونتاژ سیم‌پیچی‌های فشار ضعیف و قوی

۴-۳- هسته با فاصله هوایی توزیع شده[2]

در این نوع طراحی که در آنها سیم‌پیچها را از قبل می‌پیچند، قیمت سیم‌پیچ و هسته‌ها کاهش محسوسی دارد. البته این روش برای ترانسهای سیلکونی نیز استفاده می‌شود. روش ساخت این ترانسها به این صورت است که ابتدا یک هسته را به صورت حلقوی پیچیده و لایه‌های آن را به صورت پلکانی برش می‌دهند تا در نهایت به صورت پنجره مستطیل شکل تبدیل می‌گردد.

این روش در شکل (۵) مشخص شده است. اولین ترانس با تکنیک فوق در ایالات متحده ساخته شد که در آن ابتدا هسته را به صورت چنبره ای پیچیده و به صورت لایه لایه برش زده و پس از سرهم کردن سیم‌پیچ و هسته اقدام به متصل نمودن دو سر جدا شده و کلمپ نمودن آنها نمودند. این نوع ترانسها به صورت تکفاز و از ۱۵ تا ۱۰۰ کیلو ولت آمپر در دسترس هستند.



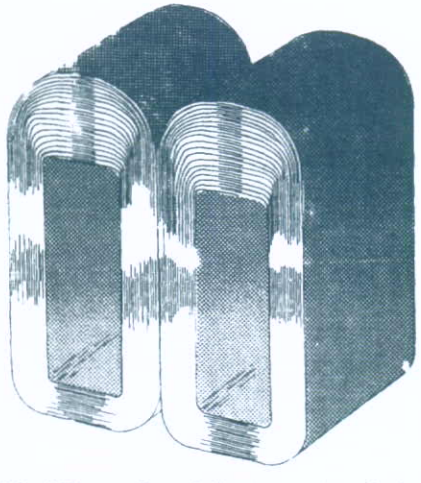
شکل (۵): نحوه برش در هسته‌های **Distributed gap core**

1- Toroide
2- Distributed gap core

این گروه از ترانسها عملکرد ضعیف‌تری نسبت به هسته‌های صلیبی و چنبره ای دارند، چراکه برای هدایت کویل‌ها به درون این هسته‌ها نیاز به خم کردن و برش این ورق‌ها است و این عمل موجب تحمیل استرس بالایی به آنها می‌شود که با توجه به نازک‌تر و شکننده‌تر بودن ورق‌های آمورف اهمیت این تنش بیشتر می‌شود.

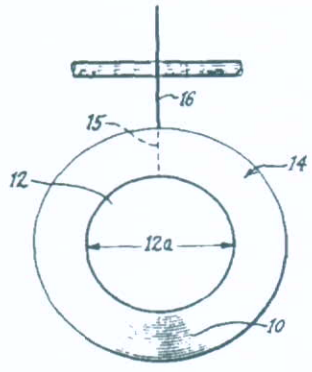
۴-۴- هسته با لبه برگشتی[1]

این نوع هسته با هسته‌هایی که قبلاً ذکر شد تفاوت‌هایی دارد که عمده این تفاوتها به نحوه اتصال نقاط انفصال و روشهای ساخت بستگی دارد. در این روش نوارهای آمورف بیشتر با همدیگر همپوشانی دارند. شکل (۶) یک هسته Shell Type تکفاز از این نوع را نشان می‌دهد. در این نوع هسته، از یک سری نوار آمورف که دارای طول یکسان هستند استفاده می‌شود. هر ورق حول یک استوانه مستطیل مشخص قرار می‌گیرد. پس از آنکه تمامی ورق‌ها در جای خود قرار گرفتند کویل‌ها به درون استوانه‌ها هدایت می‌شوند و در نهایت لبه‌های ورق‌ها را به یکدیگر متصل می‌نمایند.



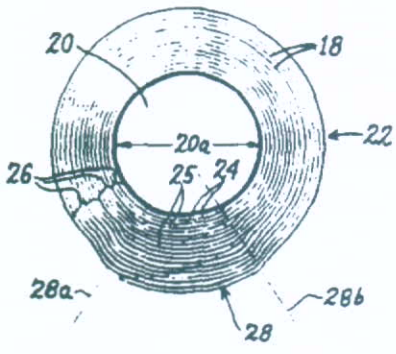
شکل(۶): نمای هستهٔ Lap-joint و Shell Type

اصول تولید صنعتی این هسته‌ها کمی‌با آنچه در بالا ذکر شد تفاوت دارد [۷،۸]. در تولید صنعتی ابتدا ورق‌های آمورف را حول یک استوانه پیچیده و سپس استوانه حاصل را از یک سمت به طور کامل برش می‌زنند تا به شکل نوارهای برش خورده درآید. سپس نوارهای برش خورده حاصل را حول یک استوانه با شعاع کمتر می‌پیچند. مراحل کار در شکل‌های (۷) نشان داده شده اند. از مزایای این روش نسبت به روش قبل می‌توان به سهولت امر در حین مونتاژ هسته اشاره نمود. اشکال اصلی این طرح نیز بیشتر شدن مواد هستهٔ مورد نیاز به میزان ۵ درصد بیشتر از نوع قبلی می‌باشد [۹].



شکل (۷-۱): نمایی از ورق‌های آمورف چنبره ای

شکل (۷-۲): پس از برش، ورق‌ها به صورت **stack** در می‌آید

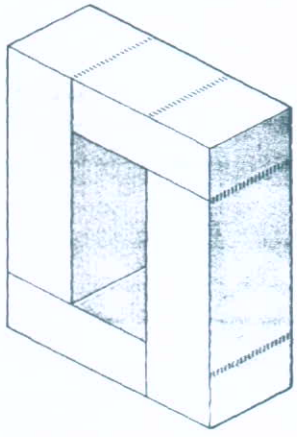


شکل (۷-۳): چیدمان مجدد ورق‌های هسته حول دایره‌ای با شعاع کمتر

۴-۵- Stack Cores

هسته‌های پشته‌ای[2] متشکل از لایه‌های چندگانه ورق‌های برش خورده است. هسته برای یک ترانس تکفاز متشکل از ۴ قسمت مستطیل شکل است که مطابق شکل (۸) بر روی هم قرار می‌گیرند. مزیت هسته‌های Stack آن است که کویل‌های فعلی که نتیجه سالها بهبود در تکنولوژی سیم‌پیچی هستند قابل استفاده در این نوع هسته‌ها می‌باشند، اگر چه به دلیل وجود نقاط انفصال در هسته، توان جذب شده بیشتری برای تحریک این ورق‌ها لازم است. البته لازم به ذکر است که تا سال ۱۹۹۱ این ترانس‌ها تا محدوده قدرت ۱۰۰ کیلو ولت آمپر تکفاز و ۵۰۰ کیلو ولت آمپر سه فاز در ژاپن و آمریکا تولید و مورد بهره‌برداری قرار گرفته اند.

1- Lap Joint Core
2- Stack



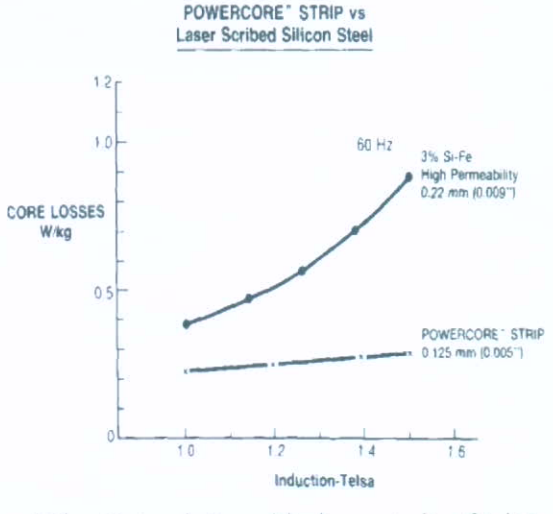
شکل (۸): نمای هستهٔ Lap-joint و Shell Type

در جدول (۲) تغییرات تلفات هنگامی که تعداد لایه‌های بسته بندی شده تغییر می‌کند، بیان گردیده است.

جدول (۲): تلفات مغناطیسی ورقهای آمورف

تعداد لایه‌ها	تلفات (w/kg, f = 50Hz)	تلفات (w/kg, f = 50Hz)
۴	۰/۱۸	۰/۲۲
۶	۰/۲۲	۰/۲۶
۸	۰/۲۶	۰/۳۲
۱۲	۰/۳۶	۰/۳۷

شکل (۹) مقایسه بین میزان تلفات ورقهای پیشرفته سیلیکونی حکاکی شده با لیزر[1] و دسته ای از ورقهای آمورف معروف به هسته توان[2] را که دارای Layer number برابر ۶ است نشان می‌دهد.



شکل (۹) : مقایسه بین میزان تلفات و ورق‌های پیشرفته سیلیکونی حکاکی شده با لیز رو ورقهای آمورف Power core با Layer number برابر ۶ [۹]

۵- مقایسه انواع تلفات و مشخصات عملکردی ترانسفورماتور هسته آمورف با ترانسفورماتورهای معمول

برای مقایسه نمودن مشخصات داخلی ترانسفورماتورهای با هسته آمورف، با ترانسفورماتورهای توزیع متداول در شبکه قدرت، از نتایج یک آزمون که بر روی دو نوع ترانس توزیع ۲۵ kVA انجام شده است، استفاده می‌شود[۲]. این آزمون مطابق با استانداردهای AS 2374 و AS2558 صورت گرفته و در آن از یک ترانس آمورف از نوع لبه برگشتی استفاده شده است. نتایج آزمون در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): نتایج مقایسه ترانس آمورف و SiFe توزیع، ۲۵kVA

مشخصات	هسته آمورف	هسته SiFe
ولتاژ HV	۲۲۰۰۰	۲۲۰۰۰
ولتاژ LV	۲۵۰	۲۵۰
وزن هسته	۱۵۶	۹۷/۴
تلفات بی باری (W)	۲۷/۳۴	۸۶
جریان بی باری (٪)	۰/۲۳	۱/۵۵
تلفات بار کامل (W)	۳۰۱/۸	۳۳۷/۹
مقاومت HV	۱۲۶/۲	۱۴۷/۵
مقاومت LV	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲۷
درصد امپدانس	۴	۳/۲۴
رگولاسیون	۱/۲۸	۱/۳۶
راندمان (درصد)	۹۸/۷	۹۸/۳

همانطور که از جدول(۳) مشخص است، تلفات تا حد چشمگیری کاهش داشته است. به طوریکه تلفات زیر بار ترانس ۱۰ درصد و تلفات بار کامل ترانس ۶۸ درصد نسبت به نوع سیلیکونی کاهش یافته است. اگرچه وزن هسته آمورف در این آزمون ۱/۶ برابر هسته معمولی است ولی کاهش امپدانس درصد و افزایش راندمان، جزء نکات مثبت ترانس هسته آمورف است.

۶- مقایسه قیمت ترانسهای آمورف با سایر ترانسها

به دلیل تکنولوژی منحصر به فرد ورق‌های آمورف و تجهیزات خاص جهت برش این ورق‌ها قیمت اولیه آنها ۲۵ تا ۵۰ درصد از ترانسهای معمولی بیشتر است. اما چیزی که استفاده از این نوع ترانسها را علیرغم قیمت ۲۵ تا ۵۰ درصدی گرانتر آنها مقرون به صرفه می‌نماید به کار گیری مفهومی است که توسط انستیتو الکترونیک ادیسون در سال ۱۹۸۱ معرفی گردید [۶].

1- laser-scribed
2- Power core

براساس این مفهوم جدید قیمت واقعی یک تجهیز از جمع دو مؤلفه مهم تشکیل گردیده است که یکی قیمت اولیه تجهیز و دیگری قیمت انرژی تلف شده توسط آن تجهیز در طول مدت بهره برداری یا همان هزینه بهره‌برداری می‌باشد. بنابراین ممکن است یک ترانس از نظر قیمت اولیه مقرون به صرفه باشد اما در طول مدت بهره برداری هزینه زیادی را به بهره‌بردار وارد نماید یا بالعکس. هزینه متوسط برای تلفات بی باری ترانس حدود $5000/kW می‌باشد. با توجه به رقم فوق، هزینه تمام شده مالکیت یک ترانسفورماتور که شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بعلاوه هزینه تلفات می‌باشد، در طول عمر یک ترانسفورماتور می‌تواند تا دو برابر هزینه اولیه (هزینه سرمایه‌گذاری) ترانسفورماتور شود [۱۱].

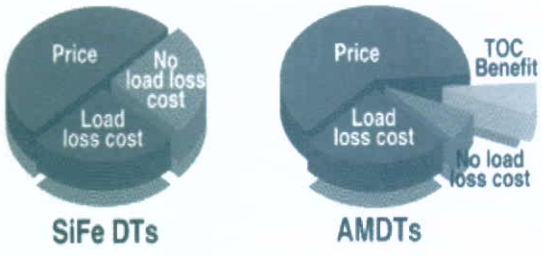
لذا در طراحی ترانسفورماتورهای مدرن، توجه بیشتری به فاکتور هزینه بی باری و بهره برداری می‌شود. ترانسهای آمورف از آن دسته از ترانسها هستند که استفاده از آنها در شرایط قیمت تلفات بی باری بالای ۵ دلار بر وات مقرون به صرفه می‌باشد. البته در شرایطی که قبل از سال ۱۹۹۱ قیمت تلفات به طور میانگین برای کمپانی‌های مختلف ۳/۹۳۷ دلار بر وات بوده، استفاده از آنها توجیه اقتصادی نداشت، ولی با توجه به روند رشد قیمت انرژی در سرتاسر جهان پیش بینی می‌شود که استفاده از آنها در زمان حال دارای توجیه پذیری اقتصادی گردد.

جدول (۴) مقایسه قیمت بین ترانسهای آمورف و ترانسهای سیلکونی را برای یک دوره مطالعه ۲۰ ساله نشان می‌دهد.

جدول (۴): مقایسه قیمت نهایی بین ترانسهای آمورف و ترانسهای سیلکونی

ترانس ۶۰ Hz ۵۰۰ KVA	ترانس آمورف	ترانس سیلکونی
تلفات بی باری (W)	۲۳۰	۶۱۰
قیمت تلفات بی باری ($/W)- بر هر دو نوع یک قیمت فرض می‌شود	۵/۵	۵/۵
تلفات بار کامل (W)	۳۱۹۲	۳۱۵۳
قیمت تلفات بار کامل ($/W)	۱/۵	۱/۵
بازده (٪)	۹۹/۶	۹۹/۴
قیمت مواد مصرفی	۱۱۵۰۰	۱۰۰۰۰
قیمت تلفات بی‌باری ($)	۱۲۶۵	۳۳۵۵
قیمت تلفات بار کامل ($)	۴۷۸۸	۴۷۳۰
قیمت نهایی	۱۷۵۵۸	۱۸۰۸۵

مطابق جدول (۴)، علیرغم بالاتر بودن هزینه ابتدایی این ترانسها، یعنی بالاتر بودن قیمت مواد مصرفی برای ساخت ترانس آمورف، هزینه نهایی از این ترانسها نسبت به ترانسهای معمول کمتر است. این نکته مهم در شکل (۱۰) بیان گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد شاخص TOC [1] کاهش یافته است.



شکل (۱۰): SiFe DTs بیانگر ترانسهای توزیع سیلکونی و AMDTs بیانگر ترانسهای توزیع با هسته آمورف می‌باشد.
همانطور که مشخص است هزینه نهایی ایجاد شده ترانسهای آمورف کمتر است

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی ساختار فلزات آمورف و نحوه بکار گیری آنها در ساخت هسته‌های ترانسفوماتورهای قدرت پرداخته شد. ضمن اشاره به تلفات هسته در این نوع از مواد، میزان این تلفات با انواع هسته‌های سیلیکونی متداول مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه به روش‌های گوناگون ساخت هسته‌های ترانس‌های آمورف با نظر به مزایا و معایب هر روش اشاره گردید. در انتها این هسته‌ها با هسته‌های ترانسهای معمولی از لحاظ اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفت که در نتیجه استفاده از این نوع هسته‌ها در ساخت ترانسفورماتور در شرایطی که قیمت تلفات بی باری بالاتر از ۵ دلار برای هر وات است دارای توجیه اقتصادی می‌باشد.

مراجع

1- Amorphous Metal in Electric Power Distribution Applications, Republished Electrically 2002, metglas.com.
2- A.Naflaski, W.B.Lawrance, M.J. Roney, " Performance of a 25kVA Amorphous Core Distribution Transformer, Nonlinear Electrical Systems, IOS Press, 1996.
3- "Electrical Steels: Past, Present and Future developments", IEE. Proceeding, Vol. 137, Pt. A, No.5, Sep. 1990.

1- Total Ownership Cost

۴- "ساخت نمونه آزمایشگاهی ترانس با هسته آلیاژ آمورف"
دکتر حسین حیدری، پژوهشگاه مواد و انرژی، بهمن ۱۳۷۶.

5- A. J. Moses (F), Steel Restructured, Leere View January1994.

6- J.L. Fisher, et al. " Toroidal Electrical Transformer and method of producing ", European Patent Appl. 83300004.5, Jan.4 , 1983.

7- A. C. Lee, "Clamping means for the core and coil Assembly of an electric transformer," U.S. Patent 4663605, May 1987.

8- A. C. Lee," Method Of manufacturing wound transformer core," U.S .Patent 4741096, May3,1989.

9- Harryw, N,G, Ryusuke Hasaegawa, Albert, Lee, Larry Lowdermilk, "Amorphous Alloy Core Distribution Transformers", Proc. Of IEEE, VOL .19 ,NO. 11, NOVEMBER1991.

10- "Electric Power Transformer Design", by: James .H.Harlow, Second Edition, The Electric Power Engineering HbK, 2004.

آقای جواد رضوان طلب تحصیلات خود را در دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی برق – قدرت را به ترتیب در دانشگاه بوعلی‌سینا همدان و دانشکده فنی دانشگاه تهران به پایان رسانده و بیش از یکسال است که همکاری خود را با شرکت قدس نیرو در مدیریت ارشد نیروگاه‌های بخار و انرژی‌های نو آغاز نموده است. زمینه‌های علاقمندی و فعالیت ایشان، حفاظت شبکه قدرت، پایداری سیستم قدرت و بررسی مسائل اقتصادی در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار یافته می‌باشد.

Email:
jrezvantalab@ghods-niroo.com

بهبود سیستم آب خنک کن از طریق کنترل و نظارت بر خوردگی

حمیدرضا کریمی

کارشناس ارشد کنترل و ابزار دقیق- مدیریت ارشد مهندسی نیروگاههای گازی ۲

واژگان کلیدی: خوردگی، رسوب گذاری، خوردگی حفره ای[1]، آب خنک کن، آب فرآیند، انتخاب مواد، کنترل فرآیند، بی سیم و DCS.

چکیده

دستیابی به سیستم آب خنک کن مناسب از مسائل حیاتی در برخی از واحدهای صنعتی[2] است. در صورت بکاربستن کنترل ناکارآمد، سیستم آب خنک کن ممکن است لطمات جبران ناپذیری مانند کاهش ظرفیت تولید، افزایش هزینه‌های تمیزکاری و حفاظت شیمیایی، افزایش مصرف انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش چشمگیر عمر مفید را به مجموعه وارد نماید. اگرچه کنترل‌هایی جهت تعیین کیفیت آب و انطباق بین آن با شرایط مجاز صورت می‌گیرد، اما این کنترل‌ها غالباً آنقدر محدود است که در فواصل بین آن مسائلی مانند خوردگی، رسوب و گرفتگی به حد خارج از کنترل می‌رسد که به ناچار موجبات خارج از سرویس شدن مجموعه را که قطع تولید و افزایش هزینه‌ها را به دنبال خواهد داشت، فراهم می‌آورد. در این زمینه، فن آوری‌هایی به روز وجود دارد که با فراهم نمودن سریع اطلاعات به صورت مستمر از وضعیت خوردگی‌های عمومی[3] و موضعی[4] مهم، رسوب‌ها و گرفتگی‌ها می‌تواند در ایجاد اطمینان از صحت عملکرد آب خنک کن، بهره بردار مجموعه را یاری نماید.

این مقاله سعی دارد تا آخرین دستاوردها ازروشهای کنترل فرآیند به صورت بلادرنگ[5] و Online مبتنی بر اندازه گیری میزان خوردگی که اطلاعات کاربردی و جامعی از شرایط عملکردی واحد و فعالیت‌های رسوب کننده و جرم گذار درسیستم آب خنک کن و سیستم‌های آب فرایند را به دست می‌دهد ارائه نماید، که برای این منظور داده‌های لازم برای کنترل به صورت بلادرنگ از سوی تجهیزات نصب شده در محل فراهم می‌شود. همچنین در مورد پیشرفت‌های اخیر این تکنولوژی و پیاده سازی آن به خصوص با بکارگیری سیستم‌های ارسال اطلاعات به طریقه بی سیم و یا اتصال مستقیم به DCS مورد بحث قرار گرفته است.

۱- مقدمه

بروز اشکال در سیستم آب خنک کن می‌تواند منجر به اتفاقاتی همچون متوقف شدن عملکرد مجموعه و حتی بروز مسائلی در ایمنی عملکرد سیستم گردد. سیستم نظارت[6] یکی از اجزاء اصلی و جدانشدنی در سیستمهای صنعتی تصفیه آب است که به منظور تعیین کارایی عملیات تصفیه و همچنین دستیابی به سطحی بهینه از فرایند تصفیه که مقرون به صرفه باشد، بکار گرفته می‌شود. مقصود اصلی از نظارت بر میزان خوردگی در واقع پیش بینی و یا اطلاع از رفتار خورندگی در سیستم است که اساساً در دو قالب اصلی مطرح می‌شود:

۱- بدست آوردن اطلاعاتی در مورد شرایط تجهیزات

۲- تفسیر و ارتباط دادن این اطلاعات با متغیرهای عملیاتی سیستم مانند PH، دما، کیفیت و مشخصات شیمیایی آب که به کمک آنها نتایج ذیل حاصل می‌گردد:

الف) افزایش عمر مفید مجموعه

ب) بهبود کیفیت محصولات

پ) پیش بینی زمان نیاز تعمیراتی مجموعه

ت) کاهش هزینه عملکرد مجموعه

نمایش میزان خوردگی به عنوان یک عمل متعارف و استاندارد در صنعت شناخته می‌شود، بطوریکه مهندسین به سادگی می‌توانند با استفاده از اطلاعات بدست آمده عمر مجموعه را تخمین بزنند. این عمل، آنها را در شناسایی عوامل مهم که

1- Pitting
2- Plants
3- Generalized
4- Localized
5- Real-Time
6- Monitoring

باعث مشکلات خوردگی می‌شوند یاری داده، بر پایه این اطلاعات صحیح، نتیجه بخش بودن راه حل‌های اتخاذ شده را تضمین می‌کند. این مهم از این طریق حاصل می‌شود که نمایش خوردگی به عنوان یک ابزار تشخیص دهنده، اطلاعاتی را در مورد خوردگی، روند آن و راه حل اتخاذ شده فراهم می‌کند که آگاهی داشتن از این موارد می‌تواند بسیار ارزشمند باشد. در اغلب موارد ممکن است مجموعه ای از عوامل در بروز خوردگی مهم تشخیص داده شوند اما توانایی در تشخیص اینکه تحت شرایط خاص کدام عامل ارتباط اصلی با بروز مسأله خوردگی دارد بسیار مهم است و نمایش خوردگی با تعیین اثر بخشی راه حل بکار رفته، نقش مهمی دارد. همچنین نظارت بر خوردگی به نوعی دیگر می‌تواند برای فراهم نمودن اطلاعاتی از عملکرد سیستم بکار رود، بطوریکه اثر مخرب پارامترهای اثر گذار در خوردگی مانند دما، PH و تصفیه‌های شیمیایی در محدوده ای از پیش تعیین شده با افزودن یا کاستن میزان آنها سنجیده می‌شود. به عنوان مثال استفاده از یک متغیر نمایش داده شده برای کنترل میزان افزودن مواد شیمیایی توسط سیستم‌های خودکار تزریق شیمیایی به عنوان یک کاربرد جنبی در این زمینه مطرح می‌شود.

۲- عوامل بروز خوردگی

تعدادی از متغیرها هستند که می‌توانند در تعیین میزان خوردگی بخصوص در سیستمهای آبی که از فولاد نرم[1] استفاده می‌شود، مؤثر باشند. تعدادی از متغیرهای کلیدی در این زمینه به شرح ذیل است:

۱- کیفیت آب
۲- دما
۳- PH
۴- سرعت آب
۵- میزان اکسید کننده‌ها
۶- زیست توده[2] و لجن
۷- میزان کلر و سولفات‌ها
۸- سختی ناشی از کلسیم
۹- جنس فلزات
۱۰- بازدارنده‌های خوردگی

۳- اندازه گیری و کنترل خوردگی

اندازه گیری و کنترل میزان خوردگی برای حفاظت بهینه در مقابل خوردگی نیازمند شناسایی دقیق مکانیسم خوردگی می‌باشد. بطور مشخص توانایی در تمیز دادن میان خوردگی موضعی و عمومی دارای اهمیت بسزایی در این مورد است.

نوعی از خوردگی که منجر به ایجاد سوراخ و حفره می‌گردد (خوردگی حفره ای[3]) اغلب با بررسی دراز مدت کوپنهای اتلاف وزن[4] شناسایی می‌شود و تعیین این نوع از خوردگی در گذشته بوسیله روشهای بدون ابزار دخول به سادگی میسر نبوده است. اغلب روشهای مبتنی بر نظارت مانند روشهای مقاومت پولاریزاسیون خطی (LPR[5]) که قادر به اندازه گیری بلادرنگ نرخ خوردگی می‌باشند، تنها در تشخیص خوردگی عمومی‌توانایی دارند[۱]. از آنجاییکه خوردگی عمومی‌در اکثر سیستمها، به خصوص در جاییکه احتمال تشکیل رسوب و جرم گرفتگی وجود دارد، عامل اصلی عیب نمی‌باشد، بکارگیری اینگونه روشها می‌تواند منجر به درک غلط از بی نقص‌بودن عملکرد سیستم گردد. لذا این مسأله که روشهای تشخیص خوردگی می‌بایست نوع خوردگی و سپس روش رفع آنرا تعیین کنند، بسیار حائز اهمیت است.

کاملاً مشخص و مشهود است که با استفاده از روش مبتنی بر بررسی دراز مدت کوپن‌های سیستم برای تعیین نرخ خوردگی موضعی، نرخ خوردگی‌های موضعی به خوبی نرخ خوردگی‌های عمومی تعیین می‌گردد اما این روش تشخیص با توجه به اینکه به سابقه سیستم نظر دارد و در واقع نوعی تحلیل بازنگرانه را به کار می‌گیرد، قادر به تعیین نرخ‌ها به صورت بلادرنگ نمی‌باشد[۲]. لذا چنانچه روش مطمئن‌تری برای بررسی خوردگی‌های موضعی بکار گرفته شود می‌تواند به پیش بینی قابل اعتمادتری از صحت و بی عیب بودن سیستم منجر گردد. یکی دیگر از کاربردهای چنین روشی را می‌توان در تعیین اثربخشی روشهای کنترل خوردگی مانند برنامه‌های بازدارنده خوردگی متصور شد.

سایر روشهای مبتنی بر نمایش خوردگی مانند مقاومت الکتریکی (ER)[6] و LPR قادر به فراهم‌نمودن اطلاعات سریع و تاحدی بلادرنگ می‌باشند اما این روشها تنها در مورد خوردگی عمومی‌و یکنواخت کارا هستند. مشاهده شده است که در چنین شرایطی چنانچه خوردگی موضعی علت بروز نقص باشد این روشها اطلاعاتی نادرست و گمراه کننده بدست می‌دهند و حتی در بعضی موارد در جاییکه خوردگی وجود دارد عملکرد صحیح سیستم را گزارش می‌کنند، که باعث بروز و گسترش عیبی می‌شود که پیش بینی آن وجود ندارد.

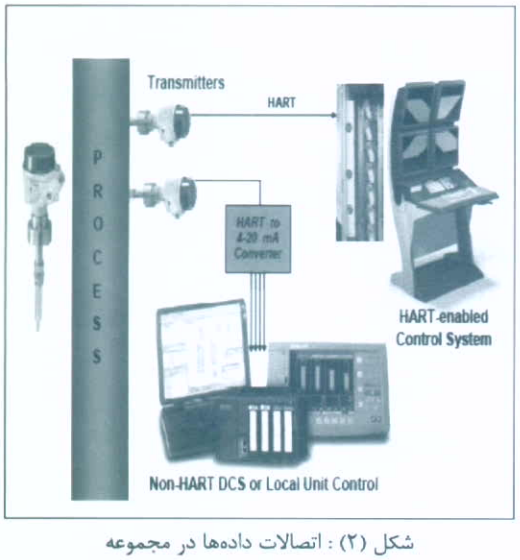
1- Mild Steel
2- Biomass
3- Pitting corrosion
4- Weight Loss Coupons
5- Linear Polarization Resistance
6- Electrical Resistance

روشی که در این مقاله معرفی و بکار گرفته می‌شود ترکیبی از روشهای نویز الکتروشیمیایی (ECN)[1]، LPR و تحلیل اغتشاش هارمونیک (HDA)[2] را به منظور فراهم نمودن نرخ خوردگی عمومی و ارزیابی راحتی از رفتار خوردگی موضعی (که به عنوان فاکتور خوردگی از نوع حفره ای شناخته می‌شود[3]) بکار می‌گیرد. در این راستا سیستم نظارت مبتنی بر چند تکنیک به منظور سنجش نوع خوردگی در سیستم آب خنک کن استفاده شده است که متعاقباً می‌تواند در سیستمهای مشابه جهت تعیین فرمولاسیون و روابط مناسب و همچنین میزان تزریق مواد بازدارنده خوردگی به منظور کنترل خوردگی جزیی مورد استفاده قرارگیرد.

۳-۱- معرفی روش اندازه گیری

روش اندازه گیری که در این مقاله توصیف شده بر پایه استفاده از یک ترانسمیتر اندازه گیری خوردگی با خصوصیات Online و بلادرنگ (مدل SmartCET®) طرح ریزی شده که در عمل به خوبی از آزمایشات سربلند بیرون آمده است (شکل ۱) و مجهز به تجهیزاتی برای استفاده از داده‌های بدست آمده به منظور آماده سازی و ارائه آنها بصورت نمودار[4] جهت استفاده بهره بردار در سیستم‌های کنترل مبتنی بر DCS می‌باشد. همچنین از این طریق تیمهای پشتیبانی مجموعه مانند مهندسین شیمی و یا متخصصین خوردگی نیز قادر به استفاده از داده‌های Online از خوردگی و فرایند به همراه اطلاعات Off-line (مانند تحلیل‌ها و نمونه برداری‌های شیمیایی) که از سابقه داده‌ها بدست می‌آیند جهت یافتن رابطه ای در این خصوص و یا استخراج روابط علت و معلولی[5] می‌شوند. یک ترانسمیتر خوردگی استاندارد به سادگی می‌تواند به انواعی از پراب‌ها و حسگرها متصل گردد که هر کدام بر اساس شکلی خاص از الکترود، طراحی شده اند تا به منظور اندازه گیری صحیح میزان خوردگی در تجهیزات با قطر کم یا زیاد، محیط با هدایت الکتریکی کم یا زیاد و در فرایندهایی متنوع از نظر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. ترانسمیتر مورد استفاده دارای سیم کشی جدا برای تغذیه الکتریکی نبوده[1] و از تکنولوژی دیجیتال HART جهت ارتباط استفاده می‌کند که توسط یک مبدل ساده[2]، خروجی 4-20 mA از آن حاصل می‌شود که این داده‌ها مستقیماً در سیستمهای SCADA،DCS، ثبت کننده‌های الکترونیکی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲).

شکل (۱) : ترانسمیترخوردگی و نمونه‌هایی از پراب‌های مورد استفاده



شکل (۲) : اتصالات داده‌ها در مجموعه

1- Electrochemical Noise
2- Harmonic Distortion Analysis
3- Pitting Factor
4- Trendable Data
5- Cause & Effect Scenarios

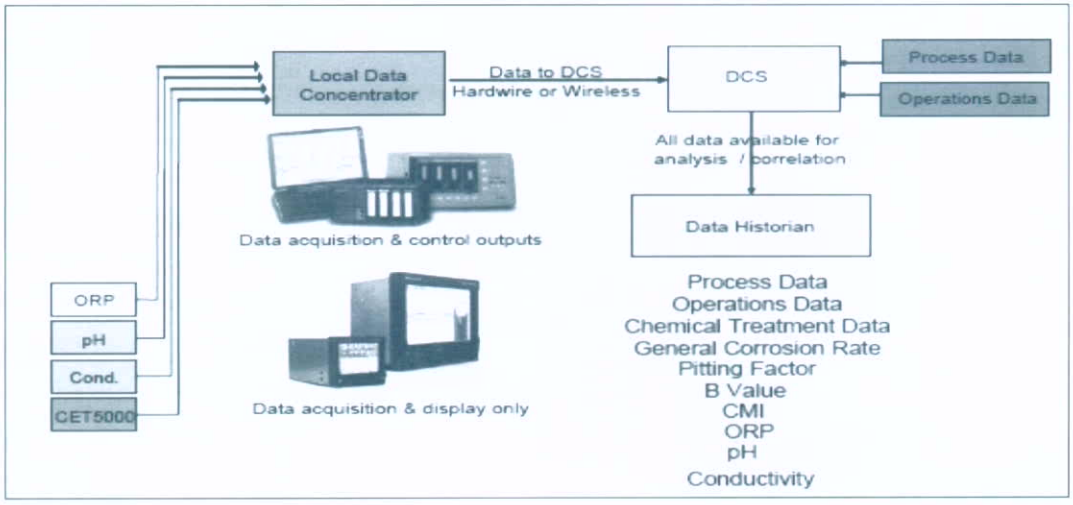
در اینجا نیز سنجش داده‌ها به سادگی آنچه در مورد برخی متغیرهای سیستم مانند فشار، دما، دبی و دیگر متغیرها انجام می‌شود، با استفاده از سابقه داده‌ها صورت می‌پذیرد. این داده‌ها با انجام پردازش اولیه و جزیی و فراهم نمودن اطلاعات خوردگی به صورت نمودار، توسط متخصصین مواد و بهره‌برداران سیستم جهت اطمینان از عملکرد سیستم و همینطور در سیستمهای کنترل خودکار تصفیه قابل استفاده خواهند بود. اتصال میان ترانسمیتر و ابزاری که در انتهایی دیگر از داده‌ها بهره می‌جوید توسط اتصالات مرسوم سخت افزاری مانند حلقه‌های جریان 4-20mA امکان پذیر است. گرچه با پیشرفت تکنولوژی و با استفاده از ارتباطات بی سیم در مواقعی که شرایط محیطی برای نصب و سیم‌کشی ایجاب می‌کند، می‌توان پیاده سازی را راحت تر انجام داد و هزینه‌های نصب پایین تری را نیز متحمل گردید. به منظور دستیابی به داده‌های واقعاً بلادرنگ که بتوان اندازه گیری‌های تحلیلی را براساس آنها انجام داد و موجب بهبود کنترل On-line و خودکار کیفیت آب گردند یک نوع از پیکر بندی که می‌توان انتخاب کرد در شکل (۳) نشان داده شده است.

در این پیکربندی، اندازه گیری میزان خوردگی ترکیبی از سه تکنیک اندازه گیری الکتروشیمیایی مستقل به منظور تعیین نرخ خوردگی عمومی، نمایش خوردگی موضعی و چگونگی وضعیت رسوب گرفتگی (هم رسوبات غیرهادی و هم رسوبات‌هادی الکتریکی مانند سولفید آهن که می‌تواند منجر به فعالیت موجودات ذره بینی گردد) با بالا ترین دقت ممکن است. از نقطه نظر ابزار دقیق حلقه جریان 4-20mA معمولاً طوری تنظیم می‌شود که نرخ خوردگی عمومی‌را که اغلب تنها قسمت مهم از اطلاعات است تعقیب نماید. اطلاعات بیشتر از خوردگی مانند عامل خوردگی حفره ای، مقدار B و نمایش دهنده مکانیسم خوردگی[3] (CMI) می‌تواند از طریق پروتکل دیجیتال HART جمع آوری گردد. علت استفاده از روشهای الکترو شیمیایی را باید در حساسیت و سرعت اندازه گیری آنها جستجو کرد که حتی با تغییرات کوچک در فرایند، ما را قادر به ایجاد ارتباط و تفسیر تغییرات در رفتار خوردگی (چه از نظر نرخ و چه از جهت مکانیسم) و همچنین کنترل خوردگی می‌نماید.

به عنوان مثال در سیستمهای تصفیه آب مسأله تزریق مواد شیمیایی و یا حتی باز شدگی موقت یک شیر که می‌تواند منجر به ورود اکسیژن ویا تغییراتی در میزان یک ماده شیمیایی گردد، از این گونه می‌باشند.

۳-۲- اندازه گیری خوردگی بلادرنگ با ترکیب چند روش الکتروشیمیایی

در اینجا ترانسمیتر خوردگی، داده‌ها را به روشی که بالغ بر ۲۰ سال در اندازه گیری خوردگی محک خورده است آماده سازی می‌کند. سپس سه روش اندازه گیری خوردگی به روش الکتروشیمیایی جهت دستیابی به نرخ و نوع مکانیسم فرایند خوردگی بکار گرفته می‌شوند. این کار فرصتی بدست می‌دهد تا در محیط عملکرد واقعی به طور همزمان به اطلاعاتی هم از خوردگی کلی و هم از خوردگی محلی دسترسی پیدا کنیم [۳-۸].



شکل (۳) : پیکر بندی سیستم

1- Loop-Powered
2- HART Interface Module
3- Corrosion Mechanism Indicator

۳-۲-۱- روش LPR

این روش از دهه ۱۹۶۰ میلادی برای اندازه گیری خوردگی عمومی‌مورد استفاده قرار گرفته است. روشی که در این مقاله در نظر گرفته شده است بر پایه تغییرات کوچکی به روی این ابزار (یک امپدانس فرکانسی کوچک) بنا نهاده شده است به طوری که همچنان قادر به استفاده از داده‌ها به همان شکل مرسوم آن باشد. در این روش اختلاف پتانسیل کوچکی برروی الکترود ایجاد می‌شود و از طرفی جریان پاسخ ایجاد شده اندازه گیری شده و بنابراین یک مقدار مقاومتی بدست می‌آید (مقاومت پلاریزاسیون R_p) که می‌تواند برای محاسبه نرخ خوردگی کلی بکار رود. داریم:

$$i_{corr} = B / R_p \qquad (۱)$$

که B ثابت Stern-Geary و بر حسب میلی ولت است و i_{corr} چگالی جریان خوردگی و بر حسب mA/Cm^2 می‌باشد. آنگاه نرخ خوردگی (CR) را بر حسب mpy [۱] می‌توان با رابطه (۲) بیان نمود:

$$CR = \frac{I_{corr} \times S \times g \times 10}{No \times FC \times d} \qquad (۲)$$

که در آن S تعداد ثانیه‌ها در یک سال، g جرم اتمی، No تعداد الکترونهای انتقال یافته، FC ثابت فارادی و d چگالی بر حسب $g\,cm^3$ می‌باشند. این روش تنها برای شناسایی خوردگی یکنواخت یا عمومی پایه گذاری شده است و لذا نمی‌توان آنرا مستقیماً برای مطالعه خوردگی موضعی بکار گرفت. بعلاوه دررابطه بالا نقش مهم یک عدد ثابت (مقدارB) که رابطه مستقیم با نرخ خوردگی دارد را در محاسبات نباید نادیده داشت. مقدار B برای محیطهایی با خاصیت فلزی، عموماً عددی است در دامنه ۲۶-۳۰ میلی ولت و غالباً بعنوان یک ثابت دستگاه ابزار دقیق توسط سازنده در دستگاه، تنظیم می‌گردد. اما این مطلب را نباید از نظر دور داشت که این مقدار برای همه سیستمها ثابت نبوده و بسته به شرایطی همچون دما، دبی، شرایط شیمیایی ورفتار شیمیایی سیستم تغییر می‌یابد. بنابراین برای اندازه گیری دقیق نرخ خوردگی نیازمند تعیین دقیق مقدار B هستیم. بر همین اساس در این مقاله در یک حلقه اندازه گیری داده‌ها، روش LPR در کنار روش دیگری (HDA) مورد استفاده قرار گرفته است که این روش دوم برای تعیین مقدار B بکار رفته است.

۳-۲-۲- روش HDA

این روش در واقع رویکردی به تحلیل داده‌های بدست آمده از اندازه گیری امپدانس فرکانسی می‌باشد. پاسخ جریان به یک موج سینوسی ولتاژ با فرکانس پایین به علت خواص غیر خطی فرایندهای انتقال بار الکتریکی دچار اعوجاج می‌شود. این اعوجاج بر حسب پاسخ اصلی وهارمونیکهای مهم تحلیل می‌شود تا مقادیری برای جریان خوردگی، ثابت‌های آندی و کاتدی و لذا مقدار ثابت Stern-Geary بدست آید. تجهیز ابزار دقیق مورد استفاده مقدار B را مستقیما به عنوان خروجی بدست می‌دهد. تجربه نشان داده است که در برخی از سیستمها، با وارد کردن مقدار B تصحیح شده در محاسبات (توسط نرم افزار سیستم) می‌توان میزان نرخ خوردگی را با دقت بالاتر به طور بلادرنگ و Online محاسبه نمود. روش سوم مورد استفاده نویز الکترو شیمیایی نام دارد.

۳-۲-۳- نویز الکتروشیمیایی (ECN)

این روش به منظور شناسایی فرایند خوردگی موضعی بکار می‌رود. با این روش هیچگونه اعوجاجی در الکترودها ایجاد نمی‌شود. بلکه نوسانات طبیعی در جریان و پتانسیل به عنوان خوردگی ماده، ثبت می‌شود. داده‌های خروجی این روش به همان صورت خام جهت گزارش چگونگی خوردگی موضعی بکار می‌رود (فاکتور خوردگی حفره ای) . فاکتور PF با رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$PF = \sigma I / I_{corr} \qquad (۳)$$

که در آن σI جریان ثبت شده در روش ECN و I_{corr} جریان خوردگی با روش LPR و هر دو بر حسب میلی آمپر هستند. استفاده از رابطه فوق تنها در حالتی مجاز است که اندازه گیریهای هر دو روش LPR وECN توسط سه الکترود یکسان انجام شده باشد که این مهم با بکارگیری ترانسمیتر خوردگی معرفی شده میسر است.

تصمیم گیری نرم افزاری برای مقادیرPF به صورت لگاریتمی بین ۰/۰۰۱ تا ۱ و به حالات زیر انجام می‌شود:

الف) $PF<0.01$ نشاندهنده خوردگی عمومی است (منطقه هشدار سبزرنگ)

ب) $0.01<PF<0.1$ نشانگر منطقه میانی است اما مشخصاً خوردگی عمومی را تعیین می‌کند (منطقه هشدار کهربایی رنگ)

ج) $PF>0.1$ نشاندهنده خوردگی موضعی است (منطقه هشدار به رنگ قرمز)

۳-۳- سیکل اندازه گیری

اندازه گیری خوردگی به صورت پیوسته انجام می‌شود و هر سیکل اندازه گیری دوره زمانی معادل ۴۳۰ ثانیه به طول می‌انجامد.

۱- مترجم: مخفف عبارت "Mils per year" می باشد و برابر است با یک هزارم اینچ در سال.لذا داریم: "10 mpy = 0.010" .

۳-۴- اندازه گیری دقیق نرخ خوردگی کلی

همانطور که در بالا شرح داده شد، توسط روش HDA، مقدار B واقعی به صورت بلادرنگ و Online اندازه گیری می‌شود که محاسبه صحیح نرخ خوردگی را ممکن می‌سازد. در عمل تأیید شده است که تعیین نرخ خوردگی با استفاده از مقدار B تصحیح شده نه تنها منافاتی با نتایج سایر روشهای شناسایی خوردگی (مانند اندازه گیری ضخامت به روش اولتراسونیک و روش بررسی کوپنها) ندارد بلکه هماهنگی خوبی هم در این بین وجود دارد [۹].

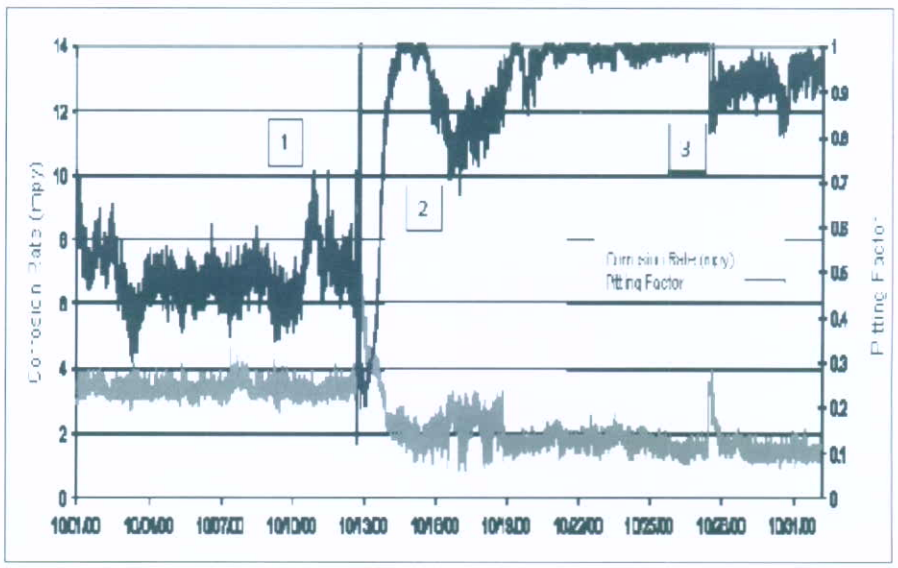
۳-۵- بهینه سازی کیفیت داده‌ها

استفاده همزمان و تلفیق ۳ روش اندازه گیری موجب می‌شود تا تخمین بسیار صحیح از نرخ خوردگی، گزارش وضعیت خوردگی موضعی و شناسایی مکانیسم خوردگی به نحوی که بروز کرده مانند حضور رسوب یا تشکیل پوسته و یا کاهش کنش پذیری سطح فلز، حاصل گردد. چهار مقدار داده‌های خوردگی کمک می‌کند تا بتوان نوع خوردگی را توسط نرخ و مکانیسم (عمومی یا موضعی) توصیف نمود و اثرات آنرا در سطح مشترک فلز با سیال (رسوب‌های غیرهادی بهم چسبیده، تشکیل پوسته‌های‌هادی الکتریکی، گونه‌های جذبی و ...) تشخیص داد.

مثال شماره ۱

بررسی موردی اول مربوط به کاربردی است که در آن استفاده کننده نیاز مختصری به آگاهی از اثربخشی برنامه تصفیه شیمیایی موجود دارد. در جریان اندازه گیری خوردگی، سیستم آب خنک کن در مرحله تصفیه شیمیایی قرار داشته است. در برش زمانی شماره۱ از شکل (۴)، بازدارنده قطع شده، اضافه کردن اسید متوقف گردیده، تخلیه[1] افزایش یافته و ماده معلق کننده رسوبات[2] اضافه شده است.

تغییر کوچکی در میزان PH موجب افزایش نرخ خوردگی و تغییر در مکانیسم آن شده است. بعد از ۲۴ ساعت ایجاد سوراخ و گسترش آن (خوردگی موضعی) ملاحظه شد. در برش زمانی شماره ۲ ملاحظه شد که اگرچه تزریق بازدارنده دوباره از سر گرفته شد اما خوردگی متوقف نگردید. اگرچه کاهش مختصری در میزان خوردگی جزیی مشاهده شد اما این مورد کمی‌بعد مجدداً افزایش یافت. ۲ هفته پس از تغییری که در میزان PH روی داد، فعالیت خوردگی محلی هنوز به طور مشخص دیده می‌شد (برش زمانی شماره ۳). در این مورد بعلت ماهیت Offline عمل سنجش داده‌های خوردگی و همچنین این موضوع که سیستم تصفیه شیمیایی کاملاً مستقل از هرگونه ارزیابی بازده کار می‌کرد، بهره بردار قادر به کنترل سیستم نبود. درحالیکه اگر عبور از سیستم تصفیه شیمیایی و اثرات آن به طور بلادرنگ و Online شناسایی شده بود، هرگونه ایراد در عملکرد شیمیایی می‌توانست برطرف گردد و در این صورت تشخیص و تا حدی چاره جویی برای خوردگی حفره ای در زمانی سریعتر به منظور میسر نمودن امکان کنترل آن در سیستم تصفیه شیمیایی بهبود یافته امکان پذیر می‌شد. این گونه سیستمهای تصفیه شیمیایی خودکار با تولید اطلاعات خوردگی به صورت بلادرنگ در قالب راه حل‌های کنترل مدرن دست یافتنی است.



شکل (۴) : داده‌های نرخ خوردگی و فاکتور خوردگی حفره ای حین تغییر در تصفیه شیمیایی

1- Blow down
2- Dispersant

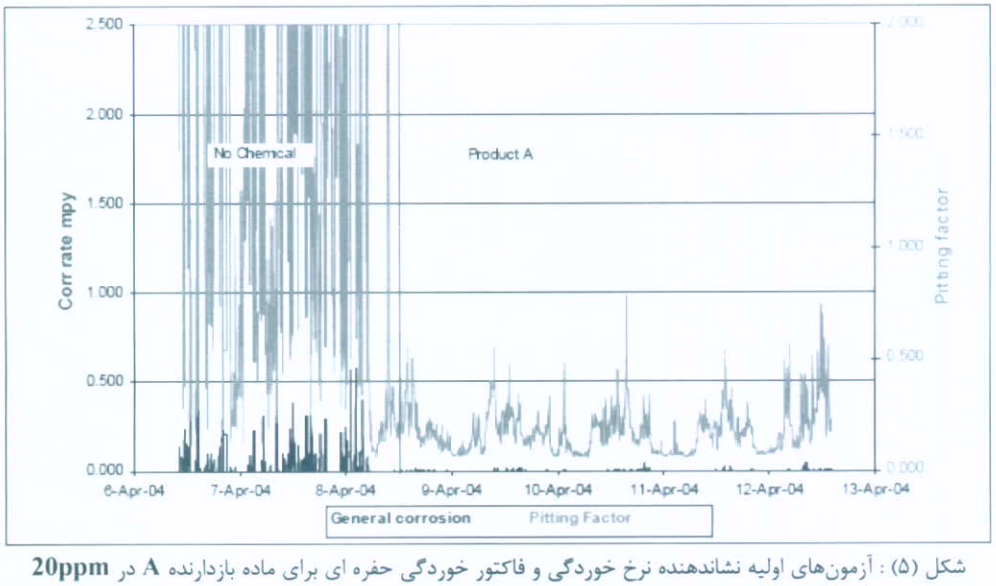
مثال شماره ۲

مثال دوم مربوط به سیستم آب فرایندی است که نیازمند بررسی در سیستم تصفیه شیمیایی به ویژه ارزیابی روابط بازدارنده‌ها جهت کنترل خوردگی حفره ای است[۱۰]. در ابتدا روش کوپن برای تعیین رفتار خورندگی سیستم آب و نرخ خوردگی تا میزان 60mpy استفاده شده بود. توسط روش LPR نشان داده شد که نرخ خوردگی کلی تا زیر 1mpy کاهش یافته است. اما روش کوپن اعلام می‌نمود که خوردگی حفره ای کنترل نشده است. متعاقباً ۴ ماده بازدارنده با روابط متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند.

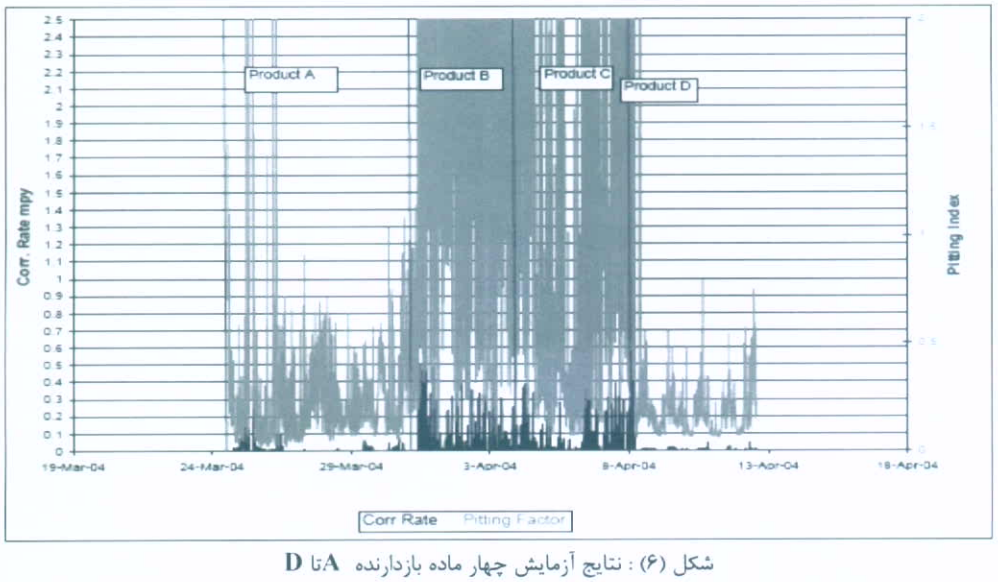
برای تعیین نرخ خوردگی در یک سیستم که کنترلی روی آن انجام نشده بود، آزمایشی با متوقف نمودن تزریق مواد شیمیایی انجام شد. بعد از دو روز 20ppm از ماده A برای تأیید متوقف شدن رفتار خوردگی تزریق شد. نتایج این آزمون در شکل (۵) نشان داده شده است.

نرخ خوردگی حدود 0.2mpy بود که آنقدر کوچک است که نشانگر موفقیت در کنترل خوردگی کلی دارد. اما خوردگی حفره ای مقدار ۱ را داشت که حاکی از خوردگی حفره ای در سیستم بود.

به عنوان آزمونی دیگر، در مرحله بعدی ۴ ماده A تا D یکی پس از دیگری تزریق شدند تا پاسخ تجهیزات اندازه گیری در قبال این تغییرات در بازدارنده‌ها سنجیده شود. نتایج این آزمایش در شکل (۶) نشان داده شده و در جدول (۱) به تفصیل آمده است.



شکل (۵) : آزمون‌های اولیه نشاندهنده نرخ خوردگی و فاکتور خوردگی حفره ای برای ماده بازدارنده A در 20ppm



شکل (۶) : نتایج آزمایش چهار ماده بازدارنده A تا D

جدول (۱) : نتایج نرخ خوردگی و خوردگی حفره ای

ماده بازدارنده	نرخ خوردگی (متوسط) (mpy)	فاکتور خوردگی حفره ای (متوسط)	نظرات
ماده A	۰/۰۲	۰/۲۵	-
ماده B	۰/۰۵	بزرگتر از ۲	میزان خوردگی حفره ای خیلی بالاست
ماده C	۰/۰۳	۱/۸	میزان خوردگی حفره ای نسبتاً بالاست
ماده D	۰/۰۱	۰/۱۵	-

نتایج فوق نشاندهنده این است که شاخص ترین تفاوت در کارایی بازدارنده‌ها در میزان فاکتور خوردگی حفره ای است. این مواد می‌توانند از نظر کارایی در متوقف نمودن خوردگی موضعی و همچنین موفقیت در کاهش نرخ خوردگی به ترتیب بازدارنده D، بازدارنده A، بازدارنده C و سپس بازدارنده B رتبه بندی شوند. اما نکته جالب اینجاست که مقادیر نرخ خوردگی به طور متوسط پایین تر از 0.1mpy بوده و چنانچه تنها عامل مورد مطالعه نرخ خوردگی عمومی بود در اینصورت به اشتباه این تصور ایجاد می‌شد که سیستم مستقل از اینکه چه نوع بازدارنده ای استفاده شود، تحت کنترل بوده است. از آنجاییکه فرمولاسیون مواد A وD تنها از لحاظ غلظت اجزا و نه از لحاظ شیمیایی متفاوت بود، این مطلب برداشت می‌شود که ترکیب بازدارنده با بهره گیری از روشهای بلادرنگ و Online می‌تواند بهینه سازی شود. این روش این امکان را به ما می‌دهد که خوردگی حفره ای را نیز به خوبی خوردگی عمومی کنترل نماییم و فرمولاسیون مواد لازم در شرایط واقعی عملکرد سیستم در محیط واقعی تنظیم میدانی نهایی شوند. قابل توجه آنکه بعد از این آزمایشها، ماده D به صورت یک محصول تجاری برای کاربرد در عمل در آمد و به سرعت گسترش یافت.

۳-۶- بهبود کنترل خوردگی در سیستمهای آبی

در سیستمهای آبی تیمهای خوردگی و اطمینان سیستم با موضوعات مختلفی از جمله جنس مواد (مانند فولادکربنی[1]، فولاد ضد زنگ[2] و ...)، منابع آب (آب راکد، آب رودخانه، آب بازیافت شده) و نیاز به عمل سیستم تحت محدودیتهایی چون قوانینHSE [3] (مانند کلرزنی، اضافه کردن مواد شیمیایی و...) مواجهند می‌باشند. واهمه از بروز خوردگی و اتفاقات ناگواری همچون رسوب و جرم گرفتگی می‌تواند سیستم را به سمت استفاده از مواد با کیفیت بالاتر و گرانتر برای لوله‌ها و ... سوق دهد، درحالیکه علیرغم انتظار هیچ آگاهی از کارایی احتمالی و بازده اینکار وجود ندارد. همچنین انتخاب سیستم تصفیه شیمیایی ممکن است به جای تعیین بر اساس بازده واقعی، بعضاً بر اساس بودجه موجود در قراردادها تعیین شود.

روش اندازه گیری خوردگی که در این مقاله شرح داده شد برای کلیه سیستمهای با مواد فلزی در هر سیستم آبی‌هادی الکتریکی کاربرد دارد وابزار ساده و مقرون به صرفه ای را برای تعیین و انتخاب مواد برای یک مجموعه در کنار اثربخشی آن در برنامه‌های تصفیه شیمیایی فراهم می‌نماید. طراحی مدرن و خودکار، و بهره مندی از نمایش خوردگی با استفاده از چند روش این امکان را بوجود آورده تا چند اندازه گیری خوردگی به طور همزمان در یک تجهیز انجام شود، صحت داده‌های خروجی به طور چشمگیری افزایش یابد و به محض تغییر در شرایط فرایند، اثر خوردگی حفره ای به سرعت از خوردگی عمومی‌نمیز داده شود. توسعه بیشتر در حوزه ترانسمیترها و تکنولوژیهای ارتباطی، پیاده سازی سیستم اندازه گیری خوردگی را بسیار آسان نموده است و آنرا به سطحی رسانده که به عنوان یکی از متغیرهای اصلی فرایند مطرح شود.

۴- نتیجه گیری

خوردگی عمومی و یا خوردگی موضعی که با ایجاد حفره یا سوراخ همراه است، عمدتاً منجر به تمرکز اولیه به روی برنامه‌های تصفیه شیمیایی در سیستمهای آب خنک کن و آب فرایند می‌شود به طوری که اغلب اندازه گیری‌ها را در سیستم مدیریت کیفیت آب به خود اختصاص می‌دهد. اگرچه بیشتر فعالیت‌ها روی اندازه گیری میزان تزریق مواد شیمیایی و یا پارامترهایی همچون PH، میزان آهن، هدایت الکتریکی وORP [4] تمرکز می‌یابد. همچنین توجه به رسوب نیز نقش عمده ای در بهینه‌سازی عملکرد سیستم آب خنک کن دارد اما به ندرت مورد اندازه گیری قرار می‌گیرد.

1- Carbon Steel
2- Stainless steel
3- Health, Safety, and Environment
4- Oxidation Reduction Potential (ORP, or Redox) : کاهش پتانسیل واکنش اکسیداسیون

فن آوری نمایش میزان خوردگی که روی نمونه‌های مورد مطالعه اعمال شد، از طریق ویژگیهای ذیل، قادر به بهبود عملکرد سیستم‌های آب خنک کن است:

۱- ابزار بهینه سازی مناسب برای برنامه‌های تصفیه شیمیایی.

۲- ابزار بلادرنگ حل مشکلات.

۳- امکان سنجش Online جنس مواد و تحقیق جهت انتخاب مواد در شرایط واقعی عملکرد.

۴- فراهم نمودن ابزار نمایش کارایی چرخه عمر تجهیزات مهم از طریق پیاده سازی دائمی.

۵- فراهم نمودن پس خورد مستقیم و فوری برای مدیریت کارایی مجموعه از خلال ترکیب اتوماسیون و سیستمهای کنترل که منجر به بهینه سازی در تزریق ماده شیمیایی می گردد.

مراجع

1- Papavinasam, S., Revie, R.W., Attard, M., Demoz, A., and Michaelian, K.H., "Comparison of Laboratory Methodologies to Evaluate Corrosion Inhibitors for Oil and Gas Pipelines," CORROSION, Vol. 59, No.10, October, 2003, pp. 897-912.

2- Webster, S., McMahon, A. J., Paisley, D. M. E. and Harrop, D., "Corrosion Inhibitor Test Methods", BP Sunbury Report ESR.94.ER.054, dated November 1996.

3- Eden, D. C., Cayard, M.S., Kintz, J.D., Schrecengost, R. A., Breen, B.P., and Kramer, E., "Making Credible Corrosion Measurements - Real Corrosion, Real Time", Paper #3376, CORROSION 2003, NACE International, San Diego, CA, March 2003.

- Eden, D.A., "Electrochemical Noise – The First Two Octaves", Paper #98386, CORROSION 1998, San Diego, CA, March 1998.

- Teevens, P., Teevens, "Electrochemical Noise – A Potent Weapon in the Battle Against Sour Gas Plant Corrosion: Over Three Years Operating and Turnaround Inspection Experiences in Two Canadian Plants", Paper #38-046, Corrosion & Prevention 1998, Victoria, Australia, November 1998.

- P. Teevens, "Defeating Internal Corrosion Of Petroleum Pipelines In Remote Locations: Winning Strategies Integrating Real-Time Electrochemical Noise Corrosion Surveillance With Recent Advancements In Power And Communications Technologies", Paper # 064 Corrosion & Prevention 2000, Victoria, Australia, November 2000.

7- U.S. Patent No. 6,264,824 ('Assessment of Corrosion') .

8- Eden, D.C. and Kintz, J.D., "Real-Time Corrosion Monitoring for Improved Process Control: A Real and Timely Alternative to Upgrading of Materials of Construction", Paper #04238, CORROSION 2004, New Orleans, LA, March 2004.

9- Veazey, M.V., "A Paradigm Shift for Process Control?", Materials Performance, Vol. 43, No.12, December, 2004, pp. 16-19.

10- Dawn C. Eden, David A. Eden, Ian George Winning and David Fell "On-line Real-time Optimization of Inhibitors in the Field", Paper 06321, NACE CORROSION 2006, March 12-16 2006, Houston, TX.

آقای حمیدرضا کریمی فارغ التحصیل رشته مهندسی برق با گرایش کنترل از دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۲ و کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. ایشان از سال ۱۳۸۲ به عنوان کارشناس سیستمهای کنترل و ابزار دقیق با شرکت مهندسی قدس نیرو همکاری نموده است. زمینه فعالیت آقای کریمی سیستمهای کنترل و ابزار دقیق نیروگاه می‌باشد.

Email:
hkarimi@ghods-niroo.com

پیش‌زمینه‌ها و پیامدهای ادراک سیاست سازمانی و رابط آن با تصویر سازمانی

مهدی صانعی

کارشناس برق - مدیریت ارشد مهندسی پستهای انتقال

چکیده

سیاست یکی از اجزاء جدایی ناپذیر در سازمانهای امروزی محسوب می‌شود. کارکردهای خوب و بد سیاست در سازمان در مقاله‌های مختلف بررسی شده است، اما وقتی صحبت از سیاست در سازمان می‌شود بیشتر به جنبه‌های منفی آن و کارکردهایی که روی خروجیهای سازمان دارد توجه می‌شود. در دهه گذشته ادراک سیاست در سازمان، بیشتر از سیاست واقعی در سازمان مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله دو مدل مختلف از ادراک سیاست در سازمان، پیش زمینه‌ها و پیامدهایی که این پدیده در سازمان و بر خروجیهای مختلف سازمان دارد بررسی شده است و اثرات آنها بر تصویری که از سازمان در ذهن پرسنل آن و دیگر ذینفعان سازمان وجود دارد به بحث گذاشته شده است. در پایان با ترکیب این دو مدل، یک مدل کاملتر برای بررسی ادراک سیاست در سازمان و رابطه‌ای که با تصویر سازمان دارد ارائه شده است.

۱- مقدمه

بسیاری از مردم در محیطهای کاری با این باور که سیاست و سیاسی کاری در محیط کار یکی از واقعیتهای زندگی سازمانی است موافق هستند. همانطور که مطالعات مختلف نشان داده است سیاست حقیقتاً یک جزء ذاتی از هر سازمان می‌باشد و همانگونه که از قدرت استفاده درست و یا نادرست می‌شود سیاست هم (که به عبارتی قدرت در عمل است) می‌تواند برای سازمان خوب یا بد باشد و در جهت و یا علیه آن بکار رود [۳] ولی غالباً سیاست و سیاسی کاری برای سازمان یک کارکرد بد محسوب می‌شود و این توان بالقوه را دارد که راندمان و اثربخشی سازمان را تخریب کند.

تفاوتهایی که در سطح و شدت سیاسی کاری در سازمان وجود دارد خروجیها و پیامدهایی برای سازمان دارد که روی کارکرد پرسنل، و فضای کاری موجود و همچنین تصویری که از آن سازمان در چشم ذینفعان داخلی وخارجی وجود دارد می‌تواند اثر بگذارد. با پی‌بردن به اهمیت و فراگیر بودن سیاست سازمانی در محیط کاری نیاز به بررسی این پدیده بیشتر شده و اطلاعات حاصل شده از تحقیق روی سیاست سازمانی مدیران را به فهم بهتر آن و پیش‌بینی و مدیریت رفتارهای سیاسی در سازمانها کمک می‌کند، بخصوص که نیاز به درک روشنتر از علل بوجود آمدن و همچنین اثراتی که این پدیده در سازمان دارد به شدت به چشم می‌خورد.

۲- سیاست در محیط کاری

سیاست در محیط کاری، طبیعت آن و پیش‌زمینه‌ها[1] واثراتی که روی خروجیهای سازمان دارد موضوع‌جذابی برای محققین رشته مدیریت ایجاد نموده است. بسیاری از تعاریف رایج و مرسوم که برای سیاست سازمانی وجود دارد آنرا یک پروسه با تأثیر اجتماعی توصیف می‌کنند که در آن رفتار بصورت استراتژیک برای به حداکثر رساندن علایق شخصی کوتاه مدت و بلند مدت طراحی می‌گردد و یا اینکه آمادگی اعضاء سازمان به استفاده از قدرت در فعالیتهای خود برای تأثیر گذاشتن بر دیگران و تأمین علایق خود و یا حتی اجتناب از بروز بعضی از پیامدهای منفی در سازمان را نشان می‌دهد. در دهه گذشته مطالعات مختلف، رویکردهای متفاوتی را برای فهم این موضوع به کار گرفته‌اند که از آنها می‌توان به اندازه‌گیری مستقیم قدرت اعضاء سازمان و روش شناسیهای دیگری که روی تاکتیکهای نفوذ که افراد در سازمان به کار می‌گیرند نام برد.

ولی بیشتر مطالعات روی منظر ویژه‌ای از سیاست بنام ادراک سیاست[2] توسط پرسنل تمرکز دارد. ادراک سیاست معمولاً دید و برداشت را نسبت به میزان قدرت و نفوذی که توسط دیگر افراد سازمان برای بدست آوردن برتریها و تأمین علایق آنها در تضادهای موجود به کار گرفته می‌شود بازگو می‌کند. هر قدر این ادراک از سیاست بیشتر باشد احساس عدالت و برابری رفتار در افراد کمتر می‌شود زیرا افرادی که در موقعیتهای قویتری قرار دارند علایق و نیازهای خود را با هزینه افرادی که منابع و نفوذ کمتری دارند ارضا می‌نمایند. در دهه ۱۹۹۰ ادراک سیاست توسط Ferris Kacmar به عنوان یک معیار اندازه‌گیری مناسب برای جو سیاسی در سازمان پیشنهاد شد.

1-Antecedent
2- Perceptions of politics

این رویکرد به سه دلیل ذیل ارزش علمی بیشتری نسبت به معیارهایی که سیاست واقعی موجود را اندازه می‌گرفتند دارد:

۱- ادراک سیاست راحتتر از رفتارهای سیاسی واقعی اندازه‌گیری می‌شوند.

۲- در چشم سهامداران عمده واقعی تر به نظر می‌رسند و بنابراین از دید بازیگران آن تمایلات رفتاری، رساتر و واضحتر هستند.

۳- اثر بیشتری روی نگرش و رفتار پرسنل نسبت به سیاست واقعی دارند.

بنابراین نگرشها ورفتارهایی که از افراد سرمی‌زند بیشتر از ادراکی که آنها از واقعیت دارند حاصل می‌شوند نه از خود واقعیت. در مقاله‌های مختلف به عوامل متعددی که در ادراک سیاست سازمانی تأثیرگذار هستند اشاره شده است ولی به طور کلی دو دسته عوامل و پیش زمینه وجود دارد که باعث ادراک سیاست سازمانی می‌شوند: یکی فاکتورهای شخصی (مثل فاکتورهای دموگرافیک، مشخصه‌های شخصیتی، نگرشها، نیازها وارزشها) و دوم فاکتورهای موقعیتی[1] (مثل استقلال و تنوع شغلی در سطح شغل و در سطح سازمانی فاکتورهایی مثل تمرکز و رسمیت). در مدلی که در [۱] توسط June M. L Poon ارائه شده است سه عامل و پیش زمینه ذیل برای درک سیاست در سازمان به عنوان فاکتورهای موقعیتی ارائه شده است و رابطه هر یک از آنها با ادراک سیاست در سازمان مشخص شده است:

۱- ابهام شغلی[2]

۲- کمیابی وکمبود منابع[3]

۳- فضا و محیط اعتماد[4]

ابهام شغلی، درجه‌ای از ابهام است که محیط شغل را احاطه کرده است. در محیطی که ابهام شغلی زیاد است پرسنل در قبال اهداف، نقش و اعمالی که به ازاء آنها تشویق می‌شوند در وضعیت روشنی قرار ندارند. وقتی اهداف، نقشها و معیارهای کارایی، مبهم و نامشخص باشند، پرسنل بی قیدی بیشتری نسبت به تأمین علایق خود از طریق انجام کارهای سیاسی نظیر در گیر شدن در رفتارهای سیاسی تدافعی، از طریق انداختن مسؤلیتها به گردن دیگران وکودن نشان دادن خود و نظایر آن می‌پردازند. به علاوه اینکه آنها به جای تصمیم‌گیری هدفمند بیشتر تصمیم گیری سیاسی می‌کنند و احساس می‌کنند که قدرت می‌بایست برای روابط شخصی آنها متمرکز شود و یا با استفاده از ابزارهای سیاسی در جهت پیشرفت علایق و سلیقه‌های خود گام برمی‌دارند. به عبارت دیگر وقتی اهداف، نقشها و معیارهای کارایی افراد روشن و مشخص باشند همه افراد می‌دانند که چه چیزی از دیگران مورد انتظار است. بنابراین نیازی به درگیر شدن در کارهای سیاسی احساس نمی‌شود و در نتیجه، رابطه مثبتی بین ابهام شغلی و میزان ادراک سیاسی در محیط کار وجود دارد. کمیابی و کمبود منابع موجود در سازمان، افراد را به انجام کارهای سیاسی و رقابت برای دستیابی به این منابع کم ترغیب می‌کند یعنی بین کمیابی و ادراک سیاست نیز یک رابطه مثبت وجود دارد و هر قدر این محدودیت در منابع بیشتر باشد میزان ادراک سیاسی کاری در محیط کار بیشتر است و بالاخره فضا و محیط اعتماد در سازمان در میزان ادراک سیاست تأثیر دارد. هر قدر سیاسی کاری در محیط کار بیشتر باشد افراد نیاز کمتری به انجام کارهای سیاسی و درک آن به عنوان یک تهدید حس می‌کنند، برعکس هر قدر فضای بی اعتمادی در محیط کار بیشتر باشد افراد به انگیزه‌ها و تمایلات دیگران مظنون‌تر بوده و در این فضا سطح انجام کارهای سیاسی بالا می‌باشد، یعنی یک رابطه منفی بین فضای اعتماد در سازمان و میزان ادراک سیاسی کاری وجود دارد.

۳- خروجیها وپیامدهای ادراک سیاست در سازمان

همانطور که در مرجع [۱] اشاره شده است ادراک سیاست در سازمان، پیامدها و اثراتی را در افراد در پی دارد که از آن می‌توان به پیامدهای روانی نظیر استرس شغلی، پیامدهای نگرشی مانند کاهش رضایت شغلی و بالاخره پیامدهای رفتاری همچون تمایل به خروج از خدمت نام برد که در اینجا به تفسیر هر یک می‌پردازیم. استرس شغلی: استرسهای روانشناختی وقتی بروز می‌کنند که افراد با موقعیتهایی روبرو شوند که وضعیت مناسبشان به خطر بیفتد. یک محیط کاری سیاسی ازجمله این موقعیتهاست. وقتی محیط کاری مملو از سیاسی کاری است افراد نمی‌توانند مطمئن باشند که تلاشهای آنها پاداش داده خواهد شد یا آنها با اعمال دیگران در خطر قرار نخواهند گرفت. در این محیط غیر قابل پیش‌بینی و ریسکی و تهدید آمیز سطح استرس افرادی که قادر به اجتناب و پرهیز از این گونه شرایط نیستند و آنهاییکه به سمت سیاسی کاری می‌روند افزایش می‌یابد، بنابراین رابطه مثبتی بین سیاست در سازمان و استرس شغلی وجود دارد.

رضایت شغلی: رضایت شغلی یک حالت احساسی مثبت است که وقتی افراد شغل و یا تجربیات خود را ارزیابی می‌کنند بروز می‌کند. Ferris در مقاله سال ۱۹۸۹ خود پیشنهاد داده است

1- Situational factor
2- Job ambiguity
3- Scarcity of resources
4-Trust climate

کـه افـزایش سیاسـت در سـازمان بـا کـاهش رضـایت شـغلی همراه است که یک نشانه آن زمانی است که تصمیماتی مثـل تخصیص منابع به افراد وقتی با منظورهای سیاسی حاکم باشد معمولاً ناعادلانه فرض می‌شوند، یعنی اگر پرسنل درک کنند که تصمیمات ناعادلانه است ناراحت و ناراضی می‌شوند، ضمن اینکه استرس موجود در محیط به دلیل وجود جو سیاسی به نارضایتی شغلی افراد اضافه می‌کند، بنابراین دو رابطه در اینجا مطرح است: یکی رابطه منفی بین رضایت شغلی و وجود سیاست سازمانی و دیگری رابطه منفی بین استرس شغلی و رضایت شغلی.

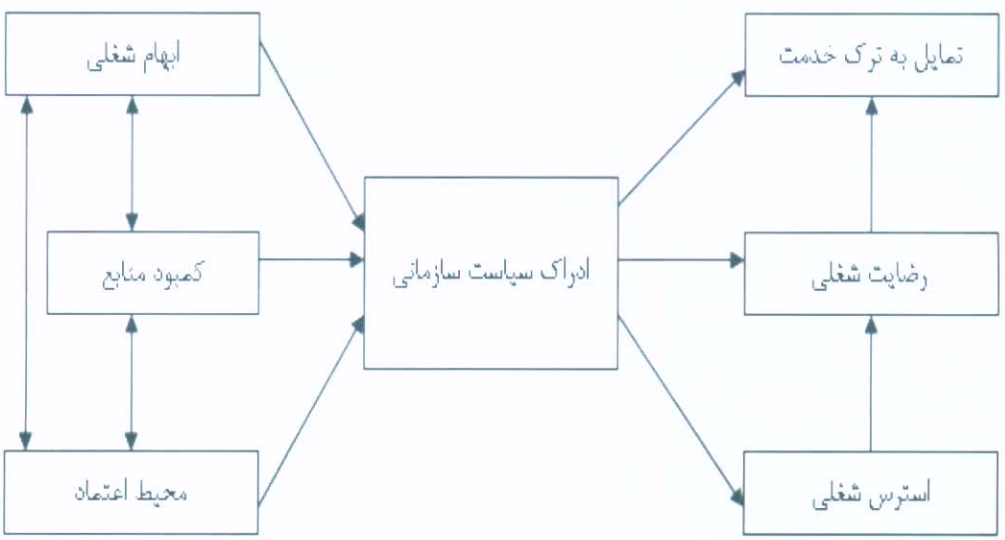
تمایل به ترک خدمت: تمایل به ترک خدمت به تفکر پرسنل به ترک کردن و خروج از شغل خود برمی‌گردد. به دلیل اینکه افراد سیاست در سازمان را نامطلوب می‌بینند، احتمال کمتری وجود دارد که آنها در محیط کاری که به صورت سیاسی توسط آنها ادراک می‌شود باقی‌بمانند، لذا پرسنل تصمیم می‌گیرند که از آن محیط خارج شوند. به هر حال همه پرسنل ممکن است تصمیم فوری به ترک شغل خود نگیرند و گزینه‌های کوتاه مدت دیگری مثل فکر کردن به خروج را نیز انتخاب کنند. به علاوه رضایت شغلی نیز خود در ترک خدمت تأثیرگذار می‌باشد و به عنوان یک پیش زمینه برای ترک خدمت محسوب می‌شود.

به هر حال درک سیاست سازمانی رابطه مثبتی با خروج از خدمت دارد، ضمن اینکه رابطه منفی بین رضایت شغلی و تمایل به خروج نیز وجود دارد. به طور خلاصه مدلی که برای درک سیاست سازمانی و پیش زمینه‌ها و پیامدهای آن در [۱] نیز ذکر شده در شکل (۱) آمده است. همانطور که در این‌شکل نیز مشخص است، ادراک سیاست سازمانی به عنوان یک رابط و واسط بین عوامل موقعیتی و متغیرهای رفتاری و نگرشی مثل رضایت شغلی، استرس شغلی و خروج از خدمت قرار دارد.

۴- تصویر سازمان و رابطه آن با درک سیاست در سازمان

تصویر سازمان یکی از نگرانیهای اولیه مدیران و مجریان در تمامی قسمتها، حرفه‌ها و نواحی جهان در طول قرن بیستم شده است. در بازار رو به رشد امروز، مردم با انبوهی از اطلاعات و داده‌ها در خصوص کالا و خدمات مواجه هستند. استانداردهای زندگی در کشورهای پیشرفته افزایش یافته و انتخابهای افراد برای زندگی روزمره از انتخاب یک لباس معمولی تا خرید یک خودرو و یا پذیرش یک پیشنهاد شغلی به شدت افزایش یافته است.

براساس تئوریهای جدید تصمیم گیری، افراد تمایل دارند به جای اینکه تصمیم خود را برای انتخاب کالاها وخدمات براساس کیفیت واقعی آن کالا و خدمت بگیرند، بر اساس آن تصویری که از مجموعه ای از ادراک و نگرشهای خود نسبت به آن کالا و یا خدمت حاصل شده است دریافت نمایند. به عنوان مثال بسیاری از ما خودرویی را که خریداری می‌کنیم براساس توصیه‌ها و تجربیات دوستان و ارزیابی‌های انجام شده توسط رسانه‌ها و یا فعالیتهای بازاریابی که هدف آنها بهتر کردن تصویر آن کالاست می‌باشد. فرض براین است که اگر آن تصویر در ذهن ما مثبت باشد ترغیب خواهیم شد که آن کالا را خریداری کنیم وبه دنبال گزینه‌های دیگر موجود در بازار نرویم. آنچه در مقاله‌ها و متون مختلف توسط افراد به عنوان تصویر یک سازمان تعریف شده است دارای ویژگیهای ذیل می‌باشد:



شکل (۱)

- تصویر یک سازمان میزان پایداری و شهرت آن سازمان را در بازار و جامعه نشان می‌دهد.
- تصویر یک سازمان کیفیت خروجیهای سازمان وخروجیهایی که توسط مشتریان رؤیت می‌شود را نشان می‌دهد.
- تصویر یک سازمان موقعیت آن سازمان را به عنوان یک تولید کننده یا ارائه دهنده خدمت در مقایسه با دیگر سازمانها بیان می‌کند.
- تصویر یک سازمان تمایل کلی ذینفعان مختلفی است که می‌خواهند به نوعی در فعالیتهای سازمان به عنوان مشتری و کارفرما و یا پرسنل شریک باشند.

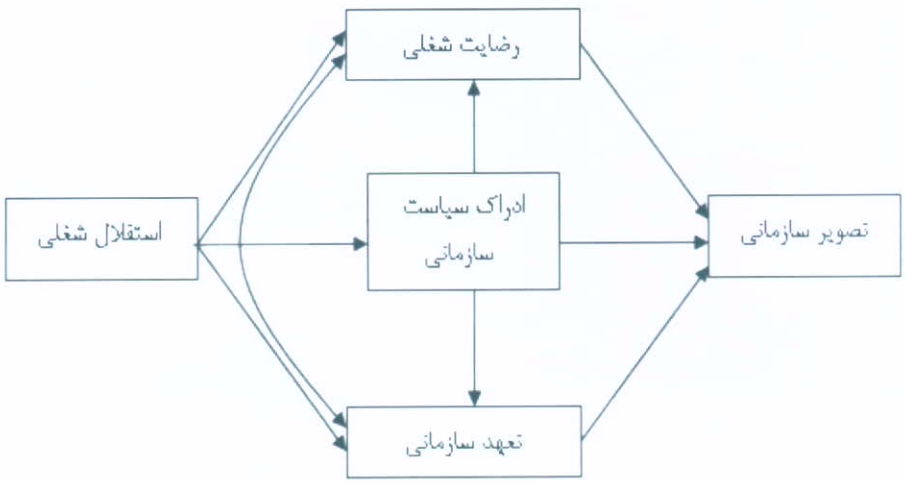
یک سازمان می‌تواند تصویرهای مختلفی داشته باشد. تصویری که در ذهن یک مشتری سازمان وجود دارد با تصویری که در ذهن پرسنل آن سازمان و یا تأمین کنندگان آن سازمان وجود دارد ممکن است متفاوت باشد. آنچه در مطالعات مختلف به عنوان تصویر سازمان اهمیت پیدا کرده است تصویر سازمان در ذهن پرسنل آن سازمان به عنوان ذینفعان اصلی می‌باشد و بیشتر مطالعات روی این جنبه از تصویر سازمان انجام گرفته است.

در مرجع [۲] سه مدل مختلف برای رابطه بین ادراک سیاست در سازمان و تصویر سازمان ارائه شده است که با توجه به ارزیابیهای انجام گرفته، مدل اول که در شکل (۲) نیز آمده است به تأیید رسیده است.

همانطوری که مشاهده می‌شود ادراک سیاست در سازمان به عنوان یک پیش شرط برای رضایت شغلی و تعهد سازمانی که اثر مستقیم و مستقل روی تصویر سازمان دارد در نظر گرفته شده است. براساس این مدل فضای سیاسی داخل سازمان برای شکل دادن به دیگر رفتارها و نگرشها نظیر رضایت شغلی، تعهد سازمانی، تشویش شغلی[1]، غیبت و ترک خدمت تعیین کننده است که با مدلی که در [۱] آمده است هماهنگی دارد. بنابراین در این مدل یک رابطه منفی بین ادراک سیاست در سازمان و رضایت شغلی و تعهد سازمانی به عنوان یک پیش شرط غیرمستقیم برای شکل دهی به تصویر سازمان می‌باشد وقتی پرسنل فضای سازمان را غیرعادلانه و غیرمنصفانه می‌بینند اولین واکنش آنها نارضایتی از شغل و کم شدن تعهد سازمانی می‌باشد که در بلند مدت ممکن است روی تصویر کلی سازمان تأثیر بگذارد، بنابراین وقتی سیاست در محیط کاری غالب باشد ممکن است تصویر سازمان را مخدوش کند.

۵- نتیجه گیری

در قسمتهای قبلی دو مدل برای ادراک سیاست سازمان ارائه شد. در مدل اول پیش شرطها و پیش‌زمینه‌های ادراک سیاست در سازمان و پیامدهایی که ادراک سیاست در سازمان دارد ارائه شد. پیش‌زمینه‌هایی نظیر ابهام شغلی وکمبود منابع، وجود سیاست در سازمان را پیش بینی می‌کند، ضمن اینکه فضای بی‌اعتمادی نیز در سازمان به عنوان یک پیش‌بینی کننده ادراک سیاست در سازمان محسوب می‌شود. به عبارت دیگر پرسنل وقتی اطلاعات کافی در زمینه اهداف شغل خود و مسؤلیتها و کارایی شغل نداشته باشند و منابع موجود در محیط کار آنها محدود بوده و سطح اعتماد در بین اعضاء آن سازمان پایین باشد، محیط کار خود را سیاسی ادراک می‌نمایند. در ادامه تبعات و پیامدهایی که ادراک سیاست در سازمان به همراه دارد آورده شده است که پیامدهای روانشناختی و نگرشی نظیر استرس شغلی، رضایت شغلی و تمایل به خروج از سازمان از آن دسته می‌باشند.



شکل (۲)

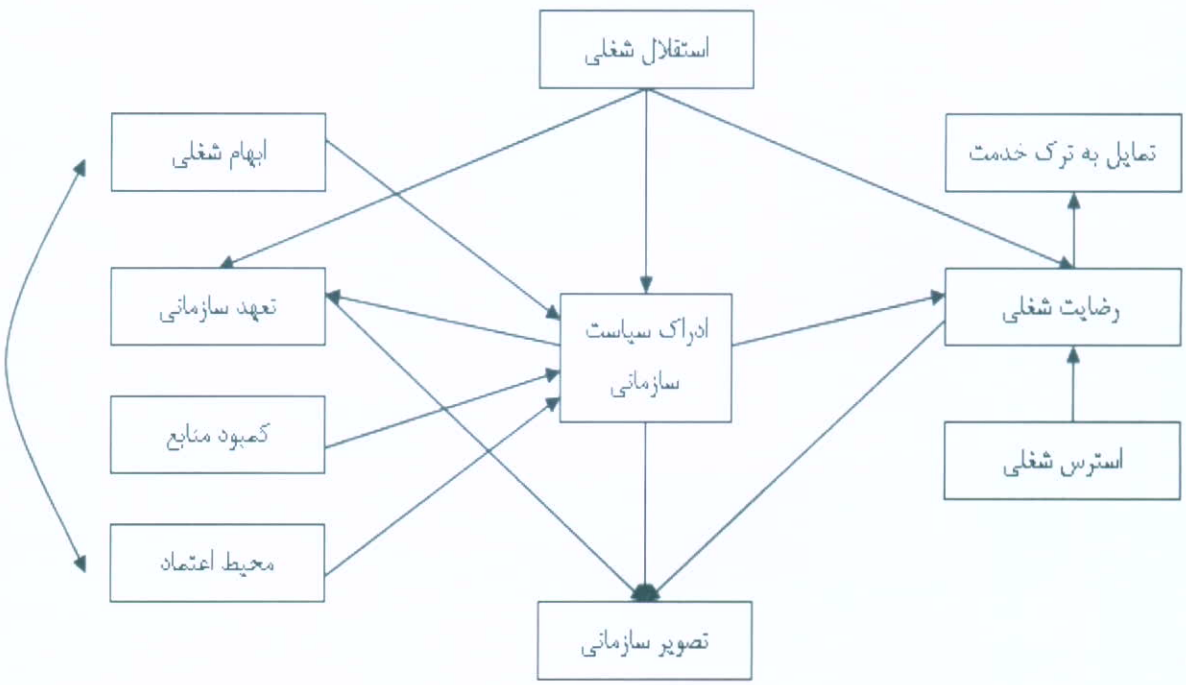
1- Job anxiety

در مدل دوم رابطه بین ادراک سیاست در سازمان و تصویر سازمان به عنوان یکی از پارامترهای مهم در بازار امروز بررسی شده است. استقلال شغلی به عنوان تنها عاملی است که در این مدل میزان ادراک سیاست در سازمان را تعیین می‌کند و به تبع آن ادراک سیاست در سازمان رضایت شغلی و تعهد سازمانی پرسنل را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این دو پارامتر باعث شکل‌گیری تصویر آن سازمان در ذهن پرسنل و همچنین مشتریان آن سازمان می‌گردد.

در حقیقت ادراک سیاست در سازمان به عنوان یک رابط و واسطه عمل کرده است که به طور غیرمستقیم بر تصویر سازمان اثر گذاشته است. در این مدل به عوامل به وجود آمدن ادراک سیاست در سازمان اشاره چندانی نشده است و فقط استقلال شغلی به عنوان عامل تأثیرگذار روی ادراک سیاست در سازمان معرفی شده است. بنابراین با ترکیب این دو مدل می‌توان مدل کاملتری از ادراک سیاست در سازمان ارائه کرد که در آن عوامل ایجاد کننده و پیش‌بینی کننده ادراک سیاست به طور کامل مشخص باشد. ضمن اینکه پیامدهای روانشناختی و رفتاری که از وجود سیاست در سازمان و درک آن توسط پرسنل حاصل می‌شود را می‌توان به عنوان عوامل تأثیرگذار روی تصویر سازمان در نظر گرفت. مدل ترکیب شده در شکل (۳) آمده است.

مفاهیمی که این مدل می‌تواند برای مدیران یک سازمان به همراه داشته باشد تمرکز بیشتر بر عوامل تأثیرگذار روی ادراک سیاست در سازمان خواهد بود. اگر مدیران بتوانند فاکتورهایی که در این مدل به عنوان پیش زمینه در ادراک سیاست در سازمان مطرح شده است را تحت تأثیر قرار دهند می‌توانند پیامدهای ناشی از ادراک سیاست در سازمان را کنترل نمایند. به عنوان مثال برای کاهش ابهام شغلی مدیریت می‌بایست این اطمینان را پیدا کند که پرسنل نسبت به اهداف شغل، نقشها و مسئولیتهایی که دارند کاملاً روشن و آگاه می‌باشند و در شغل خود احساس استقلال نسبی نمایند. ضمن اینکه سیاستهای منابع انسانی در سازمان برای ارتقاء و پرداخت حقوق باید بنحوی باشد که پرسنل احساس عدالت در سازمان بنمایند. در حالتیکه در منابع موجود در سازمان محدودیتهایی وجود دارد کمترین کاری که مدیریت می‌تواند انجام دهد این است که منابع موجود را به صورت عادلانه به افراد مختلف تخصیص دهد، به علاوه اینکه فضای اعتماد در سازمان که باید توسط مدیریت ایجاد گردد می‌تواند به کاهش ادراک سیاست در سازمان کمک کند.

با کاهش سطح ادراک سیاست در سازمان پیامدهایی که این پدیده روی خروجیهای سازمان دارد کاهش یافته و سطح رضایت شغلی و تعهد سازمانی را افزایش می‌دهد. ضمن اینکه استرس شغلی در پرسنل و تمایل آنها به خروج از سازمان کاهش می‌یابد که همه این عوامل به طور مستقیم و یا غیرمستقیم می‌توانند روی تصویری که از آن سازمان در ذهن خود پرسنل و دیگر ذینفعان سازمان وجود دارد تأثیر بگذارد.



شکل (۳)

مراجع
1. June M,L. Poon, "Situational antecedents and outcomes of organizational politics perceptions", journal of Managerial Psychology, Vol. 18,No. 2,2003 ,pp138-155
2. Eran Vigoda - Gadot, Hedava Vinarski-Peretz and Eyal Ben-Zion, "Politics and image in the organizational landscape", journal of Managerial Psychology, Vol. 8,No. 8,2003 ,pp764-787
3. David Butcher and Martin Clarke," organizational politics: the missing discipline of management", industrial and commercial training, Vol 31, No. 1, 1999, pp9-12
4. Sandi Mann," Politics and power in organizations: why women lose out", leadership and organization development journal, Vol. 16, No. 2, 1995, pp9-15
5. June M,L. Poon, "Effect of performance appraisal politics on job satisfaction and turnover intention", Personnel review ,Vol. 33,No. 3,2004,pp 322-334

آقای مهدی صانعی دارای لیسانس مهندسی برق- کنترل از دانشگاه صنعتی اصفهان و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد MBA در دانشگاه صنعتی شریف می‌باشد. ایشان از سال ۸۱ تاکنون در مدیریت ارشد پستهای قدس نیرو در زمینه طراحی پستهای فشار قوی فعالیت می‌نماید. زمینه علاقمندی آقای صانعی علاوه بر زمینه فعالیت فنی، مسائل مرتبط با مدیریت بخصوص رفتار سازمانی، منابع انسانی و تجارت الکترونیکی می‌باشد.

Email:
mah_sanei@yahoo.com

دلایل بکارگیری روغن و نقش آن در مونیتورینگ ترانسفورماتورهای قدرت

فرشید رسولی آزاد

کارشناس برق (قدرت) - مدیریت ارشد مهندسی پستهای انتقال

چکیده

روغن ترانسفورماتورهای قدرت نقش بسیار مهمی در عملکرد ترانسفورماتورها و مانیتورینگ آنها دارند. از طرفی با افزایش طول عمر ترانسفورماتور، روغن آن نیز به مرور برخی از خواص شیمیایی و الکتریکی خود را از دست می‌دهد و از طرفی نیز تحلیل پیدایش، افزایش و تغییرات مقادیر آب، دما، ذرات معلق، آلودگیهای شیمیایی و گازهای خطرناک، راه حل مهمی در نظارت برعملکرد و رفتارهای ترانسفورماتور قدرت به شمار می‌رود. علاوه بر وظایف روغن به عنوان عایق، انتقال دهنده حرارت و عامل بازدارنده از خوردگی، نقش آن در تعیین طول عمر باقیمانده و جلوگیری از وقوع عیوب داخلی ترانسفورماتور از مباحث داغ روز محسوب می‌شود.

۱- مقدمه

بازدید و تصفیه روغن ترانسفورماتور یکی از عوامل اصلی در طولانی تر کردن عمر مفید آن می‌باشد. در صورتی که بازدیدهای دوره ای، قدرت عایقی روغن را ضعیف نشان دهد، تصفیه، لجن زدایی و رطوبت گیری از روغن ضروری خواهد بود. با توجه به اینکه طول عمر بسیاری از ترانسفورماتورهای موجود زیاد بوده و روغن آنها نیز از مرغوبیت و سطح عایقی لازم و استاندارد برخوردار نمی‌باشند، هر لحظه امکان انفجار و سوختن آنها وجود دارد و در واقع، خطری پنهان در بروز خاموشیهای پیش بینی نشده و خسارات حاصله مطرح می‌باشد. علاوه بر بازدید و تصفیه روغن که از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، نظارت[1] بر رفتارهای ترانسفورماتور از طریق تحلیل روغن آن، گامی مهم در تعیین طول عمر یا عمر سنجی[2] ترانسفورماتور محسوب می‌شود.

نتایج تحلیلها کمک خواهد کرد تا قبل از وقوع حادثه، ترانسفورماتور تعمیر و یا تعویض گردد و در نتیجه، از بروز خاموشیهای ناخواسته جلوگیری به عمل خواهد آمد. همچنین درصورت موجود بودن نتایج مذکور، می‌توان پس از انفجار و یا معیوب شدن ترانسفورماتور، تا حدود زیادی علت بروز حادثه را مشخص نمود.

در این مقاله، ابتدا توضیحاتی کلی در مورد نوع روغن ترانسفورماتور ارائه می‌گردد و سپس خصوصیات مورد نیاز آن تشریح خواهد شد. در بخش بعدی، ناخالصی‌های روغن و مجموعه عوامل تخریب آن مورد بحث قرار می‌گیرد. روشهای تصفیه، موضوع بعدی خواهد بود و در پایان، تحلیل روغن ترانسفورماتور و نقش آن در مسأله مونیتورینگ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- روغن ترانسفورماتور

روغن‌های معدنی از ترکیبات هیدروکربنی تشکیل شده اند و در صنعت برق، یکی از انواع عایق‌های روغنی محسوب می‌شوند. این نوع از روغن‌ها، از پالایش نفت خام به دست می‌آیند و به آنها اصطلاحاً روغن‌های عایق نیز گفته می‌شود.

روغن‌های عایق از نظر ساختمان ملکولی به سه دسته تقسیم می‌شوند :

- روغن‌های متانی که بیش از $\frac{2}{3}$ وزن آن پارافین بوده و پیوند ملکولی آنها زنجیره ای است.
- روغن‌های نفتی که بیش از $\frac{2}{3}$ وزن آن نفت است و پیوند ملکولی آنها حلقوی می‌باشد.[3]
- روغن‌های متانی - نفتی که در آنها، نسبت نفت به متان، هیچ کدام به حد قابل توجهی بیشتر از یکدیگر نمی‌باشند.

هیدروکربنها در اثر تنش‌های شدید، نظیر آنچه در کابل‌های فشار قوی اتفاق می‌افتد، تمایل به تصاعد گاز دارند. تمایل روغن‌های پایه نفتنیک به تصاعد گاز بسیار کمتر از روغن‌های پایه پارافینیک است. روغن‌های پالایش شده در ایران، به علت نوع نفت خام موجود در ایران، از پایه پارافینیک می‌باشند و نیاز به مواد افزودنی[3] دارند. لجن روغن زیاد بوده و بعد از ۵ الی ۷ سال، با ۸۵ تا ۹۵ درصد بارگیری از ترانسفورماتور، دمای روغن بالا می‌رود. در حالی که روغنهای پایه نفتنیک نیازی به افزودنی ندارند و تشکیل لجن در آن‌ها به مراتب کمتر رخ می‌دهد و ازکیفیت بهتری برخوردار هستند. به هر حال، روغن ترانسفورماتور بخش پالایش یافته روغن معدنی می‌باشد که در

1- Monitoring
2- Aging or Life assessment
3- Additive

دمای حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد به جوش آمده است. این روغن پس از تصفیه، از نظر شیمیایی تقریباً خالص بوده و تنها شامل هیدروکربنهای مایع می‌باشد و هر چه درجه خلوص بالاتر باشد، روغن از کیفیت بهتری برخوردار بوده و در نتیجه، گازهای کمتری در شرایط نرمال تولید خواهد شد، زیرا تمامی ترانسفورماتورها در شرایط عادی[1] گاز تولید می‌کنند.

در شرایط غیر عادی[2] با توجه به نوع خطا، گازهای هیدروژن (H2)، متان (CH4)، استیلن (C2H2)، اتیلن (C2H4)، و اتان (C2H6) در روغن ایجاد میگردد که عمدتاً مربوط به خطاهای داخلی ترانسفورماتور می‌باشد.

چنانکه کاغذ سلولز بر اثر خطایی دچار مشکل شود، گازهای هیدروژن (H2)، متان (CH4)، منو اکسید کربن (CO)، و دی اکسید کربن (CO2) در روغن ایجاد می‌گردد. نکته بسیار مهم قابل اشتعال بودن اغلب این گازها می‌باشد (گاز CO2 احتراق پذیر نیست) و تحلیل آنها می‌تواند بیانگر نوع خطاها، از قبیل حرارتی و الکتریکی بوده و تولید برخی از این گازها می‌تواند حتی ناشی از کرونا باشد.

روغن ترانسفورماتور دو وظیفه اساسی بر عهده دارد:

- به عنوان عایق الکتریکی عمل می‌نماید.
- حرارتهای ایجاد شده در قسمتهای برقدار ترانسفورماتور را به خارج انتقال می‌دهد.

با توجه به گسترش روز افزون شبکه برق، اهمیت پایداری آن، بحث اتلاف انرژی و وجود سطوح بالای ولتاژ، نیاز به روغن ترانسفورماتورها به عنوان عایق الکتریکی و وسیله خنک کنندگی، افزایش یافته است. هر چه درجه خلوص روغن بالاتر باشد، مشخصات الکتریکی آن بهتر خواهد بود و اگر چسبندگی (ویسکوزیته) روغن کم باشد، خاصیت خنک کنندگی بهتری خواهد داشت و نقطه ریزش[3] آن پایین خواهد بود. البته ویسکوزیته روغن را نمی‌توان بسیار پایین انتخاب کرد زیرا در این صورت، flash point روغن پایین تر خواهد آمد و از روغن با flash point پایین نباید استفاده کرد.

۲-۱- خصوصیات مورد نیاز روغن

خصوصیات یک روغن ایده آل را می‌توان به شرح ذیل عنوان کرد:

- استقامت الکتریکی (خاصیت عایقی یا دی الکتریک) بالایی داشته باشد، یعنی ولتاژ شکست آن بالا باشد.
- کنترل درجه حرارت داخل ترانسفورماتور و انتقال حرارت را به خوبی انجام دهد.
- جرم مخصوص پایینی داشته باشد (مقاومت مخصوص آن زیاد باشد).
- ویسکوزیته پایینی داشته باشد.
- Pour point (نقطه ریزش یا سیلان) پایینی داشته باشد.
- Flash point بالایی داشته باشد (ازقابلیت بالایی در خاموش کردن جرقه برخوردار باشد یعنی نقطه اشتعال بالا).
- در مواد عایقی و قسمتهای فلزی ایجاد خوردگی ننماید.
- خاصیت شیمیایی پایداری داشته باشد.
- تمایل به اکسیداسیون و تشکیل لجن در آن کم باشد.
- میزان تغییرات خواص در درجه حرارتهای بالا کم باشد.
- ضریب تلفات عایقی آن پایین باشد.

در روغن‌هایی که جرم مخصوص پایینی دارند، ذرات معلق به راحتی و به سرعت ته نشین می‌گردند و این خاصیت باعث تسریع در روند هموژنیزه روغن می‌شود. روغنی که ویسکوزیته پایینی دارد، سیالیت آن بهتر بوده و در نتیجه خاصیت خنک کنندگی بهتری خواهد داشت. همچنین flash point، مشخص‌کننده تمایل روغن به تبخیر شدن می‌باشد. هر چه flash point روغن پایین تر باشد، تمایل به تبخیر شدن در روغن بیشتر است. هنگامی‌که روغن تبخیر می‌شود، ویسکوزیته آن بالا می‌رود و روغن‌های تبخیرشده ترکیبا ت آتش زایی را با هوای بالای روغن ایجاد می‌کنند. بطور خلاصه روغن باید تمیز باشد، و مواد جامد معلق، ترکیبات شیمیایی زیان آور، و به ویژه آب هرگز در آن موجود نباشد.

۲-۲- ناخالصی‌ها و عوامل تخریب روغن

اولین تأثیر ناخالصی‌ها تغییر خواص الکتریکی روغن می‌باشد. با توجه به نوع ناخالصی، تأثیرپذیری روغن نیز متفاوت خواهد بود. همچنین، هر چه میزان نا خالصی‌ها بیشتر باشد، تأثیرپذیری روغن بیشتر خواهد شد. عواملی که باعث فساد و خراب شدن روغن ترانسفورماتور و در نتیجه نزول آن از حد استاندارد می‌شوند، عبارتند از:

- نفوذ رطوبت و آب
- درجه حرارت بالا و غیر مجاز
- اکسیداسیون و اسیدی شدن روغن
- وارد شدن ذرات معلق و ناخالصی‌ها در روغن

افزایش ذرات معلق و آب در روغن و وجود آلودگی‌های شیمیایی مانند اسیدیته، باعث تغییر پارامترهای متعدد می‌شوند. ذرات معلق سبب کاهش قدرت دی الکتریک روغن، افزایش اسیدیته، و در نتیجه منجر به خوردگی کاغذ و اجزای داخلی ترانسفورماتور می‌گردد. به هر حال، هرچه میزان

1- Normal
2- Abnormal
3- Pour Point

ناخالصی‌ها بیشتر باشد، تأثیرپذیری روغن نیز بیشتر خواهد بود. از آنجا که روغن یک ترکیب آلی است، زوال و تأثیرپذیری آن را در مقابل گرما و اکسیژن نمی‌توانیم کاملاً از بین ببریم. بنابراین، روغن اکسیده می‌شود و ترکیبات اسیدی و قطبی به وجود می‌آید و کشش سطحی روغن در مقابل آب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، ترکیبات اسیدی بر کاغذ، فیبرها وعایق‌های سیم پیچهای ترانس تأثیرات نامطلوبی خواهد گذاشت. در حقیقت سلول‌های عایقی، هنگامی‌که تحت حرارت قرار می‌گیرند، در محیط اسیدی سریعتر از محیط خنثی ترد و شکننده می‌شوند. ازجمله مهمترین آلودگی‌ها که روغن ترانسفورماتور را تحت تأثیر قرار می‌دهد، وجود آب در داخل روغن است. جدا نمودن آب به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد. علت این مسأله، وجود بخشی از آب در داخل کاغذ ترانس می‌باشد که با جدا نمودن آن، روغن جایگزین آب خواهد شد. تشکیل لجن و رسوبات زائد در روغن ترانس، از پیامدهای دیگر زوال و اضمحلال آن می‌باشد و بر روی سیم پیچها رسوب ایجاد می‌کند و این مسأله باعث می‌شود تا سیم پیچها به طور مؤثر خنک نشوند. چنانچه ولتاژ شکست الکتریکی روغن مطابق با مقادیر استاندارد نباشد، به این معنی است که روغن شامل ذرات جامد ناخالصی و یا آب است. حداکثر میزان مجاز آب در روغن ترانس بر طبق استانداردهای مربوطه تعیین شده است، ولی برای ضریب پراکندگی[1] که تابع ذرات کوچکتر و ترکیبات قطبی حل نشده در روغن می‌باشد، حدود کاملاً مشخص نیست. چنانچه امکان تصفیه در محل نبوده و روغن ترانسفورماتور کلاً عوض شود، مشکلاتی به شرح ذیل وجود خواهد داشت:

- لجن و رسوب

آلودگی ناشی از اکسیداسیون باعث ایجاد رسوب و لجن در داخل ترانسفورماتور می‌گردد و عملاً امکان لجن زدایی در داخل ترانسفورماتور میسر نمی‌باشد. تشکیل رسوب به علت کاهش هدایت حرارتی و پایین آوردن استقامت دی الکتریک روغن، بسیار زیان بخش می‌باشد. به طوری که یک لایه نازک رسوب، گرادیان درجه حرارت مس (سیم پیچها) به روغن را افزایش داده و در شرایط بارداری مشخص، درجه حرارت سیم پیچها بیش از حالت عادی (بدون رسوب) می‌گردد. متأسفانه هنگامی که روغن ترانس کلاً تعویض می‌گردد، این رسوبات و لجن‌ها بر روی بوبین‌ها ، هسته و جداره داخلی ترانس باقی می‌ماند و دوباره با روغن جدید مخلوط می‌گردد و عملاً این مشکل وجود خواهد داشت.

- رطوبت

هنگام تخلیه کامل روغن از داخل ترانس، رطوبت همچنان در بین هسته و سیم پیچها برجا می‌ماند و جدا نمی‌شود. وقتی که روغن جدید به داخل ترانس پمپاژ می‌گردد، رطوبت و گازهای باقی مانده از روغن قبلی با روغن تازه مخلوط شده و خواص آن را پایین می‌آورد و حتی هنگامی‌که با اتصال کوتاه کردن سیم پیچهای ثانویه اقدام به رطوبت زدایی می‌شود، به دلیل حرارت ایجاد شده در سیم‌پیچها، رطوبت از آنها تبخیر شده ولی بخشی از این رطوبت در روغن حل می‌شود و در نتیجه، ترانسفورماتور رطوبت گیری کامل نمی‌شود.

۳- روش‌های تصفیه روغن

۳-۱- روش‌های سنتی

معمولاً شرکتهای توزیع در دوره‌های مشخص (مثلا هر شش ماه)، با نمونه گیری و تست روغن، در صورت لزوم اقدام به تصفیه روغن می‌کنند. در برخی از شرکت‌های توزیع که دارای دستگاه سیار تصفیه روغن هستند، پس از اعمال خاموشی، روغن ترانسفورماتور در محل پست تصفیه می‌شود. برخی از شرکتهای دیگر که چنین امکاناتی ندارند، روغن را در محل پست تعویض نموده یا حتی اقدام به انتقال ترانسفورماتور به تعمیرگاه می‌کنند و در این مدت، ترانس دیگری را جایگزین آن می‌نمایند. همه این روشهای قدیمی‌دارای عیوبی می‌باشند، و حتی در بهترین حالت که روغن در محل پست تصفیه می‌شود، لزوم ایجاد خاموشی طولانی مدت نقصی اساسی محسوب میگردد، زیرا در این روش که به روش Off-line معروف است، هنگامی‌که ترانسفورماتور خاموش می‌باشد، به مدت چند شبانه روز به صورت پیوسته روغن را داخل ترانسفورماتور چرخانده و آن را در بیرون تحت فیلتراسیون و خلاء قرار می‌دهند تا ذرات معلق و آب محلول درون روغن جدا شوند. ایجاد خاموشی از معایب بزرگ این روش بوده، و لزوم داغ نمودن روغن ترانسفورماتور نیز عیب دیگر این روش می‌باشد، ضمن اینکه آب و رطوبت نیز به طور کامل جدا نمی‌گردد. در روش سنتی، روغنهای مختلف را در مخزن واحدی مخلوط نموده و سپس اقدام به تصفیه آنها می‌کردند که این کار به دلیل ترکیبات متفاوت و خواص گوناگون روغن‌ها، باعث می‌شد تا مخلوط حاصله پس از تصفیه، کیفیت مطلوبی نداشته و به سرعت کهنه و غیر قابل استفاده شود. در حقیقت، ترکیب دو نوع روغن می‌تواند نتایج غیر قابل انتظاری به همراه داشته باشد. مثلاً بازدارنده اکسیداسیون دو نوع روغن، ممکن است بر یکدیگر اثر منفی بگذارند. به هر حال، روغن‌ها می‌توانند به دلایل مختلفی با یکدیگر ناسازگار باشند.

1- tg delta

۳-۲- روش‌های نوین

در روش‌های نوین که به روش‌های در حین کار نیز معروف می‌باشند، برای جدا نمودن آب به شکل مطلوب، لازم است که از فیلترها (خشک کن‌ها)ی در حین کار[1] استفاده نمود. مهمترین مزیت این نوع فیلتر، رطوبت گیری از روغن و کاغذ ترانس، بدون نیاز به ایجاد خاموشی می‌باشد. ذرات معلق توسط صافی از روغن در حال چرخش گرفته می‌شود و رطوبت نیز تحت تأثیر خلاء جدا می‌گردد و روغن فیلتر شده توسط پمپ به ترانسفورماتور برگردانده می‌شود. علاوه بر رطوبت گیری در حین کار ترانس، افزایش ولتاژ شکست عایقی، کاهش ذرات معلق، کاهش ضریب تلفات عایقی، کاهش میزان اسیدیته روغن، افزایش قابلیت بارگیری از ترانس، افزایش طول عمر ترانس، گاز زدایی از روغن، و امکان ایجاد آلارم و خروج ترانس از مدار در صورت تشکیل مقادیر زیاد گاز، از سایر مزایای استفاده از روش‌های در حین کار[1] می‌باشد.

۴- تحلیل روغن و نقش آن در مونیتورینگ ترانسفورماتور

در سیستمهای نظارت، رفتارهای ترانسفورماتورهای قدرت تحت مطالعه و تحلیل قرار می‌گیرند. گازهای حل شده در روغن و گازهایی که متصاعد می‌گردند، همچنین دما و تخلیه جزئی[2] از نظر مقدار، نوع و میزان اثر بخشی بررسی شده و هم زمان، اطلاعات مذکور به بخش اسکادا[3] نیز ارسال می‌گردند. در این بین، اطلاعات مختلفی به شرح زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

- پردازش اطلاعات مربوط به فعالیت تخلیه جزیی در داخل ترانسفورماتور
- پردازش اطلاعات مربوط به وضعیت بوشینگ ترانس و تانژانت دلتا
- پردازش اطلاعات بارگیری (ولتاژها و جریان‌ها) و دماهای ترانسفورماتور و خنک کنندگی آن
- پردازش اطلاعات سنسورهای حس کننده گازهای محلول در روغن و رطوبت روغن
- پردازش اطلاعات مربوط به تپ چنجر ترانسفورماتور، مثل موقعیت تپ، موتور و روغن آن

بررسی روغن‌های نمونه برداری شده از ترانسفورماتور که در فواصل منظمی‌صورت می‌گیرد، نظارت خوبی بر کار ترانسفورماتور محسوب می‌شود. با این کار، نه تنها برخی از مشخصات روغن در زمان‌های معینی ضبط می‌گردد، بلکه میزان تغییرات این مشخصات نیز با گذشت زمان آشکار خواهد شد، و این اطلاعات مبنای مناسبی برای ارزیابی وضعیت روغن و ترانسفورماتور به شمار می‌آید.

چنانچه نتایج برخی از اندازه گیری‌ها با نتایج قبلی اختلاف داشته باشد، ممکن است این عدم هماهنگی به دلیل وجود خطا در اندازه گیری یا هنگام نمونه برداری باشد، زیرا روغن نمونه برداری شده به راحتی توسط آلودگی و رطوبت شیرها و یا بطری‌های نمونه برداری، آلوده می‌گردد و بنابراین نمونه برداری از روغن ترانسفورماتور بایستی با حداکثر دقت صورت پذیرد. عایق‌ها در ترانسفورماتور تنها به دلیل حرارت و تجزیه شیمیایی آسیب نمی‌بینند، بلکه تخلیه الکتریکی نیز در این فرآیند مؤثر می‌باشد. به وسیله تخلیه الکتریکی و درجه حرارت نسبتاً بالای محیط، از روغن و کاغذ، گازهایی از قبیل هیدروژن، متان، اتیلن، استیلن، و اکسید کربن تولید می‌گردد. وجود این گازها می‌تواند بیانگر نقصی براساس نوع گاز بوجود آمده باشد و البته، با توجه به نوع و مقدار گازها میزان اهمیت خطا در ترانس مشخص می‌گردد. بنابراین با بررسی گازهای تولید شده در روغن ترانسفورماتور، نیاز به بازدید و تعمیرات احتمالی آشکار می‌شود. برای مثال، اضافه حرارت روغن باعث ایجاد گاز متان و اتیلن، تخلیه الکتریکی جزیی در روغن باعث ایجاد هیدروژن، و تخلیه الکتریکی شدید، گاز استیلن را در روغن ایجاد می‌نماید. امروزه فناوری، امکانات جدیدی را برای اندازه گیری سریع گازهای ایجاد شده در روغن ترانسفورماتور فراهم آورده است. هر یک از انواع خطاها، ترکیب متفاوتی از گازها را تولید می‌کنند. تقریباً تمامی خطاها مقادیر مختلفی گاز هیدروژن تولید می‌کنند و چگونگی مونیتورینگ هیدروژن که اغلب به عنوان علامت اصلی هشدار دهنده محسوب می‌گردد، اساس انواع روش‌های آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور می‌باشد. سه نوع فناوری در خصوص اندازه گیری گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور مورد استفاده قرار گرفته است:

۴- ۱- فناوری سنسور نیمه‌هادی

در این روش، از یک تراشه سیلیکونی استفاده می‌گردد. وقتی این سنسور در معرض گازها، به ویژه گاز هیدروژن قرار می‌گیرد، تولید سیگنال الکتریکی می‌نماید. ویژگی پاسخ به هیدروژن در این فناوری بسیار مناسب است.

۴-۲- فناوری پیل سوختی

اساساً از این فناوری در مونیتورینگ برای اندازه گیری میزان هیدروژن در روغن ترانسفورماتور استفاده شده است. الکترودهای آشکارساز، یک جریان الکتریکی متناسب با مقدار

1- on-line
2- Partial Discharge (PD)
3- SCADA

هیدروژن تولید می‌کنند. این جریان الکتریکی بر اثر اکسیداسیون الکتروشیمیایی هیدروژن در الکترودهای آشکارساز به وجود می‌آید. برای ملکول‌های کوچکی مانند هیدروژن، با تقریب مناسبی می‌توان گفت که صد در صد گاز هیدروژن در واکنش شرکت کرده و از آنها پاسخ دریافت می‌شود. سایر ملکولها مانند استیلن، اتیلن، و مونو اکسید کربن نیز میتوانند تا حدودی در اکسیداسیون شرکت کرده و سیگنال الکتریکی تولید کنند. این سیگنال تولید شده، بخشی از کل سیگنال الکتریکی خروجی است و متأسفانه، نمی‌توان تشخیص داد که سهم هر یک از انواع گازها در تولید سیگنال الکتریکی دقیقاً به چه میزان است و این مشکل در واقع، نقطه ضعف مهم این روش می‌باشد.

۴-۳ - طیف نگاری گاز

فناوری سوم در اندازه گیری گازهای محلول در روغن، طیف نگاری[1] می‌باشد. در این روش، به تفکیک نوع هر یک از گازهای تولید شده مشخص می‌گردد. نمونه‌های گاز که از فضای بالای تانک روغن و یا از روغن ترانسفورماتور گرفته شده، از لوله‌های باریکی عبور داده می‌شوند. بر اساس هدایت گرمایی گازها، سیگنال‌هایی تولید می‌شود که می‌توان با تبدیل آنها، نوع گازها را به تفکیک مشخص نمود. برای مقایسه این سه روش، می‌توان آزمایشاتی را انجام داد. به عنوان مثال، در آزمایش تخلیه جزیی، توسط روش‌های اول و دوم تغییراتی ثبت می‌گردد اما دقیقاً مشخص نمی‌شود که کدامیک از گازها در روغن تولید شده است، در حالی که در روش طیف نگاری میزان انواع گازها نمایان می‌شود.

در مثالی دیگر، می‌توان آزمایش خطای قوس را مطرح نمود. در این حالت نیز دو روش اول، تنها تولید مقادیری از گاز را ثبت می‌کنند و قادر به ارائه نوع گازها و مقادیر آنها نمی‌باشند، در حالیکه روش سوم به تفکیک میزان گازهای تولیدی را ارائه می‌دهد. خطاهای مختلف، گازهای متفاوتی را تولید می‌کنند و میزان آنها در ارتباط با مدت زمان سپری شده می‌باشد . مثلاً برخی از خطاها در مدت زمان طولانی، مقادیر کمی گاز تولید می‌کنند و خطاهایی نیز رخ می‌دهند که در زمانی کوتاه، مقادیر قابل ملاحظه ای گاز تولید می‌کنند. ارتباط داده‌های حاصل از خطاها با نوع خطاها، عامل مهمی در اتخاذ تصمیمی مناسب برای بهره برداری و نگهداری ترانسفورماتورها به شمار می‌رود. مثلاً تحلیل نتایج، ممکن است بیانگر قابلیت استفاده ترانس در بلند مدت باشد و یا ما را به این نتیجه برساند که نباید در دراز مدت از ترانس استفاده نمود. شاید بیانگر پایان عمر مفید آن بوده و یا هشداری جدی در بروز خطایی بزرگ در آینده باشد. تجزیه کاغذ، تجزیه روغن، خطاهای حرارتی، و خطاهای الکتریکی چهار گروه عمده از علل اصلی ایجاد گازهای مختلف در ترانسفورماتورها می‌باشند و این موضوع، اهمیت کارایی روش اخیر در مونیتورینگ ترانسفورماتورها را بیان می‌کند.

۵- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت حفظ پایداری شبکه برق کشور، گرانی ترانسفورماتورهای قدرت، و زیان‌های اقتصادی ناشی از قطع برق، نظارت مداوم بر تجهیزات الکتریکی، به ویژه تجهیزات پرهزینه، ضروری می‌باشد.

بنابراین، همانگونه که مطرح شد، نقش روغن به عنوان عایق کنندگی، خنک کنندگی، تشخیص عیب و مونیتورینگ ترانسفورماتور، غیر قابل انکار می‌باشد. دقت در انتخاب و تصفیه روغن، یکی از عوامل اصلی و مهم در طولانی تر کردن عمر مفید ترانس و جلوگیری از خاموشی‌های ناخواسته محسوب می‌شود و می‌بایست در مدت زمان‌های معین و مناسب، نسبت به تعویض یا تصفیه به موقع روغن با تازه ترین روشهای مورد تأیید استانداردهای مربوطه اقدام نمود.

مراجع

1- IEEE std c57.104-1991
2-IEEE/PES T & D Conference 2002 – Yokohama
3- STD. IEC 60599 1999
4- Electric power transformer Engineering by James H. Harlow CRC Press – 2004
5-Transformers/McGraw-Hill second Edition-2003
6- www.siprotec.com
7- www.siemens.com
8- www.ABB.com

آقای فرشید رسولی آزاد دارای مدرک کارشناسی برق (گرایش قدرت) از دانشگاه آزاد واحد جنوب تهران، و ۱۵ سال سابقه کار مرتبط با رشته تحصیلی خود می‌باشد که ۷ سال آن در شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو بوده است. زمینه علاقمندی ایشان، مطالعات در مورد ترانسفورماتورها، و مطالعات پخش بار و پایداری شبکه‌های قدرت است.

Email:
Frasouli@Ghods-niroo.com

1- Chromatography

روش های کنترل فعال ارتعاش مستقیم در سیستم های یاتاقان مغناطیسی

رامتین نظام آبادی

کارشناس ارشد کنترل و ابزار دقیق - مدیریت ارشد مهندسی صنایع نیروگاهی

چکیده

ماشین‌های دوار کاربرد وسیعی در صنایع دارند. ارتعاشات ناشی از نامیزانی ماشین‌های دوار یک پارامتر مهم محدودکنندهٔ راندمان و طول عمر سیستم‌های روتوری است. در مقاله‌های قبل روش‌های مختلف کنترل فعال ارتعاش در این ماشین‌ها معرفی و به اجمال مورد بررسی قرار گرفت. همچنین روش‌های بالانسینگ فعال بررسی و انواع روشهای فعال و غیرفعال بالانسینگ تشریح و مقایسه شدند.

در این مقاله به منظور تکمیل مباحث کنترل ارتعاش در ماشین‌های روتوری، به بررسی روش‌های کنترل ارتعاش و بالانسینگ فعال با استفاده از یاتاقانهای مغناطیسی می‌پردازیم. به این منظور، انواع روش‌های کنترل مرسوم از PIDهای صنعتی تا روش‌های مقاوم خطی و غیرخطی و ... مورد بررسی قرار می‌گیرند و نتایج شبیه‌سازی و آزمایشات ارائه می‌شوند. بطور کلی هر چند بدلیل اینکه معمولاً یک مدل خطی دقیق از یاتاقانهای مغناطیسی در دست است حدود ۹۰ در صد کنترل‌کننده‌های صنعتی در این سیستم‌ها، از نوع PID هستند ولیکن در اکثر پیکره‌بندیهای AMB[1]ها، در نتیجه خطای اندازه‌گیری و نیز نامعینی‌های مدل و تغییر پارامترهایی نظیر جرم و سرعت چرخش روتور، کارایی این کنترل‌کننده‌ها در نتیجه توانایی پایین‌شان در شکل‌دهی بهره حلقه و کمبود ذاتی آنها در هماهنگی بین یاتاقان‌ها، محدود است [۶]. با توجه به شبیه‌سازیهای صورت گرفته در مقالات و مجلات معتبر بین‌المللی نظیر IEEE و ASME، کنترل‌کننده لغزشی بهترین انتخاب در محرک‌های با محدوده کار بزرگ می‌باشند. بهترین انتخاب برای بالانسینگ فعال روتور، کنترل‌کننده H_∞ و یا Q-Parameterization می‌باشد، چرا که با تنظیم توابع وزنی در هر مورد، سیستم متناسب با نوع کاربرد قابل طراحی می‌باشد.

۱- مقدمه

یاتاقانهای مغناطیسی به یاتاقان‌هایی اطلاق می‌شوند که مبتنی بر تعلیق فعال روتور بوسیله نیروهای مغناطیسی هستند. امروزه استفاده از یاتاقان‌های مغناطیسی در ماشین‌های دوار، به منظور کنترل فعال ارتعاشات ناشی از عوامل متداولی نظیر نامیزانی، عدم‌هم‌محوری و لقی[2]، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. موارد متعددی از کاربردهای صنعتی این یاتاقان‌ها را می‌توان در نیروگاههای بادی و نیز میکروتوربین‌ها و توربین‌های انبساطی مثال زد. برای غلبه بر مشکلات فوق از راهکارهای کنترلی شامل روش‌های کنترل مقاوم جهت دستیابی به پایداری و کارایی مقاوم در حضور نامعینی‌های مدل [۱-۶]، روش‌های کنترل تطبیقی در روتورهای منعطف با سرعت چرخش متغیر و سیستم‌های با نامعینی‌های پارامتریک در محدوده وسیع یا غیر قابل پیش‌بینی [۷-۱۱] و روش‌های هوشمند در مکانیزم شناسایی نامعینی‌های مدل [۱] و کنترل هوشمند [۱۲-۱۳]، در این سیستم‌ها استفاده می‌شود. اخیراً استفاده از این یاتاقان‌ها برای ماشین‌های سرعت بالا وحتی با محدودیت در استحکام و مقاومت مواد سازنده امکان‌پذیر است و در آنها دینامیک تکیه‌گاه و موقعیت روتور بخوبی تنظیم می‌شود. این خصوصیات باعث شده که علاوه بر رشد سریع تکنولوژیکی، از نقطه‌نظر یک سیستم کنترلی نیز بسیار مورد توجه باشند [۱۴].

یاتاقان‌های مغناطیسی در مقایسه با سایر یاتاقان‌های متعارف [۱۵] موجود دارای مزایایی بشرح ذیل می‌باشند:

(۱) تنظیم مناسب موقعیت روتور و دینامیک‌های ساپورت [۱-۴ و ۸-۹ و ۱۶].

(۲) توانایی کاهش ارتعاش با میرایی فعال [۳-۵] و [۷] و [۱۳-۱۴].

(۳) کاهش ماکزیمم جابجایی در پاسخ به نیروی سینوسی واحد اعمال شده به یک محل خاص از روتور[3] [۶].

(۴) حذف سیستم روغنکاری [۱۴].

(۵) امکان افزایش سرعت چرخش تا محدودهٔ مقاومت متریال بدون ایجاد خستگی [۱۴].

1- Active Magnetic Bearing
2- Looseness
3- Rotor Compliance Minimization

یکی از مهم ترین مزایای یاتاقانهای مغناطیسی که بیشترین کاربرد را در صنایع بخود اختصاص داده است، امکان کنترل پاسخ نامیزانی با اعمال یک نیروی سینوسی به شفت می‌باشد [۳-۴] و [۷-۹] و [۱۱-۱۳] و [۱۷].

از نقطه نظر کنترلی، تنوع بسیار زیادی در سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی مشاهده می‌شود و سیستم‌های کنترل مدرن فیدبک و نیز فیدفوروارد تطبیقی با موفقیت در این سیستم‌ها پیاده‌سازی شده‌اند [۱۴].

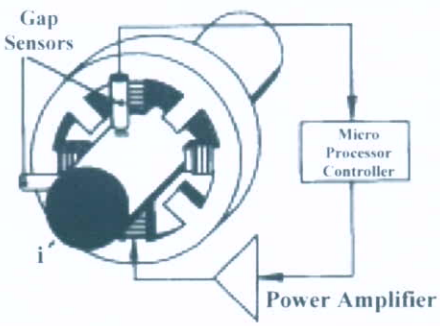
در بسیاری از کاربردهای صنعتی یاتاقان‌های مغناطیسی، سیستمهای کنترل PD و PID بکار گرفته می‌شوند، اما در اکثر پیکره‌بندیهای AMB، سنسورها در نزدیکی یکی از دو انتهای یاتاقان جاسازی می‌شوند و حرکت یاتاقان را بدقت اندازه‌گیری نمی‌کنند و کارایی این کنترل‌کننده‌ها در نتیجه توانایی پایین‌شان در شکل‌دهی بهره حلقه و کمبود ذاتی آنها در هماهنگی بین یاتاقان‌ها، محدود است [۶]. علاوه بر این مسأله، نامعینی‌های مدل و تغییر پارامترهایی نظیر جرم و سرعت چرخش روتور و عدم وجود روش طراحی سیستماتیک می‌تواند منجر به ناپایداری کل سیستم و یا عدم دستیابی به یک کارایی مشخص شود [۱۴ و ۶]. عوامل نامعینی مدل در این سیستم‌ها به مواردی همچون نشتی شار، اثر لبه و نفوذپذیری محدود هسته در این یاتاقان‌ها مربوط می‌شود [۱۸]. جهت غلبه بر این مشکل، در این بخش الگوریتم‌های مرسوم در طراحی سیستم‌های کنترل یاتاقان‌های مغناطیسی فعال مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند و نتایج آزمایشات و شبیه‌سازی‌های هر یک با توجه به نوع کاربرد مورد نظر ارائه می‌شوند.

۲- اجزای اصلی یک یاتاقان مغناطیسی [۱۸]

سیستم‌های مربوط به یاتاقان مغناطیسی بطور استاندارد شامل چهار سیم‌پیچ و هشت قطب[1] است [۱۴]، هرچند که حتی مدل سه قطبی آن نیز ممکن است. شکل (۱) پیکره‌بندی استاندارد این سیستم را نشان می‌دهد.یاتاقانهای محوری[2] که در شکل نشان داده نشده معمولاً روی یک قسمت دیسک شامل روتور عمل می‌کنند.

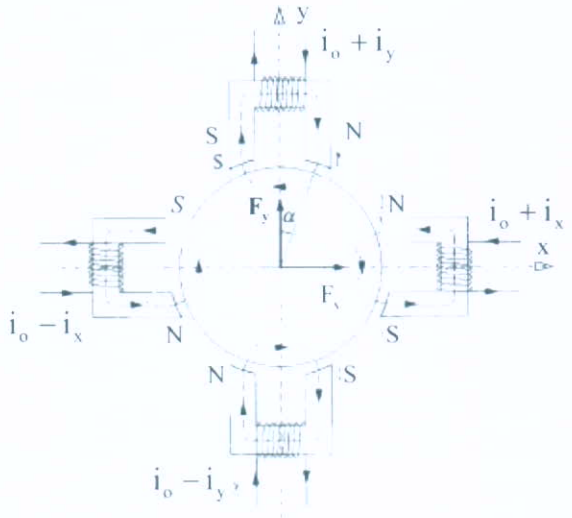
اجزای اصلی شامل سنسورهای هوایی بدون تماس[3] (جریان گردابی[4] یا انواع دیگر)، یک کنترل‌کنندهٔ چندکاناله (در سیستمهای مدرن معمولاً دیجیتالی است)، تقویت کننده‌های قدرت، یاتاقانهای شعاعی و محوری و روتور است. کنترل‌کنندهٔ چندکاناله، شامل دو کانال کنترل برای هر یک از دو یاتاقان شعاعی بمنظور حذف کامل ارتعاش روتور است. در جهت محوری یک سیستم تک‌ورودی-تک خروجی داریم که می‌توان آنرا از سیستم شعاعی دکوپله فرض کرد. پیکره‌بندی سادهٔ این سیستم در یاتاقان شعاعی در شکل (۲) نشان داده شده است. قابل ذکر است که ارتعاشات ناشی از نامیزانی تنها در جهت شعاعی می‌باشند و همانطور که در بخش مدلسازی آورده خواهد شد، از حرکت‌های محوری در کنترل ارتعاش صرفنظر می‌شود.

تقویت‌کننده‌های قدرت دوکاناله و تک‌قطبی[5] جهت درایو هر یک از کویل‌های مخالف بطور جداگانه هستند. سیم‌پیچ‌های تفاضلی با سیم‌پیچ‌های بایاس هر دو کویل جمع می‌شوند. در این حالت درجه آزادی مکانیکی وجود یک منبع جریان ثابت و یک تقویت‌کنندهٔ دوقطبی را لازم می‌دارد.



شکل (۱): اجزای اصلی حلقه کنترل یاتاقان مغناطیسی استاندارد برای یک یاتاقان شعاعی

1- Four winding eight pole
2- Thrust bearing
3- Contact – free gap sensors
4- Eddy Current
5- unipolar



شکل(۲): پیکره‌بندی سادهٔ یک سیستم یاتاقان مغناطیسی برای یاتاقان شعاعی

۳- دینامیک و مدل یک سیستم یاتاقان مغناطیسی

یک سیستم کامل شامل ۵ زوج کویل مغناطیسی است که در ۵ محور نیرو وارد می‌کند [۳]. همانطور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود یک زوج کویل بر روی یاتاقان محوری قرار گرفته و هر دو زوج کویل دیگر بر روی یک یاتاقان شعاعی قرار دارند. بر روی هر یاتاقان شعاعی یک زوج کویل نشان داده شده و زوج دیگر عمود بر صفحه است [۳-۴]. نامیزانی در روتور شامل دو بخش است [۱۹]:

- نامیزانی استاتیک که بصورت حرکت انتقالی در جهات x و y و z نمایش داده می‌شود.
- نامیزانی دینامیک که بصورت حرکت چرخشی در جهات θ و ψ و φ مشخص می‌گردد.

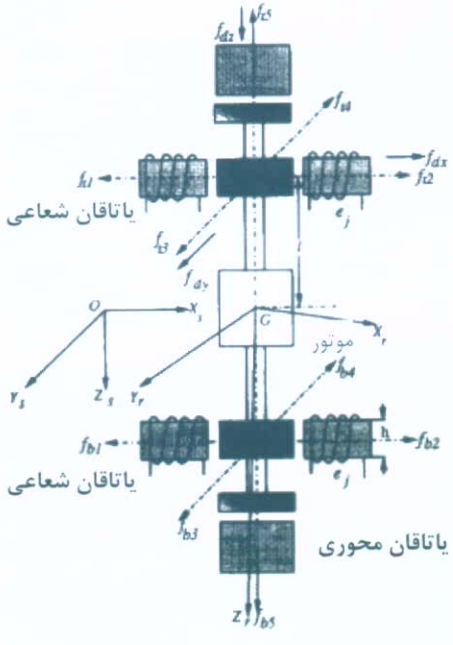
۳-۱- مدل ریاضی یک سیستم یاتاقان مغناطیسی

معادلات ریاضی حاکم بر سیستم شامل سه قسمت هستند [۳]:

الف) معادلات حرکت روتور

ب) معادلات متناظر با تبدیلات نیروهای مغناطیسی

ج) تابع تبدیل تقویت‌کننده



شکل (۳): دیاگرام ساده شده برای یاتاقان مغناطیسی یک شفت عمودی

در اینجا معادلات حرکت روتور و تبدیلات نیروهای مغناطیسی به تفصیل شرح داده می‌شود.

الف) معادلات حرکت روتور

با فرض اینکه روتور یک جسم شناور صلب است، معادلات اساسی حرکت روتور برای پنج درجه آزادی عبارتند از :

$$\left.\begin{aligned}
\ddot{x}_0 &= \frac{1}{m}\left(f_{t2}-f_{t1}+f_{b2}-f_{b1}+f_{dx}\right)\\
\ddot{y}_0 &= \frac{1}{m}\left(f_{t3}-f_{t4}+f_{b3}-f_{b4}+f_{dy}\right)\\
\ddot{z}_0 &= \frac{1}{m}\left(-\beta z_0 - z\gamma\dot{z}_0+f_{b5}-f_{t5}+mg+f_{dz}\right)\\
\ddot{\theta} &= -\frac{\rho J_a}{J_r}\dot{\psi}+\frac{1}{J_r}\left(f_{t1}-f_{t2}-f_{b1}+f_{b2}+f_{d\theta}\right)\\
\ddot{\psi} &= \frac{\rho J_a}{J_r}\dot{\theta}+\frac{1}{J_r}\left(f_{t3}-f_{t4}+f_{b4}-f_{b3}+f_{d\psi}\right)
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

در معادلات فوق m جرم روتور، l نصف طول روتور، J_a ممان اینرسی در جهت محوری، J_r ممان اینرسی در جهت شعاعی، ρ سرعت زاویه‌ای روتور، β ضریب خروج از مرکز محوری، γ ضریب میرایی در جهت محوری و θ و ψ جابجایی زاویه‌ای روتور حول محورهای X و Y هستند. مختصات مرکز جرم روتور نسبت به مختصات ثابت $(Ox_s y_s z_s)$ است.

نیروهای مغناطیسی حاصل از یاتاقانهای شعاعی به روتور عبارتند از f_{t1} و f_{t2} و f_{t3} و f_{t4} و f_{b1}و f_{b2} و f_{b3} و f_{b4} و نیروهای مغناطیسی حاصل از یاتاقانهای محوری به روتور f_{t5} و f_{b5} و نیروهای اغتشاش (ناشی از نامیزانی و ...) f_{dx} و f_{dy} و f_{dz} و $f_{d\theta}$ و $f_{d\psi}$ هستند.

ب) معادلات متناظر با تبدیلات نیروهای مغناطیسی

نیروی الکترومغناطیسی f_j تولیدشده با الکترومگنت jام بر اساس ترم‌های فلوی فاصلهٔ هوایی ϕ_j و طول فاصلهٔ هوایی g_j بیان می‌شود:

$$f_j = K\phi_j^2\left(1+\frac{2g_j}{\pi h}\right) \qquad j = t_1,.....,t_4,b_1,.....,b_4 \quad (2)$$

در صورت بیان معادلات بصورت معادلهٔ (۲) که در آن Kیک مقدار ثابت، h پهنای قطب (مطابق شکل ۳) و t نمایانگر الکترومگنت‌های بالایی و b نمایانگر الکترومگنت‌های پایینی است. معادلات الکتریکی هر الکترومگنت می‌تواند بر حسب ترم‌های ϕ_j و g_j بصورت زیر بیان شود:

$$e_j = N\frac{d\phi_j}{dt}+\frac{2R}{\mu_0 AN}g_i\phi_j \qquad j = t_1,.....,t_4,b_1,.....,b_4 \quad (3)$$

که در آن e_j ولتاژ دو سر کویل الکترومغناطیسیjام، N تعداد دور هر کویل، R مقاومت کویل، A سطح زیر یک قطب الکترومغناطیسی (هر الکترومگنت شامل دو قطب است) و $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\,H/m$ قابلیت نفوذپذیری فضای آزاد است. معادلات حالت خطی‌شده سیستم یاتاقان مغناطیسی، جهت استفاده خوانندگان در پیوست (۱) تشریح شده است. این معادلات بفرم استاندارد به منظور استفاده در طراحی سیستم‌های کنترل مدرن و نیز چند متغیره، ارائه شده‌اند. مقادیر عددی پارامترهای سیستم مورد استفاده در نمونه آزمایشگاهی که در شبیه‌سازی‌های این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند در جدول (۱) تعریف شده‌اند [۳].

جدول (۱): مقادیر عددی پارامترهای سیستم یاتاقان مغناطیسی [۵۱]

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
A	$1531.79\,mm^2$	E_o	$4.38V$
G_o	$0.55\,mm$	h	$40\,mm$
J_a	$0.0136\,kg.m^2$	J_r	$0.333\,kg.m^2$
k	4.6755576×10^8	l	$0.13\,m$
m	$14.46\,kg$	N	400 turns
R	$14.7\,\Omega$	β	$1066\,N/m$
γ	$0.403\,N.s/m$	Φ_o	$2.09\times10^{-4}\,Wb$

۳-۲- خطاهای مدلسازی در سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی

جهت امکان بررسی پایداری مقاوم کنترل‌کننده‌های طراحی‌شده، ابتدا باید نامعینی‌ها در مدل سیستم را بدست آوریم. این نامعینی‌های ساختاریافته عبارتند از [۲]:

- خطای خطی‌سازی
- نامعینی‌های پارامتریک
- دینامیک‌های مدل‌نشده
- نامعینی حاصل از اثر ژیروسکوپیک[1]

۳-۲-۱- خطای خطی‌سازی

خطای ناشی از خطی‌سازی نیروهای الکترومغناطیسی بعنوان نامعینی در مدل سیستم و بصورت معادله (۴) مدل می‌شود:

$$c_1 = \bar{c}_1(1 + K_\varphi \delta_\varphi), \quad |\delta_\varphi| \le 1$$
$$c_2 = \bar{c}_2(1 + K_g \delta_g), \quad |\delta_g| \le 1 \qquad (۴)$$

$K_\varphi\delta_\varphi$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{c}_1$ مقدار نامی پارامتر c_1 می‌باشند. بهمین ترتیب $K_g\delta_g$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{c}_2$ مقدار نامی‌پارامتر c_2 می‌باشند.

۳-۲-۲- نامعینی‌های پارامتریک

یکی از نیازهای سیستم یاتاقان مغناطیسی در کاربردهای عملی مقاومت پایداری در برابر تغییر جرم روتور در اثر عواملی نظیر تغییر بار آن می‌باشد. این نامعینی بصورت زیر مدل می‌شود:

$$m = \bar{m}(1 + K_m\delta_m), \quad |\delta_m| \le 1 \qquad (۵)$$

$K_m\delta_m$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{m}$ مقدار نامی پارامتر m می‌باشند.

۳-۲-۳- دینامیک‌های مدل‌نشده

همانطور که می‌دانیم مقاومت R و اندوکتانس L الکترومگنت‌ها با فرکانس و فاصله هوایی تغییر می‌کند و علاوه بر آن اندازه‌گیری این پارامترها دشوار و همراه با خطا می‌باشد. این مسأله بصورت نامعینی در پارامترهای d_1, d_2 مدل می‌شود:

$$d_1 = \bar{d}_1(1 + K_{d1}\delta_{d1}), \quad |\delta_{d1}| \le 1$$
$$d_2 = \bar{d}_2(1 + K_{d2}\delta_{d2}), \quad |\delta_{d2}| \le 1 \qquad (۶)$$

$K_{d1}\delta_{d1}$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{d}_1$ مقدار نامی پارامتر d_1 می‌باشند. بهمین ترتیب $K_{d2}\delta_{d2}$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{d}_2$ مقدار نامی‌پارامتر d_2 می‌باشند.

۳-۲-۴- نامعینی حاصل از اثر ژیروسکوپیک

اثر ژیروسکوپیک که یک کوپل دینامیکی از حرکات افقی و قائم روتورهای دوار می‌باشد، بعنوان یکی از جدی‌ترین مشکلات در یاتاقان‌های مغناطیسی بحساب می‌آید. در اینجا هدف گارانتی پایداری و کارایی در برابر تغییرات سرعت چرخش است که می‌تواند بصورت رابطه (۷) بیان شود:

$$p = \bar{p}(1 + K_p\delta_p), \quad |\delta_p| \le 1 \qquad (۷)$$

$K_p\delta_p$ بیانگر نامعینی ضربی و $\bar{p}$ مقدار نامی پارامتر p می‌باشند.

۳-۲-۵- مقداردهی نامعینی‌های مدل‌شده

معمولاً فرض می‌شود که مقادیر انحراف در تمام پارامترهای نامی‌مشخص شده در بخش‌های (۳-۲-۱) تا (۳-۲-۴) به اندازه ۱۵٪ هستند [۲]. بعبارت دیگر داریم:

$$K_\varphi, K_g, K_m, K_{d1}, K_{d2}, K_p = ۰/۱۵$$

۴- روش‌های کنترلی مرسوم در سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی

مشخصاتی از سیستم‌های AMB که از دید طراح کنترل‌کننده حائز اهمیت است عبارتند از :

الف) سیستم حلقه باز بشدت ناپایدار است و بنابراین سیگنال کنترلی سریعی نیاز است.

ب) پهنای باند کنترل‌کننده در حد چند کیلو هرتز است و توان بالایی در این محدوده (dc تا KHz) نیاز است.

ج) چهار کانال کنترلی شعاعی باید از یکدیگر دکوپله شوند که این مساله در برخی موارد ممکن نیست.

باتوجه به ناپایدار بودن حلقهٔ باز معمولاً نیاز به یک کنترل پیش‌فاز است که بدلیل نیاز به میراساز فعال تا حدود چند کیلو هرتز، پهنای باند کنترل‌کننده نیز بایستی در حدود چند کیلو هرتز باشد. اگر تأخیر زمانی جبرانساز بعلاوهٔ زمان تبدیل A/D و D/A از چند میکروثانیه تجاوز کند، در بسیاری از کاربردها سیستم ناپایدار می‌شود. در حال حاضر برای حل این مشکل راه‌حل‌های متنوعی وجود دارد. از جمله آنها استفاده از سیستم‌های چندپردازنده[2] و نیز نمونه‌برداری همزمان از تمام کانالها جهت کاهش زمان تبدیل، می‌باشد.

همچنین نکتهٔ دیگر این است که از سرعت ۱۵۰۰۰ rpm به بالا، دیگر مدل روتور صلب مناسب نیست و در طراحی کنترل‌کننده و مدلسازی سیستم باید مودهای خمش اول و دوم را نیز بحساب آورد و باید توجه کرد که محرک‌ها (یاتاقانها) نباید در محل گره‌ها[3] قرار گیرند، زیرا در این محل هیچ ارتعاشی وجود ندارد و مود ارتعاشی تحریک نمی‌شود.

1- Gyroscopic Effect
2- multi processor
3- nodes

بطورکلی کنترل‌کننده‌های مرسوم در AMBها به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- کنترل‌کننده‌های کلاسیک صنعتی (PID)

۲- جبرانساز فیدفوروارد تطبیقی (AFFC[1])

۳- سیستم‌های کنترل مدرن فیدبک

۴-۱- کنترل‌کننده‌های کلاسیک صنعتی(PID)[۶]

با توجه به اینکه معمولاً یک مدل خطی دقیق از یاتاقانهای مغناطیسی در دست است حدود ۹۰ در صد کنترل‌کننده‌های صنعتی در این سیستم‌ها، از نوع PID هستند. بدلیل نوع کاربردها ونتیجهٔ مناسب PID تاکنون فشار زیادی برای جایگزینی کنترل‌کننده‌های غیرخطی وجود نداشته است و لیکن تحقیقات بیشتری بر روی منافع ناشی از طرح‌های کنترل‌کننده‌های غیرخطی در این سیستم‌ها لازم است. در خصوص نوع مناسب سیستم کنترل کلاسیک نکات زیر قابل توجه است:

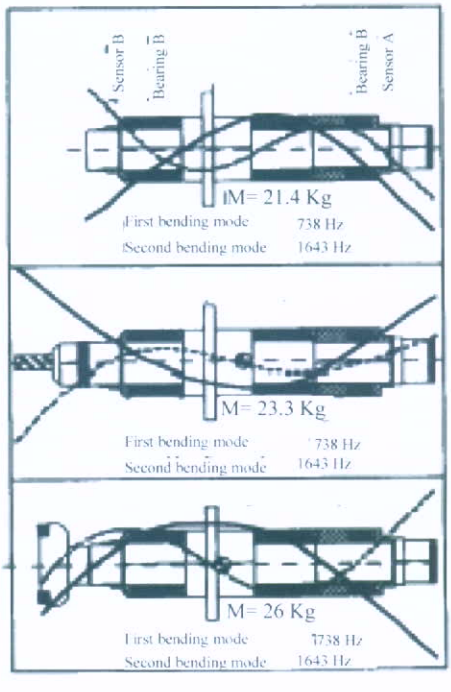
الف) کنترل‌کننده‌ای که معمولاً در این سیستم‌ها مناسب هستند PD می‌باشند زیرا ضریب P بعنوان تنظیم‌کنندهٔ ضریب سختی مدل دینامیکی حلقه بسته و ضریب D بعنوان تنظیم‌کنندهٔ ضریب میرایی آن، لازم می‌باشد. [۱۴]

ب) در مواقعی که نیاز به افزایش مؤثر سختی مدل در مقابله با تغییرات بار استاتیکی روتور می‌باشد از PID استفاده می‌کنند.

مودهای جسم صلب (ریشه‌های معادلات حرکت جسم) که در فرکانس‌های پایین هستند، جابجایی هر نقطه معرف جابجایی کلیهٔ نقاط روتور است ولی مودهای خمشی اول و دوم دلالت بر جابجایی متناوب در طول روتور دارند. محل مناسب سنسور و محرک در سطح روتور در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده، گرهٔ مود خمشی دوم در محل یاتاقان A قرار دارد و در نتیجه کنترل‌پذیری در این محل می‌نیمم است. در این محل بر خلاف کنترل‌پذیری، رؤیت‌پذیری مود خمش دوم در بهترین شرایط است و با توجه به نسبت عکس رویت‌پذیری و کنترل‌پذیری باید بین سنسور A و یاتاقان B یک فیدبک کوپلینگ برقرار کنیم.

" هدف از طراحی روتور رسیدن به کنترل‌پذیری و رؤیت‌پذیری برای مودهایی است که باید کنترل شوند و کنترل‌پذیری و رؤیت‌پذیری کمتر در مودهایی که بالاتر از پهنای باند کنترل کننده قرار دارند"

نکته: پارامترهای مودال، پارامترهای ضریب میرایی (J) و فرکانس طبیعی (ω_n) یک سیستم روتوری، پارامترهای Global هستند و با اندازه‌گیری ارتعاش در هر نقطه می‌توان آنها را اندازه گرفت، ولی شکل مودال[2] یک مشخصهٔ محلی[3] هستند و بنابراین با اندازه‌گیری ارتعاش در نقاط مختلف در طول روتور قابل اندازه‌گیری هستند.



شکل (۴): دو مود اول خمشی روتور برای پیکره‌بندی‌های مختلف

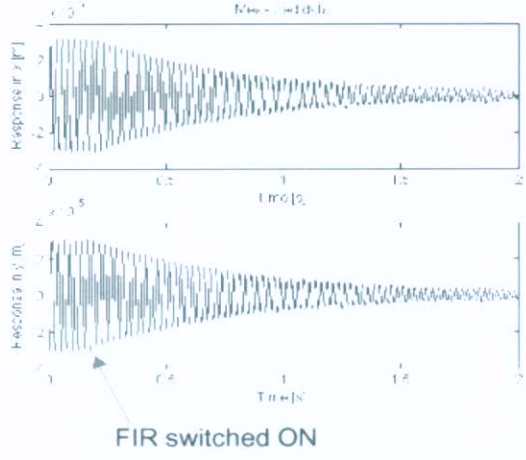
1- Adaptive Feed-Forward Compensator
2- Modal Shape
3- Local

۲-۴- جبران‌ساز فیدفوروارد تطبیقی (AFFC)

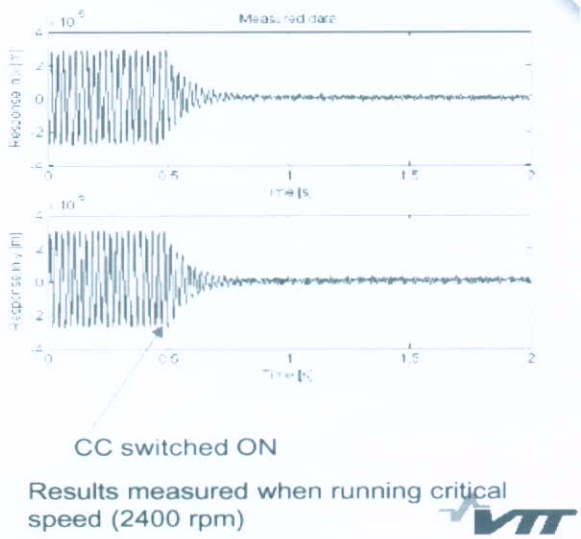
در این جبرانسازها، ارتعاش نامطلوب ناشی از نامیزانی بصورت یک اغتشاش خارجی یا نویز اندازه‌گیری مدل می‌شود. روش‌های AFFC مبتنی بر حذف این سیگنالهای ارتعاشی به کمک تولید یک سیگنال مرجع سنکرون با سرعت چرخش روتور بصورت فیدفوروارد در داخل حلقه کنترل هستند. مثالهایی از این سیستم‌ها، طراحی رؤیتگر بر پایهٔ مدل[1] طراحی فیلتر notch و بهینه‌سازی کمترین مربعات می‌باشند. این روش‌ها وابسته به فرکانس هستند، زیرا مولد سیگنال مرجع سنکرون پارامترهایی دارد که تابع نرخ چرخش روتور بوده و بنابراین به تطبیق پیوسته با تغییرات نرخ چرخش نیازمندند. باتوجه به اینکه از لحاظ فیزیکی، نامیزانی روتور مستقل از نرخ چرخش است (مخصوصاً در روتورهای صلب) این وابستگی فرکانسی از نحوهٔ مدلسازی، منتج می‌شود. برای غلبه بر آن از جداول جستجو[2]، تطبیق بازگشتی[3] یا طرح‌های ردیابی فرکانسی استفاده می‌کنند.

شکل اساسی این روش‌ها از همین نکته نشات می‌گیرد، چرا که با تغییرات سریع در نرخ چرخش یا زمان عبور از سرعت بحرانی روتور، کارایی این روش‌ها بطورکلی نامناسب است.

در شکل‌های (۵) و (۶) بترتیب پاسخ ارتعاشی یک روتور با مشخصات Φ10mm×560mm و 10000 rpm -270 با کنترل‌کننده‌های فیلتر تطبیقی (FIR) و الگوریتم تطبیقی cc نشان داده شده است، که بوضوح روش الگوریتم cc از سرعت بالاتری نسبت به الگوریتم فیلتر تطبیقی X_LMS برخوردار است.



شکل (۵): نتایج اندازه‌گیری ارتعاش در سرعت بحرانی (**2400rpm**)-روش فیلتر تطبیقی



شکل (۶): نتایج اندازه‌گیری ارتعاش در سرعت بحرانی(**2400rpm**)-روش الگوریتم تطبیقی **cc**

1- Model-Based Observer Design
2- Lookup Table
3- Recursive Adaptation

۴-۳- سیستم‌های کنترل مدرن فیدبک

این دسته از روش‌ها شامل دو نوع اصلی هستند:

دستهٔ اول آنهایی هستند که مدل نامیزانی در آنها نامعین فرض شده و برای غلبه بر این مشکل و نیز تغییر سرعت چرخش و نتیجتاً دینامیک سیستم، نیاز به روش‌هایی است که بر پایهٔ تثبیت پایداری و کارایی مقاوم کنترل‌کننده در مقابل این نامعینی‌ها، طراحی می‌شوند. نمونهٔ این روش‌ها عبارتند از: H_∞، Q–Parametrization، شکل‌دهی حلقه و کنترل کننده مود لغزشی.

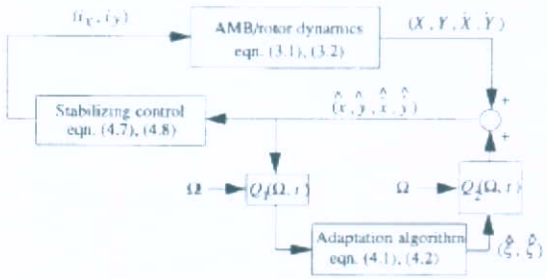
دستهٔ دوم آنهایی هستند که مدل نامیزانی شناخته شده است و نتیجتاً برای بروز کردن این مدل با توجه به اندازه‌گیری ارتعاش روتور از الگوریتم‌های تطبیقی بر اساس شناسایی on-line مشخصه‌های فیزیکی پارامترهای نامیزانی استفاده می‌شود. این روش‌ها معمولاً کنترل مرکزیت بخشیدن اتوماتیک تطبیقی[1] نامیده می‌شوند.

در روش $H\infty$ مشکل موجود، مرتبهٔ بالای این کنترل‌کننده‌هاست که منجر به افزایش فعالیت کنترلی و انرژی مصرفی کنترل‌کننده می‌شود. در روش Q–Parametrization امکان جستجوی کنترل‌کننده بهینه، تحت معیارهای مرتبط با کاربرد سیستم را، بطرز متنوعی می‌دهد.

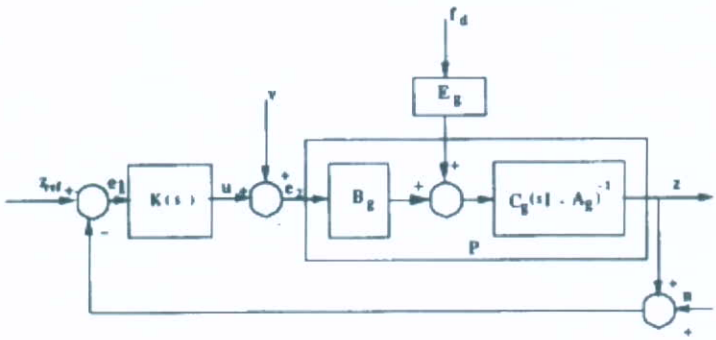
یکی از تفاوت‌های بارز بین این دو دسته کنترل‌کننده (مقاوم و تطبیقی) در پاسخ آنها به تغییرات نامعینی‌های مدل سیستم است. بطورکلی در روش‌های تطبیقی، فرض بر این است که تغییرات نامعینی منحصر به تغییرات پارامتریک آهسته و مداوم است. در نتیجه این روش در مقابله با اغتشاشات ناگهانی ناشناخته و یا دینامیک‌های مدل‌نشدهٔ فرکانس بالا، بازدهی مناسبی ندارند. در عوض در الگوریتم‌های مقاوم، در صورت مشخص بودن محدودهٔ نامعینی و ترجیحاً ساختار آن می‌توان انتظار بازدهی مناسبی را در مقابل این نوع نامعینی‌ها داشت. هر چند اشکال آنها لزوم تعیین محدودهٔ نامعینی‌ها در ابتدای طراحی می‌باشد. شکل (۷) بلوک دیاگرام یک کنترل‌کننده نوع AACC را نشان می‌دهد و در شکل (۸) نیز بلوک دیاگرام یک کنترل‌کننده Q–Parametrization نشان داده شده است.

۴-۴- روش‌های حل مشکل ارتعاشات ناشی از نامیزانی در ماشین‌های دوار [۳]

دو روش برای حل این مشکل در AMBها وجود دارد: روش اول معمولاً تحت عنوان جبرانسازی نامیزانی[2] می‌باشد و در آن نامیزانی بصورت یک نیروی اغتشاش سینوسی در محل یاتاقانها مدل می‌شود و با اعمال نیروی الکترومغناطیسی به سطح یاتاقانها، این اغتشاشات سینوسی حذف می‌شوند [۳].



شکل (۷): بلوک دیاگرام حلقهٔ بستهٔ AACC



شکل (۸): بلوک دیاگرام سیستم حلقهٔ بستهٔ کنترل Q – Parametrization

1- Adaptive Auto Centering Control (AACC)
2- Imbalanced Compensation

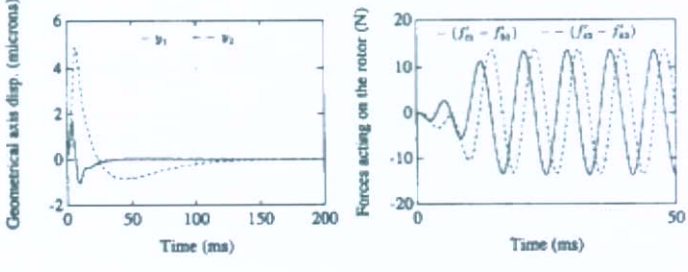
روش دوم که تحت عنوان میزانسازی اتوماتیک[1] نامیده می‌شود، مبتنی بر انتقال محور روتور و تطبیق محور چرخش آن بر محور اینرسال است. در این حالت هیچ نیرویی ناشی از نامیزانی ایجاد نخواهد شد. نامیزانی در این روش بصورت نویز سینوسی اندازه‌گیری مدل شده و با طراحی کنترل‌کنندهٔ مناسب، این نویز حذف می‌شود. جهت تشریح بهتر، شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان‌دهندهٔ تفاوت این دو روش است.

۵- نمونه‌هایی از کاربردهای صنعتی یاتاقان‌های مغناطیسی

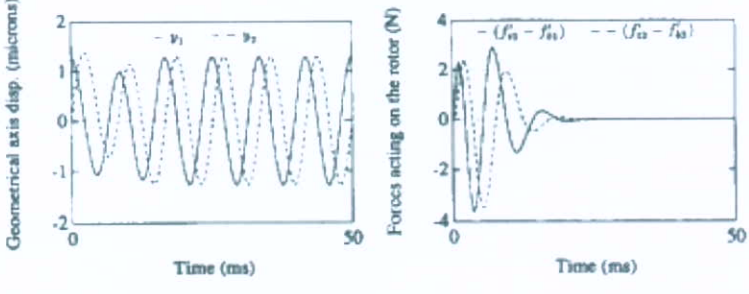
بطور کلی کاربردهای صنعتی یاتاقانهای مغناطیسی تاکنون به روتورهای با جرم کمتر از ۱۵۰۰ کیلوگرم محدود بوده است. با اینحال در این محدوده نیز بسیاری از سازندگان معتبر توربین‌ها و یاتاقان‌ها محصولات متنوعی از این نوع یاتاقانها را به بازار عرضه می‌کنند. مثالهایی از این کاربردها در ذیل اشاره می‌شود. برای جزئیات بیشتر توصیه می‌شود به مقاله اول منتشر شده در سه شماره پیش این مجله، مراجعه شود. امروزه سیستم‌های کنترل کوچک مناسب در کنترل یک پمپ توربومولکولار در اندازه یک جعبه کفش و با توان مصرفی ۲۵ وات تا سیستم‌های کنترل بزرگتر ۱۰کیلوواتی برای یاتاقان‌های بکاررفته در توربوماشین‌ها نظیر کمپرسورهای گریز از مرکز[2]، پمپ‌ها و توربین‌ها با رک‌های الکترونیکی صنعتی ساخته می‌شوند. محدوده وزن روتورهای معلق مجهز به یاتاقان مغناطیسی از کمتر از ۱ کیلوگرم تا بیش از ۱۵۰۰ کیلوگرم می‌باشد. یکی از کاربردهای عمده این سیستم در صنایع، ژنراتورهای توزیع شده[3] می‌باشد. این صنایع شامل ژنراتورهای الکتریکی که نسبت به سیستم‌های سرعت پایین با توان خروجی یکسان ۵۰ تا ۶۰ درصد کوچکتر می‌باشند، و تا ۲ مگاوات توان الکتریکی تولید می‌کنند، می‌شوند. این سیستم‌ها دارای پتانسیل وسیعی در کاربردهای صنعتی و تجاری نظیر کارخانجات و مراکز تولیدی، بیمارستان‌ها، مراکز تفریحی و مراکز اکتشاف نفت دور از ساحل دریا، فروشگاه‌ها و غیره دارند و بزودی استفاده از این میکرو و مینی توربین‌ها بدلیل قابلیت رقابت بالای آن‌ها از نظر صرفه اقتصادی و نیز انعطاف‌پذیری بیشتر برای مصرف‌کنندگان در مقایسه با شبکه‌های تولید الکتریسیته مرکزی بسرعت توسعه خواهد یافت.

کاربرد دیگر سیستم‌های کنترل فعال ارتعاش در ماشین‌های دوار مربوط به توربین‌های بادی است که با توجه به افزایش سریع توان خروجی این توربین‌ها بهمراه کاهش قابل ملاحظه قیمت آنها در سال‌های اخیر، رشد چشمگیری در بازار این توربین‌ها بوجود آمده است.

کاربرد دیگر این یاتاقانها در توربین‌های انبساطی و توربوکمپرسورها می‌باشد. بعنوان نمونه شرکت اطلس‌کوپکو بعنوان یکی از سازندگان شناخته‌شده این نوع توربین‌ها، از این یاتاقانها در کنترل ارتعاش توربین‌های مذکور بهره می‌گیرد.



شکل (۹): روش جبرانسازی نامیزانی با اعمال نیروی متضاد ـ با هدف صفر کردن جابجایی محور هندسی روتور



شکل(۱۰): روش بالانسینگ اتوماتیک با تطبیق محور چرخش و اینرسال ـ با هدف صفر کردن نیروی منتقل شدهٔ نامیزانی

1- Automatic Balancing
2- Centrifugal
3- Distributed Generator

۶-نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله روش‌های بالانسینگ فعال و کنترل ارتعاش ماشین‌های دوار با استفاده از تعلیق مغناطیسی در محل یاتاقانها بررسی شدند که نتایج حاصل بشرح ذیل است:

- در بسیاری از کاربردهای صنعتی یاتاقان‌های مغناطیسی، سیستمهای کنترل PD و PID بکار گرفته می‌شوند، اما در اکثر پیکره‌بندیهای AMBها، کارایی این کنترل‌کننده‌ها در نتیجه توانایی پایین آنها در شکل‌دهی بهره حلقه و کمبود ذاتی آنها در هماهنگی بین یاتاقان‌ها بعلاوهٔ نامعینی‌های مدل و تغییر پارامترهای سیستم، محدود است. جهت غلبه بر این مشکل، الگوریتم‌های مرسوم در طراحی سیستم‌های کنترل یاتاقان‌های مغناطیسی فعال بررسی شدند.
- به منظور کنترل ارتعاش روتور، از جبرانسازهای فیدفوروارد تطبیقی استفاده شده که نتایج از کارایی مناسب آنها حکایت دارد.
- به منظور بالانسینگ روتور، روش Q-Parameterization استفاده شده که نتایج حاصل، بیانگر پایداری مقاوم سیستم است.
- بطور کلی با توجه به شبیه‌سازیهای صورت گرفته در مقالات، کنترل‌کننده لغزشی بهترین انتخاب در محرک‌های با محدوده کار بزرگ می‌باشند. بهترین انتخاب برای بالانسینگ فعال روتور، کنترل‌کننده H_∞ می‌باشد، چرا که با تنظیم توابع وزنی در هر مورد، سیستم متناسب با نوع کاربرد قابل طراحی می‌باشد.

پیشنهادات در خصوص تحقیقات مورد نیاز آینده بشرح زیر می‌باشند:

۱- استفاده از روش‌های سیستماتیک در تنظیم توابع وزنی: انتخاب توابع وزنی تأثیر بسزایی در کارایی کنترل‌کننده‌های H_∞ در سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی دارد، بطوریکه با توجه به نوع کاربرد یاتاقان در تنظیم موقعیت روتور، جبرانسازی نامیزانی و یا بالانسینگ اتوماتیک توابع وزنی متفاوتی مورد استفاده قرار گرفت. پیشنهادی که در این بخش قابل ارائه است، تنظیم سیستماتیک و بهینه این توابع در جهت دستیابی به کارایی مناسب در محدوده کار محرک‌ها می‌باشد. بعنوان مثال با انتخاب توابع وزنی و ماتریس D مطابق با نامعینی‌های ساختار یافته تعریف شده، کنترل‌کننده مناسب‌تری از نظر کارایی سیستم قابل دستیابی خواهد بود.

۲- تنظیم ماتریس وزنی محدود کننده تلاش/ انرژی کنترل یا پهنای باند کنترل:

در طراحی کنترل‌کننده H_∞ از ماتریس وزنی W_2 در تابع هزینه $\sup_{\omega} \|u\|_2 = \|W_2 KS\|_\infty$ جهت بهینه کردن تلاش کنترلی و پهنای باند کنترل‌کننده مورد نظر چشم‌پوشی شد. با افزودن و تنظیم مناسب این کنترل‌کننده می‌توان انرژی مصرفی سیستم را کاهش داد.

۳- استفاده از استراتژی‌های بدون مدل[1] در طراحی کنترل‌کننده یاتاقان‌های مغناطیسی فعال:

سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی بطور ذاتی ناپایدار هستند و روابط بین فاصله هوایی، جریان الکتریکی و نیروی مغناطیسی در آن‌ها بشدت غیرخطی هستند و بنابراین دستیابی به یک مدل ریاضی دقیق امکان‌پذیر نمی‌باشد. بهمین دلیل استفاده از استراتژی‌های کنترل بی‌نیاز از مدل نظیر کنترل فازی توصیه می‌شود.

۴- منظور کردن محدودیت‌های نیرو در مدل سیستم یاتاقان مغناطیسی و آنالیز پایداری سیستم حلقه بسته:

محدودیت اشباع مغناطیسی مواد فرومگنتیک بکاررفته در الکترومگنت‌های یاتاقان‌های مغناطیسی از عوامل محدودکننده نیروی ماکزیمم قابل اعمال به یاتاقان می‌باشد. همچنین شیب تغییرات نیرو در یاتاقان‌ها نیز محدود می‌باشد. هر دو محدودیت در یاتاقان‌های مغناطیسی قابل محاسبه می‌باشند و در مراجع متعدد به آن‌ها اشاره شده است. یکی از عوارض وجود این محدودیت‌ها، امکان بروز سیکل حدی[2] می‌باشد. بنابراین آنالیز سیستم حلقه بسته حاصل از بکارگیری کنترل‌کننده طراحی شده با استفاده از روش‌های مرسوم نظیر تابع توصیفی[3]، در این یاتاقان‌ها ضروری می‌باشد. این آنالیز از طرفی محدودیت‌های کنترل‌کننده‌های خطی را تعیین کرده و از سوی دیگر می‌تواند بعنوان یک راهنما در طراحی کنترل‌کننده استفاده گردد تا از بروز ناپایداری و نوسانات ناخواسته جلوگیری گردد. شایان ذکر است که در صورت عدم جوابگویی کنترل‌کننده می‌توان بر اساس این تحلیل یک سیستم آلارم و تریپ را در مواقع اضطراری پیش‌بینی کرد و یا از یک یاتاقان پشتیبان[4] استفاده کرد.

۵- بررسی روش‌های شناسایی و کنترل تطبیقی در سیستم یاتاقان مغناطیسی:

در صورت لزوم حذف یا کاهش ارتعاشات غیرسنکرون و یا عدم جوابگویی روش‌های مقاوم در سیستم یاتاقان مغناطیسی، لزوم استفاده از الگوریتم‌های تطبیقی و شناسایی و مدلسازی اغتشاشات وجود خواهد داشت. بنابراین بررسی الگوریتم‌های شناسایی و تطبیقی در این سیستم‌ها توصیه می‌شود.

1- Model-free
2- Limit-cycle
3- Describing Function
4- Back-up

۶- تعین مکان مناسب AMBها به منظور حل مشکلات ارتعاشی زیرسنکرون[1]: در روتورهای با سرعت چرخش بالا که اصطلاحاً روتور منعطف نامیده می‌شوند، تعیین مکان AMBها بر اساس شکل مود[2] نقش حیاتی را در کارایی این یاتاقان‌ها ایفا می‌کند. در خصوص تأثیر این مسأله بر روی حل مشکل ارتعاشات زیرسنکرون تحقیقات بسیار کمی صورت گرفته است.

۷- طراحی رؤیتگر غیرخطی برای سیستم کنترل لغزشی: از آنجا که اندازه‌گیری کلیه متغیرهای حالت یک سیستم یاتاقان مغناطیسی از لحاظ عملی نیازمند صرف هزینه‌های بسیار و در مواقعی امکان‌پذیر نمی‌باشد، استفاده از یک رؤیتگر غیرخطی در ترکیب با سیستم یاتاقان مغناطیسی توصیه می‌شود.

۸- مدل‌سازی روتورهای شتابدار مجهز به یاتاقان‌های مغناطیسی و میزان‌سازی فعال آن‌ها:

در برخی از کاربردها، به منظور صرفه‌جویی زمانی و دستیابی به کارایی بهتر لازم است که در شرایط شتاب‌گیری ماشین نیز روش‌های بالانسینگ توسعه داده شوند.

بعنوان مثال، در ماشین‌های برش سرعت بالا، با بکارگیری یک طرح بالانسینگ فعال در حین شتاب‌گیری، می‌توان زمان سیکل برش را کاهش داد. از سوی دیگر ماکزیمم شدت ارتعاشات ماشین در حین عبور آن از سرعت بحرانیش بوقوع می‌پیوندد. برای غلبه بر این مشکل استفاده از بالانسینگ فعال در حین شتاب‌گیری ماشین نیاز می‌باشد.

مراجع

1- Nathan S.Gibson, Heeju Choi and Gregory D.Buckner, "H_∞ control of active magnetic bearings using artificial neural network identification of uncertainty", Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 2, 2003, pp.1449-1456.

2- Toru Namerikawa and Masayuki Fujita, "Uncertain model and μ-synthesis of a magnetic bearing", Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications, Vol. 1, 1999, pp. 558-563 .

3- Abdelfatah M.Mohamed and Ilene Busch-Vishniac, "Imbalance compensation and automation balancing in magnetic bearing systems using the Q-Parameterization theory", IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 3, No. 2, June 1995, PP. 202-211.

4- Abdelfatah M. Mohamed, Fumio Matsumura, Toru Namerikawa and Jun- Ho Lee, "Modeling and robust control of self-sensing magnetic bearings with unbalance compensation", Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications, 1997, pp.586-594.

5- Guagzhong Cao, Suxiang Fan and Gang Xu, "The characteristics analysis of magnetic bearing based on H-infinity controller", Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, Vol. 1, June 2004, pp.752-756.

6- Roger L. Fittro and Carl R. Knospe, "Rotor compliance minimization via μ-control of magnetic bearings", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.10, 2002, pp. 238-249.

7- Shiyu Zhou And Jianjun Shi, "Active balancing and vibration control of rotating machinary : a survey ", The Shock And Vibration Digest, Vol. 33 , No. 4 , July 2001, pp. 361-371.

8- Kai-Yew Lum, Vincent T. Coppola and Dennis S. Bernstein, "Adaptive auto centering control for an active magnetic bearing supporting a rotor with unknown mass imbalance", IEEE Transaction on System Technology, Vol. 4, Sep. 1996, pp. 587-597.

9- Kai-Yew Lum and et al., "Adaptive virtual autobalancing for a rigid rotor with unknown mass imbalance supporting by magnetic bearing", Vibration Acoust., Vol. 120, 1998, pp.557-570.

10- Mingsian R. Bai and Kwen-Yieng Ou, "Experimental evaluation of adaptive predictive control for rotor vibration suppression", IEEE Transaction on Control Systems Tech., Vol. 10, No.6 , Nov. 2002, pp. 895-901.

11- K.K. Shin and J.Ni, "Adaptive control of active balancing systems for speed-varying rotors using feedforward gain adaptation technique", ASME J. Dynamic Systems, Meas., and Control, Vol. 123, Sep. 2001, pp. 346-352.

12- Sung-Kyung Hong and Reza Langari, "Robust fuzzy control of a magnetic bearing system subject to harmonic disturbances", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.8, No.2, March 2000, pp.366-371.

1- Sub synchronous
2- Mode shape

13- Shi-Jing Huang and Lih-Chang Lin, "Fuzzy dynamic output feedback control with adaptive rotor imbalance compensation for magnetic bearing systems", IEEE Transaction on Systems, MAN and Cybernetics- Vol. 34, No. 4, Aug. 2004, pp. 1854-1864.
14- Hannes Bleuler, Member, IEEE, Coni Gahler, Raoul Herzog, Member, IEEE, and Shao-ju Woo, "Application of digital signal Processors for Industrial Magnetic Bearings", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 2, 1994, pp. 280-289.
15- Conventional Bearings Technology, SKF Company Website, www.SKFmagneticbearings.com
16- T.Kubota and K.Youcef-Toumi, "Limitation of linear controllers for the precision magnetic bearing with uncertainties", Proceedings of American Control Conference, June 1998, pp. 2224-2228.
17- R.Herzog, P.Buhler, C.Gahler and R.Larsonneur, "Unbalance compensation using generalized notch filters in multivariable feedback of magnetic bearings", IEEE Transaction Control Systems Technology, Vol. 4, Sep. 1996, pp. 580-586.
18- A.E.Rundell, S.Drakunov and R.A.DeCarlo, "Rotational motion stabilization for a vertical shaft magnetic bearing with a sliding mode controller and observer ", Proceeding of the 1996 IEEE International Conference on Control Applications, 1996, pp. 662-667.
19- Andrew J. Winzenz, Product Manager, Lord/BalaDyne Corporation, "Active balancing developments for power generation", Power Plant: Operation Maintenance and Materials Issues, Vol. 1, Aug. 2002, pp. 1-8.

آقای رامتین نظام‌آبادی دارای مدرک کارشناسی برق- کنترل از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و کارشناسی ارشد برق- کنترل از دانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. ایشان دارای ۸ سال سابقه کار در شرکت قدس‌نیرو است. زمینه علاقمندی آقای رامتین نظام‌آبادی کنترل غیرخطی و مقاوم و طراحی سیستم‌های کنترل و ابزاردقیق صنعتی می‌باشد.

Email:
Ramtin.nezamabadi@gmail.com

پیوست: معادلات حالت یک سیستم یاتاقان مغناطیسی

در این پیوست معادلات حالت خطی یک سیستم یاتاقان مغناطیسی محاسبه خواهد شد. برای این منظور در ابتدا به تشریح مراحل خطی‌سازی معادلات بدست آمده در بخش (۳-۱) می‌پردازیم.

در صورتیکه F_0 و Φ_0 و G_0 و E_0 بترتیب مقادیر نامی‌نیرو، فلوی فاصلهٔ هوایی، طول فاصلهٔ هوایی و ولتاژ الکترومگنت باشند و f'_j و ϕ'_j و g'_j و e'_j انحراف این مقادیر از مقادیر نامی‌اشان باشند، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} &f_j = F_0 + f'_j \quad , \phi_j = \Phi_0 + \phi'_j \quad , g_j = G_0 + g'_j \quad , \\ &e_j = E_0 + e'_j \qquad\qquad j = t_1,.....,t_4,b_1,.....,b_4 \end{aligned} \tag{۸}$$

که با توجه به روابط (۳) و (۸) داریم:

$$N\frac{d\varphi_j}{dt} + \frac{2R}{\mu_0 AN} g_j \varphi_j = e_j \Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned} &N\frac{d\varphi'_j}{dt} + \frac{2R}{\mu_0 AN} g'_j\varphi'_j + \frac{2R\Phi_0}{\mu_0 AN} g'_j + \frac{2RG_0}{\mu_0 AN}\varphi'_j + \frac{2R\Phi_0 G_0}{\mu_0 AN} = e'_j + E_0, \\ &\frac{2R\Phi_0 G_0}{\mu_0 AN} = E_0, \\ &\frac{2R}{\mu_0 AN} g'_j\varphi' \approx 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \tag{۹}$$

$$\frac{d\varphi'_j}{dt} = \frac{1}{N}\left(e'_j - d_1\phi'_j - d_2 g'_j\right)$$

$$d_1 = \frac{2RG_0}{\mu_0 AN}, \quad d_2 = \frac{2R\Phi_0}{\mu_0 AN}$$

و با توجه به روابط (۲) و (۸) داریم:

$$f_j = F_0 + f'_j \Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned} &K\Phi_0^2 + \frac{2KG_0\Phi_0^2}{\pi h} + \frac{2K\Phi_0^2}{\pi h} g'_j + K\left(1 + \frac{(2G_0 + g'_j)}{\pi h}\right)\varphi'^2_j + \\ &2K\Phi_0\left(1 + \frac{2G_0}{\pi h}\right)\varphi'_j + \frac{4K\Phi_0}{\pi h}\varphi'_j g'_j = F_0 + f'_j, \\ &K\Phi_0^2 + \frac{2KG_0\Phi_0^2}{\pi h} = F_0, \\ &K\left(1 + \frac{(2G_0 + g'_j)}{\pi h}\right)\varphi'^2_j, \frac{4K\Phi_0}{\pi h}\varphi'_j g' \approx 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \tag{۱۰}$$

$$f'_j = c_1\varphi'_j + c_2 g'_j$$

$$c_1 = 2K\Phi_0\left(1 + \frac{2G_0}{\pi h}\right), c_2 = \frac{2K\Phi_0^2}{\pi h}$$

که انحرافات بردار g می‌تواند بر اساس ترم‌هایی از x_0 و y_0 و θ و ψ و l بیان شود:

$$g = \begin{pmatrix} g'_{t1} \\ g'_{b1} \\ g'_{t3} \\ g'_{b3} \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} g'_{t2} \\ g'_{b2} \\ g'_{t4} \\ g'_{b4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_0 - l\theta) \\ (x_0 + l\theta) \\ (-y_0 - l\psi) \\ (-y_0 + l\psi) \end{pmatrix} \qquad (۱۱)$$

از طرفی ولتاژ کویل‌ها بگونه‌ای کنترل می‌شوند که:

$$\left.\begin{matrix} e'_{t2} = -e'_{t1} & ,e'_{t4} = -e'_{t3} \\ e'_{b2} = -e'_{b2} & ,e'_{b4} = -e'_{b3} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \begin{cases} \phi'_{t2} = -\phi'_{t1} & ,\phi'_{t4} = -\phi'_{t3} \\ \phi_{b2} = -\phi'_{b1} & ,\phi'_{b4} = -\phi'_{b3} \end{cases} \qquad (۱۲)$$

توسعهٔ روابط فوق نشان می‌دهد که سیستم می‌تواند به دو زیرسیستم، یکی برای حرکت انتقالی(X-Y) و یکی برای حرکت چرخشی $(\theta - \psi)$، تقسیم شود. در اکثر موارد بدون از دست دادن کلیت مساله، بررسی یک زیرسیستم به تنهایی، کافی خواهد بود و معمولاً برهم‌کنش[1] آنها قابل صرفنظر است [۳]. معادلات فضای حالت بدست آمده از خطی‌سازی معادلات ریاضی حاکم بر سیستم، در روابط (۱۳) ارائه و متغیرهای فضای حالت مربوطه در جدول (۲) معرفی شده‌اند.

جدول (۲): متغیرهای فضای حالت سیستم یاتاقان مغناطیسی

متغیرهای حالت	$x_0,\ y_0,\ l\theta,\ l\psi,\ \dot{x}_0,\ \dot{y}_0,\ l\dot{\theta},\ l\dot{\psi},\ \varphi'_{t1},\ \varphi'_{b1},\ \varphi'_{t3},\ \varphi'_{b3}$
ورودیهای سیستم	$e'_{t1}\ ,\ e'_{b1}\ ,\ e'_{t3}\ ,\ e'_{b3}$
ورودیهای اغتشاش	$f_x\ ,\ f_y\ ,\ f_\theta\ ,\ f_\varphi$
خروجی‌های سیستم	$x_0\ ,\ y_0\ ,\ l\theta\ ,\ l\psi$

$$\dot{x}_g = A_g.x_g + B_g.(u+v) + E_g.f_d$$
$$y = C_g.x_g$$

$$A_g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-4c_2}{m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-2c_1}{m} & \frac{-2c_1}{m} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-4c_2}{m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{2c_1}{m} & \frac{2c_1}{m} \\ 0 & 0 & \frac{-4c_2}{m_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-pJ_a}{J_r} & \frac{2c_1}{m_1} & \frac{-2c_1}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-4c_2}{m_1} & 0 & 0 & \frac{pJ_a}{J_r} & 0 & 0 & 0 & \frac{2c_1}{m_1} & \frac{-2c_1}{m_1} \\ \frac{-d_2}{N} & 0 & \frac{d_2}{N} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-d_1}{N} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-d_2}{N} & 0 & \frac{-d_2}{N} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-d_1}{N} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{d_2}{N} & 0 & \frac{d_2}{N} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-d_1}{N} & 0 \\ 0 & \frac{d_2}{N} & 0 & \frac{-d_2}{N} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-d_1}{N} \end{bmatrix}, \qquad (۱۳)$$

1- Interaction

$$B_g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{N} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{N} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{N} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{N} \end{bmatrix}, \quad C_g = \begin{bmatrix} I_4 & 0_{4\times 8} \end{bmatrix}, \quad E_g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

در معادلات فوق $v = \begin{bmatrix} v_4 , v_3 , v_2 , v_1 \end{bmatrix}^T$ نویز محرک[1] می‌باشد.

1- Actuator noise

شرکت مهندسی

قدس نیرو

با بیش از ۳۰ سال سابقه درخشان

خدمات مشاوره، مهندسی و طراحی جزئیات، تهیه مشخصات فنی، نظارت عالی، نظارت بر اجرا و راه اندازی پروژه ها و مدیریت اجرایی را در زمینه های ذیل ارائه می نماید:

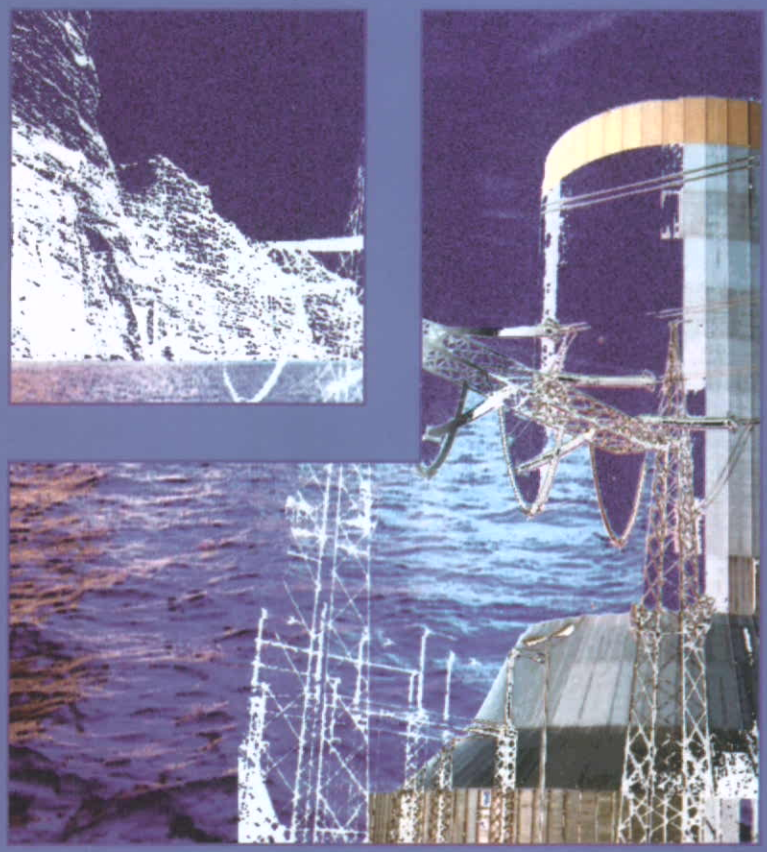
- نیروگاه های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی)
- پست های فشار قوی
- خطوط انتقال نیرو، شبکه های توزیع برق و مطالعات سیستم
- انرژی های سدها و نیروگاه های برق آبی، شبکه های آبیاری و زهکشی
- مطالعات زیست محیطی
- ایستگاه های خطوط انتقال گاز و نفت
- همکاری با کارفرمایان بصورت مدیریت پیمان MC
- اجرا و یا همکاری در پروژه های بزرگ بصورت EPC

GNEC Provides services, details design and engineering, project management and supervisory services in the following fields:

- Thermal power plants (Steam, Gas Turbine & Combined Cycle)
- Substation & Switch yards
- Transmission Lines, Distributon Networks & System studies
- Dams & Hydropower plants, Water Transmission Lines, Irrigation and Drainage Networks.
- Environmental Studies
- Pump - station of Oil and Gas Transmission Lines
- Cooperation with clients in Management Contract "MC"
- Execution or Participation in major "EPC" Contarcts

خیابان استاد مطهری، چهارراه سهروردی
شماره ۹۸، کدپستی: ۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱ - تهران
تلفن: ۸۸۴۰۳۶۱۳ - ۸۸۴۱۶۳۴۴
نمابر: ۸۸۴۱۱۷۰۴
info@ghods-niroo.com
www.ghods-niroo.com

ISO 14001 DNV REGISTERED FIRM
ISO 9001 DNV REGISTERED FIRM
OHSAS 18001 DNV REGISTERED FIRM



تهران ، خیابان استاد مطهری ، چهارراه سهروردی ، شماره ۹۸
کدپستی : ۱۵۶۶۷۷۵۷۱۱
تلفن : ۸۸۴۰۳۶۱۳ - ۸۸۴۳۰۴۵۴
فکس : ۸۸۴۱۱۷۰۴

No. 98, Ostad Motahari Ave.
Tehran 156675711 - IRAN
Tel: 88403613 - 88430454
Fax: 88411704

info@ghods-niroo.com
www.ghods-niroo.com

OHSAS 18001 DNV REGISTERED FIRM
ISO 14001 DNV REGISTERED FIRM
ISO 9001 DNV REGISTERED FIRM

مدیریت ارشد مهندسی صنایع نیروگاهی

مدیریت ارشد مهندسی صنایع نیروگاهی با هدف ارائه خدمات مهندسی متنوع در زمینه صنعت نیروگاه اعم از نیروگاههای گازی، سیکل ترکیبی، بهینه‌سازی انرژی و صنایع پتروشیمی با بهره‌گیری از بالاترین سطح دانش و تکنولوژی روز دنیا پایه‌گذاری شد. درحال حاضر این مدیریت با تکیه بر دانش فنی بیش از ۱۵۰ نفر از متخصصین خود در زمینه‌های برق، ساختمان، مکانیک و شیمی، کنترل و ابزاردقیق، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، کنترل کیفیت و تجارب انجام پروژه‌های موفق، جهت ارائه خدمات در زمینه‌هایی چون طراحی بخشهای مختلف نیروگاهی، تهیه اسناد مناقصه خرید نیروگاه با توجه به منابع تامین مالی پروژه همچون پروژه‌های B.O.T. و B.O.O. و ... ، مطالعات امکان‌سنجی احداث و توسعه نیروگاهها، پروژه‌های بهینه‌سازی و نوسازی نیروگاهها، پروژه‌های تحقیقاتی و تدوین استانداردها، تهیه اسناد و مدارک فنی و قراردادی واگذاری نیروگاهها به بخش خصوصی، پروژه‌های مرتبط با استفاده از منابع مختلف انرژی، کنترل کیفیت و خدمات بازرسی و نظارت فنی بر احداث نیروگاهها، تهیه پیشنهاد جهت انجام پروژه‌های بزرگ، تلاش درجهت انجام پروژه‌های EPC در زمینه احداث نیروگاه و ... توانمند میباشد.

شرکت مهندسی قدس نیرو از سال ۱۳۷۵ برای اولین بار در ایران اقدام به طراحی باسداکت، سازه‌های مربوطه و کلیه قطعات جانبی آن در نیروگاه توسعه کارون یک نموده است و این فعالیت خود را در نیروگاههای کرخه، مسجد سلیمان، کارون ۳، توسعه مسجد سلیمان و کارون ۴ تا کنون ادامه داده‌است. همچنین در راستای رویکرد وزارت نیرو در زمینه بهینه‌سازی انرژی، این مدیریت فعالیت خود را با ارائه خدمات طراحی، مهندسی و نظارت در پروژه‌های توربینهای انبساطی، که برای نخستین بار در کشور اجرا و بهره‌برداری شد، آغاز نموده‌است.