

سیستم های الکتریکی

« فهرست مطالب »

عنوان	صفحه
فصل ۱ - روشهای مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی	۱
۱- ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- شناخت امکانات و محدودیت‌های بار و انرژی الکتریکی	۲
۳-۱- ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور	۴
۲- اصول مدیریت بار	۷
۱-۲- انگیزه‌های مدیریت بار	۹
۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار	۱۰
۳-۲- پارامترهای لازم برای مدیریت بار	۱۲
۳-۲-۱- منحنی بار و توزیع تداوم بار	۱۲
۳-۲-۲- ضریب تقاضا	۱۳
۳-۲-۳- ضریب بار	۱۴
۳-۲-۴- توان اکتیو و توان راکتیو	۱۵
۳-۲-۵- ضریب توان	۱۶
۴-۲- روشهای اندازه‌گیری قدرت و انرژی الکتریکی	۱۹
۵-۲- اصلاح منحنی بار	۲۶

۳ - تعرفه‌های برق و مدیریت تقاضا ۳۱

۳-۱- تعرفه‌های برق در بخش صنعت ۳۱

عنوان

صفحه

۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در دو کارخانه ۳۶

۴- تلفات در سیستم‌های قدرت و راهکارهای کاهش آن ۴۴

۴-۱- انواع تلفات در سیستم قدرت ۴۶

۴-۲- عوامل افزایش تلفات در شبکه ۴۸

۴-۳- اجزاء تلفات الکتریکی ۵۰

۴-۴- محاسبه تلفات انرژی و توان ۵۴

۴-۵- تلفات در پست‌های فشار قوی ۶۵

۴-۶- راهکارهای موجود برای کاهش تلفات ۷۴

۵- کنترل توان راکتیو ۷۶

۵-۱- روش‌های کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ ۷۷

۵-۲- بهبود ضریب توان ۸۷

۵-۳- انواع کمپانزاسیون ۸۹

۵-۴- کمپانزاسیون در کارخانه‌ها ۹۲

۵-۵- تعیین قدرت خازن مورد نیاز ۹۳

۶- موتورهای القایی (اندوکسیونی) سه فاز ۹۸

۶-۱- مقدمه ۹۸

- ۹۸-۶-۲- ساختمان موتورهای القایی
۱۰۱-۶-۳- مشخصه‌های اسمی موتورهای القایی یا اسنکرون سه فاز
۱۰۲-۶-۴- لغزش
۱۰۳-۶-۵- منحنی «گشتاور - لغزش»
۱۰۴-۶-۶- رتورهای سیم پیچی شده
۱۰۵-۶-۷- تلفات در موتورهای القایی سه فاز
۱۰۷-۶-۸- تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه فاز
۱۱۰-۶-۹- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات
۱۱۲-۶-۱۰- روش راه‌اندازی موتورهای القایی سه فاز

عنوان

صفحه

- فصل ۲ - صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده ۱۲۵
- ۱- مقدمه ۱۲۵
- ۲- مروری بر مبانی اولیه ۱۲۷
- ۳- دسته‌بندی انواع کمپرسورها ۱۲۸
- ۳-۱- انواع کمپرسورها ۱۲۸
- ۴- تولید هوای فشرده ۱۳۲

۱۳۹	۵- اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده
۱۳۹	۵-۱- فیلترها
۱۴۰	۵-۲- تانک‌های هوای فشرده
۱۴۱	۵-۳- خشک‌کن‌ها
۱۴۳	۵-۴- Inter-Cooler

عنوان

صفحه

۱۴۴	۶- توزیع هوای فشرده
۱۴۷	۷- نشتی‌های هوا
۱۵۰	۸- بهره‌برداری از هوای فشرده
۱۵۲	۹- پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جویی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده
۱۵۳	۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی
۱۵۵	۹-۲- کاهش فشار تخلیه
۱۵۷	۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا
۱۵۹	۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی
۱۶۱	۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشت هوای فشرده
۱۶۳	۱۱- بازیافت حرارت از کمپرسورها

فصل ۳ - صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها ۱۷۷

۱- فن‌ها ۱۷۷

۱-۱- انواع فن‌ها ۱۷۷

۱-۲- مقاومت و منحنی‌های مقاومت در فن‌ها ۱۸۱

۱-۳- توان لازم برای فن‌ها ۱۸۲

۱-۴- صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها ۱۸۳

عنوان

صفحه

۲-۲ - پمپ‌ها	۲۰۷
۲-۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها	۲۰۷
۲-۲-۲- مشخصات پمپ‌ها	۲۰۹
۲-۲-۳- توان مصرفی و راندمان پمپ‌ها	۲۰۹
۲-۲-۴- کارکردهای مختلف یک پمپ	۲۱۰
۲-۲-۵- کارکرد موازی پمپ‌ها	۲۱۱
۲-۲-۶- کارکرد سری پمپ‌ها	۲۱۲
۲-۲-۷- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی	۲۱۳
۲-۲-۸- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در پمپ‌ها	۲۱۴

فصل ۴ - صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه

مطبوع	۲۳۵
۱- بهینه‌سازی انرژی در ترانسفورمرها	۲۳۵
۱-۱- مقدمه	۲۳۵
۱-۲- تلفات ترانسفورمرها	۲۳۶
۱-۳- تلفات هسته و مس	۲۳۶
۱-۴- ضریب تلفات	۲۳۷
۱-۵- راندمان ترانسفورمرها	۲۳۷

۱-۶- رابطه بین ظرفیت ترانسفورمرها و راندمان آنها ۲۳۹

۱-۷- رابطه بین ضریب توان بار و راندمان ترانسفورمرها ۲۳۹

عنوان

صفحه

۲۴۰	۸-۱- ترانسفورمرهای با راندمان بالا
۲۴۰	۹-۱- تلفات مختلف با تغییر تعداد ترانسفورمرها
۲۴۱	۱۰-۱- کنترل ترانسفورمرها با تعداد آنها
۲۵۰	۲- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی
۲۵۰	۱-۲- مقدمه
۲۵۱	۲-۲- چگونگی تولید نور
۲۵۱	۳-۲- تعریف
۲۵۴	۴-۲- انواع منابع روشنایی (لامپ).....
۲۵۹	۵-۲- مقایسه خواص منابع نور مختلف
۲۵۹	۶-۲- بالاست‌ها
۲۶۱	۷-۲- چراغ‌ها
۲۶۲	۸-۲- کنترل‌های سیستم روشنایی
۲۶۳	۹-۲- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی
۲۶۵	۱۰-۲- محاسبات اقتصادی روشنایی
۲۶۷	۱۱-۲- جانمایی مؤثر روشنایی
۲۸۷	۳- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های HVAC.....
۲۸۷	۱-۳- تعریف
۲۸۷	۲-۳- شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان

عنوان

صفحه

۲۹۳ ۴-۳- محاسبه بار سرمایه‌گذاری و گرمایش ساختمان

۳۰۰ ۵-۳- استفاده از کامپیوتر جهت محاسبه بار سرمایه‌گذاری و گرمایش

۳۰۱ ۶-۳- فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در تهویه مطبوع

فصل ۵ - مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی ۳۱۹

۳۱۹ ۱- هارمونیک‌ها

۳۱۹ ۱-۱- مقدمه

۳۲۰ ۲-۱- اثر هارمونیک‌ها روی تجهیزات برقی

۳۲۲ ۳-۱- اثرات خازن‌ها بر روی میزان هارمونیک

۳۳۸ ۲- بارهای مخصوص - کوره‌های القایی

۳۳۸ ۱-۲- مشخصات کوره‌های القایی

۳۳۹ ۲-۲- موازنه انرژی در کوره‌های القایی

۳۴۰ ۳-۲- نرخ توان مصرفی

۳۴۰ ۴-۲- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در کوره‌های القایی

۳۵۴ ۳- سیستمهای محرکه

۳۵۵ ۱-۳- موتورهای با راندمان بالا

۳۵۸..... ۲-۳- کنترل کننده های موتور.....

۳۶۲..... ۳-۳- سیستمهای با سرعت متغیر.....

« فهرست مطالب »

عنوان

صفحه

- فصل ۱ – روشهای مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی ۱
- فصل ۲ – صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده ۱۲۵
- فصل ۳ – صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها ۱۷۷
- فصل ۴ – صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه مطبوع ۲۳۵
- فصل ۵ – مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی ۳۱۹
- مراجع و منابع ۳۷۵

« فهرست جداول »

عنوان

صفحه

فصل ۱ - روش‌های مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی

- جدول ۱ - روش‌های اصلاح منحنی بار ۱۰
- جدول ۲ - تلفات ناشی از نشتی جریان در سه خط مشخص در هوای تمیز و خشک ۶۴
- جدول ۳ - نشتی جریان در هر زنجیره مفره بر حسب درجه آلودگی منطقه ۶۴
- جدول ۴ - تلفات ناشی از جریان در هر زنجیره از یک خط انتقال ۱۱۰ کیلوولت، بر حسب کیلووات با توجه به درجه آلودگی محیط ۶۵
- جدول ۵ - ویژگی و کاستی‌های کمپانزاتورها ۸۵
- جدول ۶ - محاسبه ضریب K جهت افزایش ضریب توان از $\cos\phi_1$ به $\cos\phi_2$ ۹۴
- جدول ۷ - مقادیر تقریبی قدرت خازن بر حسب کیلووار برای موتور و ترانسفورماتور ۹۶

فصل ۲ - صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

- جدول ۱ - گستره‌های کاربرد برای انواع مختلف کمپرسورها ۱۳۲
- جدول ۲ - درصد انرژی صرفه‌جویی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها ۱۶۵
- جدول ۳ - تلف توان الکتریکی با توجه به سائز نشتی‌ها ۱۶۶
- جدول ۴ - میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی‌ها ۱۶۶

عنوان

صفحه

فصل ۳ - صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱- فن‌ها

جدول ۱ - مشخصات و عملکرد انواع فن‌ها	۱۹۱
جدول ۲ - مقادیر η_t	۱۹۲
جدول ۳ - مقدار Φ	۱۹۲
جدول ۴ - عمر کلید (هنگامی که تحت تعمیر قرار نگیرد)	۱۹۲
جدول ۵ - مقایسه انواع سیستم‌های راه‌اندازی	۱۹۳
جدول ۶ - روش کاهش ظرفیت دمش هوا (نوع ثابت)	۱۹۴
جدول ۷ - روش کاهش جریان هوا (سیستم متغیر)	۱۹۴
جدول ۸ - مقایسه اصول و مشخصات عملکردی دمپر ، پره راهنما و تغییر سرعت در فن‌ها	۱۹۵

۲ - پمپ‌ها

جدول ۱ - طبقه‌بندی و انواع مختلف پمپ‌های توربو	۲۱۸
--	-----

فصل ۴ - صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه

مطبوع

۱- بهینه‌سازی مصرف انرژی در ترانسفورماتورها

جدول ۱ - مشخصات ترانسفورماتورهای تک‌فاز و ۳ فاز برای ظرفیت‌های مختلف ۲۴۳

جدول ۲ - مشخصات ترانسفورماتورهای تک‌فاز و ۳ فاز ۲۴۶

عنوان

صفحه

جدول ۳ - پارامترهای استاندارد برای ترانسفورماتورهای با عایق روغنی (معمولی و

راندمان

بالا)..... ۲۴۸

۲ - بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های روشنایی

جدول ۱ - مقایسه بین لامپ‌های تنگستن - آرگون عادی و لامپ‌های فلوروسنت فشرده

با بالاست‌های فرکانس بالا و معمولی ۲۷۳

جدول ۲ - محدوده راندمان انواع لامپ‌های تخلیه‌ای ۲۷۸

جدول ۳ - راندمان لامپ‌های تخلیه فشار بالا در توان‌های مختلف ۲۷۸

جدول ۴ - تلفات بالاست‌های نوعی لامپ‌های تخلیه فشار بالا بصورت درصدی از توان

لامپ ۲۷۸

جدول ۵ - جدول مقایسه انواع منابع نور ۲۷۹

جدول ۶ - مثال‌هایی از نسبت نور منتشر شده چراغ و نور تولید شده پس از نصب هر

کدام از انعکاس دهنده‌ها ۲۸۱

جدول ۷ - انواع مختلف پوشش چراغ‌های فلورسنت ۲۸۲

جدول ۸ - محل مناسب برای بکار بردن انواع حسگرهای حضور افراد ۲۸۳

جدول ۹ - ضریب ارزش کنونی یکنواخت ۲۸۴

جدول ۱۰ - ضریب ارزش کنونی برای مقادیر منفرد ۲۸۴

عنوان

صفحه

۳- بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های HVAC

- جدول ۱- مستلزمات تهویه هوای ASHRAE ۶۲-۷۳ (اصلاح شده بر اساس ۷۵-۹۰)..... ۳۰۸
- جدول ۲- ضریب انتقال حرارت کلی ترکیبات مختلف دیوار ۳۱۲
- جدول ۳- ضریب انتقال حرارت برای مواد مختلف ۳۱۳
- جدول ۴- ضریب شفافیت شیشه پنجره‌ها با پرده داخلی ۳۱۴
- جدول ۵- حرارت دریافتی از تشعشع استاندارد و خورشید از میان شیشه پنجره ۳۱۴
- جدول ۶- دفعات تهویه اتاقها نسبت به ابعاد آنها برای سرمایش و گرمایش ۳۱۵
- جدول ۷- حرارت تولید شده توسط وسایل خانگی مختلف ۳۱۵
- جدول ۸- حرارت تولید شده توسط بدن‌های افراد ۳۱۵
- جدول ۹- راندمان فن‌ها ۳۱۶
- جدول ۱۰- راندمان موتورها ۳۱۶
- جدول ۱۱- مقادیر R برای عایق‌ها و ترکیبات مواد متداول ۳۱۶
- جدول ۱۲- جدول محاسبات اقتصادی برای عایق‌هایی با مقادیر R متفاوت ۳۱۷

فصل ۵- مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱- هارمونیک‌ها

- جدول ۱- خطاهای حاصل از نوع سنجش برای موج‌های معروف ۳۳۴

جدول ۲ - تغییرات راندمان ترانسفورماتورها در محیط‌های هارمونیکی به ازای THD

های

مختلف ۳۳۵

عنوان

صفحه

۳ - سیستم‌های محرکه

جدول ۱ - نتایج دوره‌ای بار که نشان دهنده میزان صرفه‌جویی KVAR, kWh هنگام

استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است ۳۶۱

« فهرست شکل‌ها »

عنوان

صفحه

فصل ۱ – روش‌های مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی

- شکل ۱ – روشهای اصلاح منحنی بار..... ۱۱۵
- شکل ۲ – اندازه‌گیری توان الکتریکی ۱۱۶
- شکل ۳ – کمپانزاسیون اختصاصی ۱۱۷
- شکل ۴ – کمپانزاسیون گروهی ۱۱۷
- شکل ۵ – انواع کمپانزاسیون ۱۱۸
- شکل ۶ – تعیین قدرت خازن مورد نیاز ۱۱۹
- شکل ۷ – محاسبه ضریب K..... ۱۲۰
- شکل ۸ – تعیین مقدار خازن مورد نیاز ۱۲۰
- شکل ۹ – اجزاء یک موتور الکتریکی ۱۲۱
- شکل ۱۰ – شمای ساده یک رتور قفس سنجابی که در دو انتها ، میله‌ها توسط حلقه‌های انتهایی اتصال کوتاه شده‌اند..... ۱۲۱
- شکل ۱۱ – شمای ساده یک رتور سیم پیچی شده در موتور القایی سه فاز ۱۲۱
- شکل ۱۲ – منحنی گشتاور لغزش یا TSL برای یک موتور القایی سه فاز ۱۲۲
- شکل ۱۳ – اثر مقاومت رتور بر روی منحنی گشتاور – لغزش یا TSL ۱۲۲
- شکل ۱۴ – افت توان در موتورهای الکتریکی ۱۲۳

شکل ۱۵ - مدار مربوط به آزمایش تعیین تلفات در موتورهای القایی سه فاز ۱۲۳

شکل ۱۶ - شمای راه‌انداز ستاره - مثلث در موتورهای القایی سه فاز ۱۲۴

عنوان

صفحه

شکل ۱۷ - منحنی گشتاور - لغزشی هنگام استفاده از کلید راه‌انداز ستاره مثلث ۱۲۴

فصل ۲ - صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

شکل ۱ - دیاگرام سیستم هوای فشرده که توسط یک موتور الکتریکی کار می‌کند ۱۶۷

شکل ۲ - شماتیک یک سیستم هوای فشرده متداول ۱۶۸

شکل (۱-۳- الف) - کمپرسور رفت و برگشتی تک مرحله‌ای ۱۶۹

شکل (۱-۳- ب) - کمپرسور رفت و برگشتی دو مرحله‌ای ۱۶۹

شکل (۲-۳) - کمپرسور چرخان ۱۶۹

شکل (۳-۳) - کمپرسور اسکرو ۱۶۹

شکل (۴-۳) - کمپرسور دیافراگمی ۱۷۰

شکل (۵-۳) - توربو کمپرسور ۱۷۰

شکل (۶-۳) - نمودار مقایسه دبی و فشار خروجی در کمپرسورهای مختلف ۱۷۰

شکل ۴ - فرآیندهای تراکم ایزوترمال و آدیاباتیک و پلی‌تروپیک ۱۷۱

شکل ۵ - خشک کن تبریدی ۱۷۲

شکل ۶ - نمودار تعیین اندازه سائز لوله‌ها در سیستم‌های هوای فشرده ۱۷۳

شکل ۷ - سیستم بازیافت حرارت ۱۷۴

- شکل ۸ - سیستم بازیافت حرارت برای کمپرسورهای آب خنک ۱۷۴
- شکل ۹ - دیاگرام جریان انرژی برای یک کمپرسور ۱۷۵

عنوان

صفحه

فصل ۳ - صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱- فن‌ها

- شکل ۱ - شکل کلی و اجزای فن‌های نوع Axial ۱۹۶
- شکل ۲ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Propeller ۱۹۷
- شکل ۳ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Tubeaxial ۱۹۸
- شکل ۴ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Vaneaxial ۱۹۹
- شکل ۵ - شکل کلی و اجزای فن‌های نوع سانتریفیوژ Centrifugal ۲۰۰
- شکل ۶ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Airfoil ۲۰۱
- شکل ۷ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Backward-inclined ۲۰۲
- شکل ۸ - مشخصات یک فن نمونه از نوع Radial ۲۰۳
- شکل ۹ - منحنی‌های سیستم و فن ۲۰۴
- شکل ۱۰ - منحنی مشخصه برای فن‌های مختلف ۲۰۴
- شکل ۱۱ - منحنی عملکرد برای کارکرد موازی فن‌ها ۲۰۵
- شکل ۱۲ - مقایسه توان ورودی درموتور فن‌ها ۲۰۵

۲ - پمپ‌ها

شکل ۱ - پمپ‌های نوع توربو..... ۲۱۸

شکل ۲ - پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا ۲۱۹

شکل ۳ - پمپ‌های نوع چرخان ۲۱۹

عنوان

صفحه

شکل ۴ - ساختار یک پمپ سانتریفوژ کوچک ۲۲۰

شکل ۵ - ساختار یک پمپ سانتریفوژ چند مرحله‌ای..... ۲۲۱

شکل ۶ - پمپ سانتریفوژ با مکش دوپل ۲۲۲

شکل ۷ - پمپ جریان مرکب ۲۲۳

شکل ۸ - پمپ جریان محوری ۲۲۳

شکل ۹ - گستره کاربرد انواع پمپ‌ها ۲۲۴

شکل ۱۰ - منحنی تغییرات (هد - ظرفیت) برای سیستم و پمپ ۲۲۴

شکل ۱۱ - منحنی تغییرات راندمان پمپ‌ها ۲۲۵

شکل ۱۲ - نقطه کار هنگامی که مقاومت سیستم تغییر می‌کند ۲۲۵

شکل ۱۳ - نقطه کار زمانی که هد واقعی تغییر می‌کند ۲۲۶

شکل ۱۴ - کارکرد موازی پمپ‌ها با مشخصات یکسان ۲۲۶

شکل ۱۵ - کارکرد موازی پمپ‌ها با مشخصات مختلف ۲۲۷

شکل ۱۶ - کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات یکسان ۲۲۸

شکل ۱۷ - کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات مختلف ۲۲۸

شکل ۱۸ - شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی ۲۲۹

شکل ۱۹- تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه ۲۳۰

شکل ۲۰- تغییر عملکرد پمپ با تغییرات سرعت ۲۳۱

شکل ۲۱- اثر تغییر سرعت روی توان مکانیکی ۲۳۲

عنوان

صفحه

شکل ۲۲- دیاگرام سیستم کنترل برای دو حالت کنترل فشار با دبی ثابت و تثبیت فشار

ترمینال ۲۳۳

فصل ۴- صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه

مطبوع

۱- بهینه‌سازی مصرف انرژی در ترانسفورماتورها

شکل ۱- منحنی تغییرات راندمان تلفات بی باری و تلفات بار برای ۳ ترانسفورماتور با

ضریب تلفات مختلف ۲۴۲

شکل ۲- منحنی شبانه‌روزی بار یک ترانسفورماتور ۲۴۲

شکل ۳- تغییرات راندمان ترانسفورماتور برای ظرفیت‌های مختلف ۲۴۲

شکل ۴- منحنی تغییرات راندمان یک ترانسفورماتور ۱۰ مگاوات آمپری بازای ضریب

توان‌های

مختلف ۲۴۷

شکل ۵- ۳ حالت مختلف برای تأمین یک ظرفیت مشخص بار ترانسفورماتورهای

مختلف ۲۴۷

شکل ۶- دو ترکیب مختلف ترانسفورماتورها برای تأمین یک ظرفیت مشخص ۲۴۹

شکل ۷- محدوده مفید برای عملکرد ۱ و ۲ ترانسفورماتور (حالت‌های شکل ۶) ۲۴۹

۲- بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های روشنایی

شکل ۱- تولید نور مرئی در یک دستگاه روشنایی ۲۶۹

شکل ۲- منابع مختلف نور ۲۶۹

شکل ۳- اجزاء مختلف یک لامپ التهابی ۲۷۰

عنوان

صفحه

شکل ۴- توزیع طول موج نور تولیدی (اسپکتروم) یک لامپ التهابی ۲۷۰

شکل ۵- مقایسه توزیع طول موج نور (اسپکتروم) یک لامپ التهابی با آفتاب ظهر ۲۷۱

شکل ۶- منحنی‌های تغییرات مشخصات لامپ التهابی بازای تغییرات ولتاژ ۲۷۱

شکل ۷- یک لامپ هالوژن با انعکاس دهنده ۲۷۱

شکل ۸- مقایسه افت نور یک لامپ التهابی معمولی با لامپ هالوژن تنگستن ۲۷۱

شکل ۹- اجزاء یک لامپ فلورسنت ۲۷۲

شکل ۱۰- تغییرات نور خروجی لامپ فلورسنت در دو حالت ۲۷۲

شکل ۱۱- تغییرات طول عمر فلورسنت‌های مختلف بازای ساعت کارکرد برای هر بار

استارت ۲۷۲

شکل ۱۲- افت نور انواع فلورسنت در طول عمر آنها ۲۷۳

شکل ۱۳- انواع مختلف لامپ‌های فلورسنت و فلورسنت فشرده ۲۷۴

- شکل ۱۴ - توزیع طول موج تولیدی (اسپکتروم) انواع لامپ‌های تخلیه‌ای ۲۷۵
- شکل (۱۵- الف) - کاهش نور لامپ بخار جیوه ۲۷۷
- شکل (۱۵- ب) - کاهش نور لامپ پر فشار سدیم ۲۷۷
- شکل (۱۵- ج) - کاهش نور لامپ متال هالاید ۲۷۷
- شکل ۱۶ - تغییرات نور یک لامپ متال هالاید به تغییرات زاویه محور آن به خط عمود ۲۷۷
- شکل ۱۷ - انواع مختلف بالاست‌های لامپ‌های فلورسنت ۲۸۱
- شکل ۱۸ - مشخصه‌های لامپ فلورسنت فرکانس بالا ۲۸۱
- شکل ۱۹ - ساختمان چراغ ۲۸۱
- شکل ۲۰ - بدنه چراغ قبل و بعد از نصب انعکاس دهنده فوری ۲۸۱

عنوان

صفحه

- شکل ۲۱ - سیستم‌های کنترل ۲۸۲
- شکل ۲۲ - حسگرهای مافوق صوت ۲۸۲
- شکل ۲۳ - حسگرهای مادون قرمز ۲۸۲
- شکل ۲۴ - افت نور خروجی سیستم روشنایی در طول زمان ۲۸۳
- شکل ۲۵ - افت پیش بینی شده نور در نتیجه کثیف شدن داخل بدنه چراغ در یک

اداری

محیط

- تمیز ۲۸۳
- شکل ۲۶ - ترتیب قرار گرفتن چراغ‌ها باید موازی پنجره‌ها باشد ۲۸۵
- شکل ۲۷ - ترتیب قرار گرفتن چراغ‌ها برای یک خط از میزهای کار ۲۸۵

۳- بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های HVAC

- شکل ۱- نمودار سایکومتريک ۳۰۸
- شکل ۲- اجزای یک سیستم HVAC نمونه ۳۰۹
- شکل ۳- سیستم مجاری دوگانه ۳۰۹
- شکل ۴- سیستم‌های چند ناحیه ۳۰۹
- شکل ۵- سیستم حجم متغیر هوا ۳۱۰
- شکل ۶- سیستم بار گرمایش پایانه‌ای ۳۱۰
- شکل ۷- سیستم خنک کاری تبخیری ۳۱۰
- شکل ۸- ورودی و خروجی حرارت در یک خانه تحت تهویه مطبوع ۳۱۱
- شکل ۹- مراحل محاسبه بار تهویه مطبوع یک مکان ۳۱۱

عنوان

صفحه

- شکل ۱۰- شار حرارتی ۳۱۳
- شکل ۱۱- ضریب انتقال حرارت آب در یک لوله ۳۱۳
- شکل ۱۲- ضریب انتقال حرارت هوا در پره‌ها ۳۱۴
- شکل ۱۳- راهبرد ذخیره جزئی ۳۱۶

فصل ۵- مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱- هارمونیک‌ها

- شکل ۱ - یک موج هارمونیک با هارمونیک‌های سوم ، پنجم و هفتم ۳۳۴
- شکل ۲ - تغییرات ظرفیت نامی ترانسفورماتور در صورتیکه بار آن یک سوئیچینگ باشد..... ۳۳۵
- شکل ۳ - ولتاژ یک کارخانه در حالت با و بدون خازن ۳۳۶
- شکل ۴ - جریان یک کارخانه در حالت با و بدون خازن ۳۳۷

۲- بارهای مخصوص - کوره‌های القایی

- شکل ۱ - کارکرد کوره‌های القایی بدون هسته با مبنای عملکردی ترانسفورمرها ۳۴۸
- شکل ۲ - شکل کلی یک کوره القایی بدون هسته ۳۴۸
- شکل ۳ - مدار یک کوره القایی بدون هسته ۳۴۹
- شکل ۴ - رابطه بین نرخ ذوب و ظرفیت کوره ۳۴۹
- شکل ۵ - تلفات انرژی در یک کوره القایی بدون هسته از نوع فرکانس اصلی ۳۵۰
- شکل ۶ - بازیافت حرارت از یک کوره القایی جهت خشک کردن قراضه ۳۵۱
- شکل ۷ - بازیافت حرارت از یک کوره القایی جهت گرمایش فضا ۳۵۱

عنوان

صفحه

- شکل ۸ - بازیافت حرارت از یک کوره القایی جهت گرمایش آب ۳۵۲

۳ - سیستم‌های محرکه

- شکل ۱ - مقایسه راندمان بار کامل موتورهای استاندارد و راندمان بالا ۳۷۰
- شکل ۲ - مقایسه ضریب قدرت و راندمان در موتورهای استاندارد و راندمان بالا ۳۷۰

شکل ۳ - میزان صرفه‌جویی در انرژی ناشی از کاربرد موتورهای آزمایش شده " با راندمان

بالا " ۳۷۱

شکل ۴ - مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد و موتورهای با راندمان انرژی بالا ۳۷۱

شکل ۵ - مقایسه عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی با کنترل کننده و بدون کنترل

کننده ۳۷۲

شکل ۶ - مقایسه عملکرد موتور استاندارد ۷/۵ کیلوواتی با کنترل کننده و بدون

کنترل کننده ۳۷۲

شکل ۷ - میزان صرفه‌جویی در انرژی ناشی از کاربرد کنترل کننده موتور در موتورهای

استاندارد ۳۷۳

شکل ۸ - تقسیمات سیستم‌های سرعت متغیر ۳۷۴

شکل ۹ - فشار تخلیه پمپ کنترل کننده VSD ۳۷۴

فصل اول

روشهای مدیریت و صرفه‌جویی

انرژی الکتریکی

اعضاء گروه مؤلف :

۱. حسین بهرامی
۲. محمد علی شفیع‌زاده
۳. محمود رضا قهارپور
۴. غلامرضا کبریایی طبری
۵. کیان نجف‌زاده

تایپ و صفحه‌آرایی :

لیلا سهرابی

عنوان

صفحه

فصل ۷ - روشهای مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی	۱
۲- ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- شناخت امکانات و محدودیت‌های بار و انرژی الکتریکی	۲
۳-۱- ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور	۴
۲- اصول مدیریت بار	۷
۱-۲- انگیزه‌های مدیریت بار	۹
۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار	۱۰
۳-۲- پارامترهای لازم برای مدیریت بار	۱۲
۱-۳-۲- منحنی بار و توزیع تداوم بار	۱۲
۲-۳-۲- ضریب تقاضا	۱۳
۳-۳-۲- ضریب بار	۱۴
۴-۳-۲- توان اکتیو و توان راکتیو	۱۵
۵-۳-۲- ضریب توان	۱۶
۶-۲- روشهای اندازه‌گیری قدرت و انرژی الکتریکی	۱۹
۷-۲- اصلاح منحنی بار	۲۶
۳- تعرفه‌های برق و مدیریت تقاضا	۳۱
۱-۳- تعرفه‌های برق در بخش صنعت	۳۱

عنوان

صفحه

۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در دو کارخانه	۳۶
۴- تلفات در سیستم‌های قدرت و راهکارهای کاهش آن	۴۴
۴-۱- انواع تلفات در سیستم قدرت	۴۶
۴-۲- عوامل افزایش تلفات در شبکه	۴۸
۴-۳- محاسبه تلفات انرژی و توان	۵۴
۴-۵- راهکارهای موجود برای کاهش تلفات	۷۴
۷- کنترل توان راکتیو	۷۶
۵-۱- روش‌های کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ	۷۷
۵-۲- بهبود ضریب توان	۸۷
۵-۳- تلفات در موتورهای القایی سه فاز	۱۰۵
۵-۴- تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه فاز	۱۰۷
۵-۵- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات	۱۱۰
۵-۶- روش راه‌اندازی موتورهای القایی سه فاز	۱۱۲
فصل ۸ - صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده	۱۲۵
۱- مقدمه	۱۲۵
۲- مروری بر مبانی اولیه	۱۲۷
۳- دسته‌بندی انواع کمپرسورها	۱۲۸

۱۲۸ ۱-۲- انواع کمپرسورها

عنوان

صفحه

۱۳۲ ۴- تولید هوای فشرده

۱۳۹ ۵- اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده

۱۳۹ ۱-۵- فیلترها

۱۴۰ ۲-۵- تانک‌های هوای فشرده

۱۴۱ ۳-۵- خشک‌کن‌ها

۱۴۳ ۴-۵- Inter-Cooler

۱۴۴ ۶- توزیع هوای فشرده

۱۴۷ ۷- نشتی‌های هوا

۱۵۰ ۸- بهره‌برداری از هوای فشرده

۱۵۲ ۹- پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جویی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده

۱۵۳ ۱-۹- کاهش دمای هوای ورودی

۱۵۵ ۲-۹- کاهش فشار تخلیه

۱۵۷ ۳-۹- تعمیر نشتی‌های هوا

۱۵۹ ۴-۹- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی

۱۶۱ ۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشت هوای فشرده

۱۶۳ ۱۱- بازیافت حرارت از کمپرسورها

فصل ۹ - صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها ۱۷۷

۱- فن‌ها ۱۷۷

عنوان

صفحه

۱-۱- انواع فن‌ها ۱۷۷

۱-۲- مقاومت و منحنی‌های مقاومت در فن‌ها ۱۸۱

۱-۳- توان لازم برای فن‌ها ۱۸۲

۱-۴- صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها ۱۸۳

۲- پمپ‌ها ۲۰۷

۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها ۲۰۷

۲-۲- مشخصات پمپ‌ها ۲۰۹

۲-۳- توان مصرفی و راندمان پمپ‌ها ۲۰۹

۲-۴- کارکردهای مختلف یک پمپ ۲۱۰

۲-۵- کارکرد موازی پمپ‌ها ۲۱۱

۲-۶- کارکرد سری پمپ‌ها ۲۱۲

۲-۷- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی ۲۱۳

۲-۸- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در پمپ‌ها ۲۱۴

فصل ۱۰ - صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه

مطبوع ۲۳۵

۲۵۰	۱- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی
۲۵۰	۱-۱- مقدمه
۲۵۱	۲-۱- چگونگی تولید نور
۲۵۱	۳-۱- تعریف

عنوان

صفحه

۲۵۴	۴-۱- انواع منابع روشنایی (لامپ)
۲۵۹	۵-۱- مقایسه خواص منابع نور مختلف
۲۵۹	۶-۱- بالاست‌ها
۲۶۱	۷-۱- چراغ‌ها
۲۶۲	۸-۱- کنترل‌های سیستم روشنایی
۲۶۳	۹-۱- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی
۲۶۵	۱۰-۱- محاسبات اقتصادی روشنایی
۲۶۷	۱۱-۱- جانمایی مؤثر روشنایی

فصل ۱۱- مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۳۵۴	۱- سیستمهای محرکه
۳۵۵	۱-۱- موتورهای با راندمان بالا
۳۵۸	۲-۱- کنترل کننده های موتور
۳۶۲	۳-۱- سیستمهای با سرعت متغیر

فصل ۱ – روشهای مدیریت و صرفه‌جویی انرژی الکتریکی

۱ – ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی

۱-۱ – مقدمه:

یکی از اهداف استراتژیک بخش انرژی الکتریکی کشور، مصرف انرژی به شکل بهینه و مناسب آن می‌باشد. از آنجائیکه ظرفیت تولید انرژی الکتریکی با توجه به هزینه سنگین سرمایه‌گذاری در آن محدود می‌باشد، لذا افزایش میزان بهره‌وری از ظرفیت

موجود در کشور تأثیر بسیار مطلوبی در زمینه هزینه و سرمایه‌گذاری در بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را بدنبال خواهد داشت.

یکی از ابزارهای مطرح در این بخش، استفاده از روش‌های مدیریت بار و انرژی است. لذا معرفی مدیریت بار و اهداف آن با استفاده از بررسی‌های انجام شده در صنایع مختلف کشور ضرورت دارد.

صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

منافع ناشی از اقدامات صرفه‌جویی در عین حالی که به سود صنایع کشور است در ارتقاء اقتصاد ملی و امکان بهره‌گیری از فرصت‌های اقتصادی ناشی از عدم سرمایه‌گذاری‌های کلان در بخش عرضه انرژی مفید خواهد بود.

در مورد انرژی الکتریکی شامل توان مصرفی در اوقات پرباری بویژه قله مصرف (نقطه اوج) و همینطور کاهش انرژی واحد تولید با توجه به شرایط تکنیکی و تکنولوژیکی در بخش صنعت کشور بدلیل مدیریت پذیری بهتر در قالب اقدامات کوتاه مدت و میان مدت می‌تواند مؤثر بوده و باعث کاهش اختلاف بار پیک و پایه شود.

۲-۱- شناخت امکانات و محدودیت‌های بار و انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی به دلیل قابلیت اندازه‌گیری و کنترل بهتر و همینطور به دلیل محدودیت ناشی از عدم امکان ذخیره‌سازی از سایر انواع انرژی متمایز است. سرمایه‌گذاری انرژی در تأسیسات تولید برق برحسب نیروگاه‌های مختلف از ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ دلار برای هر کیلووات قدرت اسمی منصوبه متفاوت است و بالاخره در شرایط کشور ما برای تولید، انتقال و توزیع یک کیلووات قدرت الکتریکی در حدود ۱۴۰۰ دلار و ۲۸۰۰۰۰ ریال سرمایه‌گذاری اولیه و صرف دوره زمانی نسبتاً طولانی (۴ تا ۱۰ سال) ضروری است.

در یک سیستم برق برنامه‌ریزی توسعه اساساً بر محور اقدامات زیر صورت می‌گیرد:

۱. شناخت و ارزشیابی وضع موجود (شامل تأسیسات و میزان درآمد حاصل از عملیات)
 ۲. پیش‌بینی تقاضای بار (MW) و انرژی (MWh) دوره‌های زمانی آینده
 ۳. بررسی و انتخاب بهترین حالت فنی و اقتصادی توسعه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع
- بمنظور حصول به اهداف پیش‌بینی شده با توجه به قابلیت آمادگی و ضریب اطمینان

سیستم

۴. ارزیابی منابع مالی مورد نیاز برای توسعه تأسیسات و تعیین هزینه تمام شده که بر این اساس تدوین ساختار تعرفه‌های متناسب برق با لحاظ کردن سیاست‌های اجتماعی و اقتصادی انجام می‌گیرد.

۵. ویژگی سیستم قدرت ایجاب می‌کند تا به منظور امکان ارائه خدمات به مصرف کنندگان علاوه بر میزان توان عملی تولید، ظرفیتی (در شرایط مناسب حداقل ۱۰٪) نیز به عنوان ذخیره در دسترس باشد. سیستم برق بایستی در هر لحظه از زمان آمادگی تأمین تقاضا را داشته باشد و همین محدودیت است که اهمیت صرفه‌جویی در آن را اولویت ویژه می‌بخشد.

در زمینه عرضه نیروی برق تا به حال سیاست‌های توسعه‌ای اجرا شده و مسلماً ادامه خواهد یافت. در سال ۱۳۸۱ قدرت نامی نیروگاه‌های وزارت نیرو بالغ بر ۳۰۶۰۵ مگاوات گردید که حدوداً ۹/۲ درصد نسبت به سال قبل افزایش داشته است. از مجموع قدرت نامی نیروگاه‌های نصب شده وزارت نیرو ۴۷/۳ درصد سهم نیروگاه‌های بخاری، ۲۰/۷ درصد سهم نیروگاه‌های گازی، ۲۰/۵ درصد سهم نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، ۱/۶ درصد سهم نیروگاه‌های دیزلی و ۹/۹ درصد سهم نیروگاه‌های برق آبی می‌باشد.

در سال ۱۳۸۱ تولید انرژی نیروگاه‌های وزارت نیرو از مرز ۱۳۵ میلیارد کیلووات ساعت گذشت که در مقایسه با سال قبل از آن معادل ۸/۹ درصد رشد داشته است. در

این سال قدرت سرانه به ۴۸۱ وات و تولید سرانه به ۲۱۰۲ کیلووات ساعت رسید که نسبت به سال گذشته به ترتیب از رشدی معادل ۷/۴ و ۶/۷ برخوردار بوده است.

حداکثر بار همزمان تأمین شده به ۲۳۷۵۳ مگاوات و حداکثر نیاز مصرف همزمان و هم روز اصلاح شده به ۲۴۷۵۰ مگاوات رسید که نسبت به سال قبل به ترتیب معادل ۷/۱ و ۷/۳ درصد رشد را نشان می‌دهد.

طی سال‌های اخیر رشد بار در شبکه برق کشور نزدیک به ۱۰٪ (در سال) و رشد انرژی در حدود ۸٪ بوده است. که این امر مبین این نکته مهم است که اکثر مصارف ایجاد شده طی سالهای اخیر در بخش‌های غیر مولد (از قبیل خانگی - تجاری) تمرکز داشته که معمولاً دارای ضریب بار خوبی نیستند. سهم مصارف برق بخش صنعت (که دارای ضریب بار مناسب است) در سال ۸۱ به حدود ۳۴٪ رسیده است. در حالیکه بخش خانگی و تجاری ۵۰ درصد کل مصرف برق کشور را بخود اختصاص می‌دهد.

بالا بودن سهم مصارف خانگی و تجاری اولویت این بخش‌ها در صرفه‌جویی بیشتر را مطرح می‌نماید ولی مشکلات عمده این بخش‌ها ناشی از کثرت تعداد مصرف کنندگان و وجود الگوهای رفتاری است که طبعاً طرح مسائل فرهنگی را نیز می‌طلبد. در بخش خانگی و تجاری توجه به موضوع روشنایی اهمیت اساسی دارد.

۱-۳- ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور

در برابر رشد سریع مصرف برق (به ویژه توان الکتریکی) عموماً دو راه حل متصور است. راه حل اول افزایش بیش از پیش ظرفیت‌ها است، این امر به مفهوم مصرف بیشتر منابع مالی در بخش‌های ناهمگن با نیازهای واقعی اقتصادی کشور است که با توجه به محدودیت منابع مالی عملاً امکانپذیر نمی‌باشد. راه حل دوم عبارت است از تصحیح الگوی مصرف برق و به عبارتی دیگر

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

حذف مصارف غیر ضروری یا جابه‌جایی زمانی مصرف و ... که هم به سود مصرف‌کننده بوده و در عین حال به توزیع عادلانه‌تر منابع کشور منتهی می‌گردد.

یکی از روش‌های مدیریت مصرف برق به مفهوم تغییر و بهینه‌سازی الگوی مصرف با حفظ سطح رفاه یا تولید است. بنابراین کنترل رشد بار، تغییر شکل منحنی بار، استفاده از منابع اختصاصی (مثلاً تأسیسات برق داخلی صنایع)، صرفه‌جویی در برق مصرفی برای واحد تولید و ... همه در این مقوله‌اند. همچنین از دیدگاه بهبود سیستم عرضه، ضروری است تا راندمان نیروگاه‌ها افزایش، میزان تلفات سیستم کاهش و ضریب بار و ضریب قدرت شبکه بهبود پذیرد و در این راستا توجه به تکنولوژی جدید از قبیل کاربرد نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به منظور افزایش راندمان نیروگاه‌های گازی، بررسی امکان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز باید مورد توجه قرار گیرند.

نتایج مدیریت مصرف برق که از دیدگاه مصرف‌کننده کاهش هزینه برق است از دیدگاه سیستم برق و اقتصادی عمومی کشور به مفهوم: تقلیل مخارج سرمایه‌گذاری، رفع محدودیت از ظرفیت‌های موجود، فراهم کردن زمینه‌های پخش اقتصادی قدرت (Economic Dispatching)، کاهش قیمت تمام شده برق و افزایش کارایی و ضریب اطمینان سیستم برق می‌باشد.

مدیریت مصرف برق در بلندمدت می‌تواند به یک سیاست توسعه اقتصادی منتهی گردد.

مدیریت مصرف برق در بخش صنایع کشور به عواملی از قبیل سطح تکنولوژی، عمر ماشین‌آلات، ارزش افزوده در صنایع و قیمت نهاده‌های صنعتی و ... وابسته است.

مدیریت مصرف برق را بر اساس دوره اجرای تصمیمات می‌توان به کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت تقسیم‌بندی کرد و از دیدگاه نوع مصرف نیز این گروه بندی را می‌توان به شکل:

مدیریت مصرف در روشنایی، سرمایش، گرمایش، تجهیزات موتوری و فرآیند دسته‌بندی نمود.

۲- اصول مدیریت بار

راحتی و سهولت کنترل، یکی از دلایل رشد سریع در مصرف الکتروسیسته است. پس منطقی است اولین زمینه‌ای که برای کاوش در یک برنامه مدیریت انرژی انتخاب می‌گردد، کنترل‌های بهینه باشد. مثالی در این زمینه، تایمرها و کلیدهایی هستند که در زمان و مکان مورد لزوم، چراغ‌ها را روشن می‌کنند و یا مثالی دیگر بکارگیری محرک‌های موتوری جدید یا سرعت متغییر (SCR یا VSD) خواهد بود. ریز پردازنده‌ها (کنترل‌های هوشمند) با قیمت مناسب، امروزه بقدری در دسترس هستند که می‌توان گستره وسیع‌تری از عملیات کنترلی را نسبت به آنچه در گذشته مقدور بود، فراهم کرد.

دومین زمینه کلی، بهینه‌سازی ظرفیت است. بخصوص در موتورهای الکتریکی، اضافه ظرفیت باعث دوگونه عدم کارایی می‌گردد. اول اینکه، راندمان موتورها در بارهای کمتر از بار نامی کاهش می‌یابد و دوم اینکه ضریب قدرت در بارهای اندک، کمتر می‌شود و در نتیجه موجب وارد شدن تلفات بیشتر در سیستم توزیع الکتریکی می‌شود.

قدم سوم این است که در صورت امکان، بارها را کاهش دهیم، بعنوان مثال می‌توان از بارهای روشنایی نام برد. در ساختمان‌های اداری مدرن، به جزآنهایی که اخیراً کارهایی را جهت اصلاح انجام داده‌اند، تقریباً همیشه روشنایی‌های اضافی وجود دارند. این عمل به دو طریق انرژی را تلف می‌کند: اول در الکتروسیسته‌ای که این نور را تأمین می‌کند و دوم انرژی‌ای که صرف تهویه هوای گرم اضافی در تابستان می‌شود.

چهارمین قدم، استفاده از فرآیندهای کارآمد است. مثال آن استفاده از گرمایشهای میکروویو یا دی الکتریک (که مستقیماً گرما را به جسم مورد نظر اعمال می‌کنند) بجای استفاده از روشهای دیگر گرمادهی است.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

قدم پنجم، بررسی امکان استفاده بیشتر از تجهیزات کارآمدتر است. موتورهای با راندمان بالا، لامپ‌های با راندمان بالا، پمپ‌های حرارتی (بجای گرمایش مقاومتی) ، و بسیاری دستگاه‌های الکترونیکی حالت جامد که انرژی کمی مصرف می‌کنند، در دسترس می‌باشند.

قدم ششم، بکارگیری روش‌های مخصوص جهت کاهش تلفات است، همچون تصحیح ضریب قدرت (Power Factor) یا اصلاح سیستم‌های توزیع برای کاهش تلفات اهمی (RI^2) هفتمین قدم، نگهداری انرژی بصورت مؤثر و تقلیل تلفات است. این مسأله را می‌توان با عایق‌بندی بهتر ساختمانها و لوازمی که دمای بالا دارند، انجام داد. بازیافت گرمای حاصل از موتورها، مبدل‌ها یا تجهیزاتی مانند کمپرسور هوا نیز در این دسته جای می‌گیرند.

قدم هشتم ، جستجوی موقعیت‌هایی برای تولید و مصرف متوالی (Cascading) انرژی می‌باشد. بارزترین نمونه آن تولید مشترک برق و حرارت است که اغلب در اماکنی که مقدار زیادی حرارت و الکتریسیته مصرف دارند، امکانپذیر و اقتصادی است. در صنعت، تدابیری که بتواند هم از توربین گازی و هم از توربین بخار به این منظور استفاده کنند، وجود دارد.

قدم نهم، آزمودن فرصت‌هایی برای تبدیل انرژی است. بکارگیری یک موتور با سرعت متغییر می‌تواند سیستم متحرک مکانیکی که برای تغییر سرعت بکار می‌رود را حذف کند، که به کاهش تلفات منجر می‌گردد- یا تجهیزات پنوماتیک را می‌توان با محرک‌های برقی جایگزین کرد.

۲-۱- انگیزه‌های مدیریت بار

الف) از دیدگاه تولید

- نیروگاهها و شبکه‌های انتقال و توزیع بعنوان تأمین کنندگان انرژی الکتریکی برای مشترکین می‌باشند که توجه به مدیریت انرژی به دلایل زیر مورد لزوم است :
۱. کاهش مصرف برق در ساعات پیک شبکه و در نتیجه کند شدن روند احداث نیروگاه
 ۲. کاهش و به تعویق انداختن سرمایه‌گذاریهای لازم جهت شبکه انتقال و توزیع
 ۳. بهره‌برداری بهینه از ظرفیت‌های موجود شبکه تولید ، انتقال و توزیع
 ۴. کاهش مسأله ناپایداری احتمالی و در نتیجه بهبود قابلیت اطمینان شبکه
 ۵. کاهش تلفات داخلی نیروگاهها

ب) از دیدگاه مصرف کنندگان

- زمینه فعالیت در همه بخش‌های صنعتی ، تجاری ، خانگی و کشاورزی جهت اعمال مدیریت مصرف برق وجود دارد که برخی از مزایای آن عبارتند از :
۱. کاهش سرمایه‌گذاریهای اولیه به جهت طراحی و انتخاب مناسب تجهیزات مانند ترانسفورماتورها ، الکتروموتورها و اجزاء تأسیسات الکتریکی
 ۲. افزایش راندمان و کاهش تلفات برق با استفاده از ظرفیت کامل ماشین‌آلات
 ۳. کاهش هزینه‌های برق حاصل از اصلاح مصرف و انتخاب تعرفه مناسب

ج) از جنبه محیط زیست

مصرف بهینه برق منجر به کاهش مصرف انرژی اولیه شده و در نهایت انتشار آلاینده‌های زیست محیطی کمتر می‌شود. آلودگی هوا، سلامتی جامعه را تهدید می‌کند و هزینه اجتماعی مضاعفی را ایجاد می‌نماید.

۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار

در جدول (۱) تکنیک‌های موفق در بخش‌های مختلف بمنظور اصلاح منحنی بار خانگی - تجاری و صنعتی معرفی شده است.

جدول ۱- روش‌های اصلاح منحنی بار

روش اصلاح منحنی بار	خانگی	تجاری	صنعتی
برش پیک	کنترل مستقیم سیستم‌های تهویه	کنترل سیستم تهویه مرکزی	قطع مصارف غیر ضروری
پرکردن دره	کاربرد سیستم گرمایش الکتریکی	ذخیره سازی سیستم‌های حرارتی	ایجاد شیفت کار شب
جابجایی بار پیک	برنامه‌ریزی مصرف	کاربرد سیستم‌های ذخیره‌ساز حرارتی	انتقال شیفت روز به شب
صرفه‌جویی استراتژیک	بهبود عایق حرارتی ساختمانها	کاهش شدت روشنایی	کاربرد پروسه‌های با راندمان بالا
افزایش بار استراتژیک	کاربرد انرژی الکتریکی به جای فسیلی	کاربرد پمپ حرارتی	کاربرد انرژی الکتریکی بجای فسیلی
انعطاف پذیری بار	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی	کنترل سیکلی

پس از شناخت منحنی بار واحد صنعتی و در پی آن، منحنی بار مطلوب و مطالعه مدیریت پذیری پروسه، لازم است تکنیک‌های فوق در جهت اصلاح منحنی بار مورد استفاده قرار گیرد. سه روش اول نشان داده شده در شکل شماره ۱، تکنیک‌های قدیمی و سه روش دیگر، روش‌های نسبتاً جدیدتری را معرفی می‌نمایند. در روش اول کاهش پیک توسط کنترل مستقیم بارهای غیر ضروری در هنگام زمان پیک صورت می‌پذیرد. به همین ترتیب در روش دوم، بارهای مورد نیاز و غیر ضروری در زمان غیر پیک وارد شبکه می‌گردند. جابجایی پیک بار نیز بدون اختلال در امر تولید پروسه توسط برنامه‌ریزی‌های بهینه صورت می‌پذیرد. در این بخش استفاده از تأسیسات ذخیره‌سازی انرژی اثرات بسیار مطلوبی را از خود نشان می‌دهد.

روش چهارم (صرفه‌جویی استرژیک) با تغییر الگوی مصرف در بخش‌های مختلف، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

در این روش مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی با استفاده از روش‌های نظیر تشویق مالی و غیره، کاهش مصرف انرژی الکتریکی را بدون اعمال کنترل و برنامه خاص انجام می‌دهند.

در این حالت رشد تکنولوژی تجهیزات مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی نیز به طور طبیعی باعث کاهش مصرف می‌گردد. در روش پنجم نیز رشد مصرف انرژی در کنار روش دوم (پر کردن دره منحنی بار) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت انعطاف پذیری مصرف‌کننده انرژی الکتریکی بعنوان یک روش مدیریت بار مطرح شده است. در این روش نیز قابلیت اعتماد در بهره‌برداری انرژی الکتریکی مصرف‌کننده توسط بکارگیری برخی از تجهیزات مدرن محدود می‌گردد، بطوری که میزان انرژی مصرف‌کننده توسط تولیدکننده تحت کنترل و برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد. روش مزبور به تکنولوژی پیشرفته و هزینه بالا نیاز دارد. در مقابل اثرات اصلاح منحنی بار در آن بسیار مؤثرتر از سایر روشها می‌باشد.

۲-۳- پارامترهای لازم برای مدیریت بار

۲-۳-۱- منحنی بار و توزیع تداوم بار

نمایش تغییرات توان الکتریکی هر مصرف کننده برق در یک بازه زمانی مشخص منحنی بار گفته می‌شود. تغییرات زمان بر حسب ثانیه، دقیقه، ساعات، شبانه‌روز، هفته و ماه قابل تعیین است. بررسی نوسانات مصرف برق از شبکه به منظور تعیین حدود ساعات پیک و غیر پیک، حداکثر و حداقل توان تولیدی نیروگاهها و تعیین ضریب بار در قالب منحنی بار شبکه قابل بررسی است.

به منظور بررسی توزیع بار بر حسب زمان در یک مجموعه مصرف کننده برق، لازم است در فیدرهای اصلی توسط دستگاه آنالیزور اندازه‌گیری بعمل آید. برای بررسی جزئی‌تر تجهیزات مصرف کننده برق با فرآیندها و بخشهای مختلف کار باید فیدر توزیع برق بعد از فیدر اصلی با نصب دستگاه مورد اندازه‌گیری قرار گیرند. با توجه به سیکل فرآیند تولید مدت اندازه‌گیری بر حسب یک شیفت کاری، یک شبانه‌روز یا یک هفته تعیین می‌شود. نمودارهای استخراج شده از دستگاههای اندازه‌گیری که بیانگر تغییرات توان مصرفی بر حسب زمان می‌باشد. منحنی بار مربوط به هر فیدر می‌باشد. تعیین تراز انرژی الکتریکی، ضریب بار، وضعیت دیماندر ساعات پیک و غیر پیک، حداکثر و حداقل توان مصرفی با مشخص شدن زمان وقوع، پارامترهایی هستند که از منحنی بار قابل استخراج و بهره‌برداری است

۲-۳-۲- ضریب تقاضا (D.F)

شرکت‌های تولید و توزیع برق به حداکثر مصرف برق روزانه مشترکین نیاز دارند. چرا که این عامل ظرفیت نیروگاهی که آنها باید نصب کنند تا پاسخگوی نیازهای توانی مصرف کنندگان باشد را تعیین می‌کند. این مقدار به وسیله ضریب تقاضا بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$DF = \frac{D \max}{CL}$$

که در آن :

Dmax : تقاضای حداکثر (KW)

CL : بار متصل شده (KW)

ضریب تقاضا در حالت عادی کمتر از واحد است، محدوده نمونه مقادیر ۰/۲۵ تا ۰/۹ می‌باشد.

عموماً، دیماند خریداری شده توسط مشترکین برق از وزارت نیرو بیشتر از دیماند مصرفی است. در برخی موارد این اختلاف بسیار زیاد می‌باشد. این در حالی است که اضافه بودن درخواستی (دیماند) موجب افزایش هزینه برق می‌شود. افزایش هزینه اولیه بابت خرید انشعاب با قدرت بالا و از طرفی افزایش هزینه جاری بدلیل پرداخت ماهیانه بهای دیماند ناشی از عدم برآورد مناسب دیماند می‌باشد. جدول پیشنهادی زیر در تعیین دیماند واقعی و کم کردن اختلاف دیماند قراردادی با دیماند مصرفی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مصرف کننده	شیفت		
	اول (KW)	دوم (KW)	سوم (KW)
A ₁	P ₁	P ₁	
A ₂		P ₂	P ₂
A ₃	P ₃		P ₃
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•

•	•	•	•
جمع	D_1	D_2	D_3

دیمانند مورد نیاز برابر است با بیشترین مقدار از بین D_3, D_2, D_1 ($D=D_{max}$)

دیمانند خریداری شده: (دیمانند قراردادی با شرکت برق)

دیمانند مصرفی: (دیمانند واقعی که معمولاً متغیر می‌باشد)

دیمانند محاسباتی: (حداقل ۹۰ درصد دیمانند خریداری شده)

۲-۳-۳- ضریب بار

ضریب بار پارامتر دیگری است که توانائی کارخانه را برای استفاده مؤثر از الکتریسیته اندازه‌گیری می‌کند. در عمل این ضریب، نسبت بار متوسط برای دوره زمانی داده شده به حداکثر باری که در خلال دوره‌زمانی رخ می‌دهد را اندازه می‌گیرد. مؤثرترین شکل مصرف زمانی رخ می‌دهد که ضریب بار در زمانی که E حداقل شده است، در بالاترین مقدار ممکن باشد (همیشه کمتر از یک می‌باشد) ضریب بار به این شکل تعریف می‌شود.

$$LF = \frac{E}{(D_{max})(P)}$$

که در آن:

LF: ضریب بار (بدون بعد)

E: انرژی مصرف در دوره زمانی (KWh) P

Dmax: حداکثر تقاضا در طی دوره زمانی (KW) P

P: دوره زمانی که در آن ضریب بار تعیین می‌شود (برای مثال یک روز، یک ماه، یک سال)

راههای افزایش ضریب بار

عدم راه‌اندازی همزمان موتورهای الکتریکی

کاهش ضریب همزمانی ماشین‌آلات پر مصرف

کاهش دیماند اضافی واحد صنعتی

۲-۳-۴- توان اکتیو و توان راکتیو

توان اکتیو مقدار توان مفیدی است که در تجهیزات برق به مصرف می‌رسد، و از

روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

- مصرف‌کنندگان تک فاز:

$$P=VI \cos\varphi$$

- مصرف‌کنندگان سه فاز:

$$Q = \sqrt{3}VISin\varphi$$

بنابراین هر مصرف‌کننده برق غیر اهمی به مجموع توانهای اکتیو و راکتیو نیاز دارد.

البته با توجه به ماهیت تغییرات جریان و ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی توان کل یا

توان ظاهری (S) از جمع برداری توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) بدست می‌آید.

$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

کسینوس زاویه بین S و P (ϕ) را ضریب قدرت ($\cos\phi$) گویند.

۲-۳-۵- ضریب توان P.F (Power Factor)

همانطور که ذکر شد در حالت عمومی، توان ظاهری بر حسب KVA که باید برای بار تأمین شود، جمع‌برداری توان اکتیو بر حسب کیلووات (KW) و توان راکتیو بر حسب (KVAR) است:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

که در آن :

S : توان ظاهری (KVA)

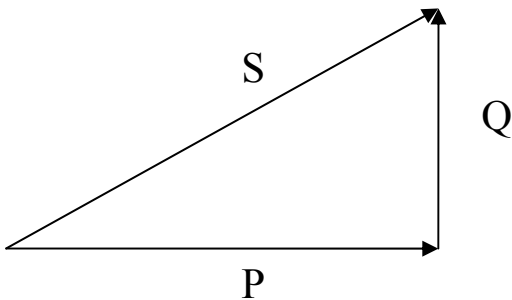
P : توان حقیقی (اکتیو) (KW)

Q : توان راکتیو (KVAR)

پارامتر مفید دیگر ضریب توان است که از این رابطه بدست می‌آید:

$$P.F = \frac{P}{S} = \cos\theta$$

این روابط در شکل زیر ترسیم شده‌اند.



ضریب توان همیشه کوچکتر یا مساوی یک است. مقادیر بالاتر (نزدیک به یک) برای ضریب توان مطلوب می‌باشند زیرا حاکی از آن است که مؤلفه راکتیو بار کوچکتر است. مقدار کم آن به معنی بزرگ بودن مؤلفه راکتیو است.

اهمیت ضریب توان مربوط به مؤلفه راکتیو بار است. اگر چه مؤلفه راکتیو توان تلف شده نیست (این مؤلفه در میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی ذخیره می‌شود)، تجهیزات پست‌های فشار قوی و سیستم توزیع باید به اندازه‌ای باشند که از عهده جریان مورد نیاز توان ظاهری یا جمع‌برداری مؤلفه‌های توان اکتیو و راکتیو برآیند. این کار مستلزم سرمایه و هزینه‌های عملیاتی عظیمی است. هزینه‌های عملیاتی به دلیل تلفاتی که هنگام تأمین مؤلفه راکتیو بار بوجود می‌آید، افزایش پیدا می‌کند.

ضریب توان را می‌توان با افزودن خازن‌هایی به بار، به منظور جبران بخشی از راکتانس القایی بهبود بخشید. سودمندی این روش بستگی به جنبه‌های اقتصادی هر مورد خاص دارد و عموماً نیازمند بررسی و تحلیل دقیق است.

تأثیرات منفی پائین بودن ضریب قدرت

افزایش هزینه برق

افزایش هزینه تجهیزات به لحاظ بزرگتر شدن اندازه آنها

(مانند: کلیدها - فیوزها - کابل‌ها - ترانسفورماتورها)

ایجاد تلفات انرژی الکتریکی در خطوط انتقال و توزیع

کاهش راندمان ترانسفورماتورها

روشهای اصلاح ضریب قدرت

- استفاده از موتورهایی که خوب طراحی شده‌اند
- حتی الامکان استفاده از موتورهایی که با سرعت زیاد به جای موتورهای با سرعت کم
- پرهیز از انتخاب موتور با توان نامی بزرگتر از بار
- نصب خازن
- در صورت امکان استفاده از موتور سنکرون

۲-۴- روشهای اندازه‌گیری قدرت و انرژی الکتریکی

روشهای اصلی اندازه‌گیری انرژی ابزار مهمی برای مدیران انرژی به شمار می‌روند. اندازه‌گیری ابزاری است که می‌توان به کمک آن داده‌های اضافی (برای تکمیل بررسی انرژی و پایش داده‌ها) را به دست آورد. همچنین پایش گاهی اوقات مشکلات بالقوه‌ای را آشکار می‌سازد که آنها را می‌توان توسط اندازه‌گیری تعریف و اصلاح نمود.

جنبه دیگر اندازه‌گیری انرژی حساسی است و در هر برنامه کارآمد مدیریت انرژی حساسی یک امر اساسی می‌باشد. حساسی معمولاً به عنوان مسئولیت فروشنده انرژی شناخته می‌شود. اما وظیفه فروشنده انرژی کاملاً با مدیریت انرژی متفاوت است. وظیفه فروشنده انرژی این است که بر میزان انرژی تحویل شده به یک مشترک نظارت کند و با گرفتن نرخهای مناسب برای صورت حسابها، هزینه مشتری را محاسبه کند. ولی مدیر انرژی می‌خواهد بداند که انرژی در کجا و چگونه مصرف می‌شود و معمولاً به جزئیات آن علاقه‌مند است. در این رابطه، حساسی، سه وظیفه اصلی را برآورده می‌سازد.

اولاً اطلاعاتی راجع به نرخ مصرف انرژی به دست می‌دهد و لذا می‌تواند برای ارزیابی کارایی روشهای مدیریت انرژی مورد استفاده قرار گیرد. ثانیاً می‌تواند اطلاعاتی فراهم آورد که برای کنترل مصرف انرژی و باقی ماندن در محدوده مرزها یا حدود مشخص شده مفید باشد.

ثالثاً اطلاعاتی راجع به کیفیت اجرای برنامه مدیریت به مدیرانرژی باز می‌گرداند. یکی از دلایل اساسی لزوم حسابرسی این است که اطلاعات حاصل از آن می‌تواند به خودی خود به استفاده کارآمدتر از انرژی کمک کند. تجربه نشان می‌دهد که اگر مدیران انرژی اطلاعات حسابرسی شده برای مجموعه خود را دریافت کنند و آن را بازبینی نمایند، صرفاً اطلاع از میزان انرژی مصرفی می‌تواند به صرفه‌جویی در هزینه و انرژی منجر شود. اندازه‌گیری را می‌توان هم با استفاده از دستگاههای موقتی و هم دستگاههای دائمی انجام داد. تجهیزات می‌توانند قابل حرکت یا ثابت باشند. اصولاً ابزارهای دقیق را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود:

- ابزارهای قابل حرکت و دستی
 - دستگاههای ثابت موقتی که قابلیت ثبت یا نشان دادن کمیات را به مدت چندین ساعت ، روز و یا هفته دارا می‌باشند.
 - دستگاههای ثابت دائمی
- کلیه دستگاههایی که برای اندازه‌گیری جریان انرژی به کار می‌روند، این کار را به طور غیر مستقیم انجام می‌دهند. به عنوان مثال دستگاه سنجش کیلووات ساعت مقدار متوسط جریان انرژی را اندازه‌گیری کرده و از روابط معلوم ولتاژ و ضریب قدرت برای تعیین انرژی کل بهره می‌گیرد.

۲-۴-۱- کنتور وات ساعت

واحد اصلی انرژی الکتریکی وات ساعت می‌باشد و آن عبارت است از انرژی مصرف شده در مدت یک ساعت هنگامی که توان یک وات باشد. انرژی معمولاً بر حسب کیلووات ساعت (۱۰۰۰ وات ساعت) به وسیله کنتور کیلووات ساعت (KWh) اندازه‌گیری می‌شود. توجه گردد که هر ژول معادل یک وات ثانیه است و بنابراین یک کیلووات ساعت معادل ۳۶۰۰×۱۰۰۰ ژول می‌باشد.

کنتورهای کیلووات ساعت موتورهای کوچکی می‌باشند که سرعت آنها متناسب با قدرت مصرفی است. اجزای اصلی یک کنتور کیلووات ساعت عبارتند از :

۱ - یک سیم پیچ موازی (یا ولتاژ)

۲ - یک سیم پیچ سری (یا جریان)

۳ - یک سیم پیچی جبرانی

۴ - یک جزء دوار

۵ - یک مکانیزم ثبت کننده

جزء (دیسک) دوار یک مکانیزم ثبت کننده را به کار می‌اندازد که مصرف انرژی بر روی آن نشان داده می‌شود. کنتورهای جریان متناوب از اصل میدان مغناطیسی دوار موتور القایی استفاده می‌کنند. شار مغناطیسی متناوب حاصل از قطبها جریانهایی را در دیسک به وجود می‌آورند . نتیجتاً گشتاوری به وجود می‌آید که متناسب است با حاصلضرب لحظه‌ای جریانهای گردابی در دیسک و شار حاصل از قطبی که جریان حول آن جاری است. این گشتاور باتوان مصرفی در مدار متناسب است. عمل به تأخیر انداختن لازم یا گشتاور شمارنده با استفاده از تأثیر آهن رباهای دائمی بر همان دیسک حاصل می‌شوند.

سیستم‌های چهار سیمه به جز در حالتی که متوازن شده باشند نیاز به سه کنتور تک فاز دارند. کنتورهای سه جزئی با سه دیسک محرک - ترمز بر روی یک محور ساخته می‌شوند و از آنها می‌توان به جای سه کنتور تک فاز استفاده نمود.

در صورتی که ظرفیت مدار بالاتر از ۲۰۰ آمپر باشد، معمولاً از ترانسفورماتورهای جریان استفاده می‌شود تا جریان به ۵ آمپر کاهش یابد. در ولتاژهای بالاتر از ۴۸۰ ولت از ترانسفورماتورهای ولتاژ نیز استفاده می‌گردد تا ولتاژ به ۱۲۰ ولت کاهش یابد.

بسیاری از اعداد تعیین کننده دقت را می‌توان از سازندگان به دست آورد. اما برای تعیین شرایط دقیق کنتورها اطلاعات زیادی مورد نیاز است. با فرض یک سری شرایط خاص معمولاً فرض

می‌شود که کنتورهای کیلووات ساعت مقدار الکتریسیته مصرفی را با خطای دو درصد یا کمتر ثبت می‌کنند. نصب کنتور KWh به عواملی بستگی دارد که عبارتند از : محل نصب کنتور، نوع و ظرفیت کاری، و نیز نوع فعالیت‌های مجموعه.

۲-۴-۲- کنتورهای حداکثر تقاضا (دیماند)

از آنجائی که کنتور KWh اصولاً یک وات سنج کلی است می‌توان از آن برای تعیین توان نیز استفاده نمود و این کار با اندازه‌گیری KWh ثبت شده در یک مدت خاص انجام می‌شود. برخی از کنتورهای KWh دارای یک نشان دهنده و درجه‌بندی اضافی می‌باشند. این نشان دهنده متناسب با سرعت دیسک کنتور به بالای درجه‌بندی حرکت داده شده است. بدین ترتیب این دستگاه اوج نیاز حاصل از بار را نشان می‌دهد. این نوع کنتور را باید به صورت دوره‌ای بر روی صفر تنظیم نمود.

۲-۴-۳- وات سنج

وات سنج معمولاً شبیه کنتور وات ساعت است این دستگاه دارای دو سیم پیچ است ، یکی ثابت که سیم پیچ جریان می‌باشد و یک سیم پیچ دیگر که قابلیت دوران دارد (سیم پیچ ولتاژ) شکل ۲ این کنتور را نشان می‌دهد که به یک بار تک فاز وصل شده است.

جریان ایجاد شده در سیم‌پیچ جریان یک میدان مغناطیسی را ایجاد می‌کند که متناسب با شدت جریان است و سیم‌پیچ دوار (که یک عقربه یا درجه نشان دهنده را به کار می‌اندازد) را بحرکت در می‌آورد که مقدار آن با حاصلضرب این میدان در زاویه فاز بین این دو کمیت متناسب است. نتیجتاً این دستگاه میانگین توان را نشان می‌دهد.

برای دستگاه‌های سه فاز از اتصالات نشان داده شده در شکل ۲ استفاده می‌شود. در روش استفاده از سه کنتور، توان کل مدار برابر است با مجموع مقادیر خوانده شده توسط سه کنتور. دستگاه‌هایی ساخته شده‌اند که دارای دو سری سیم‌پیچ جداگانه هستند که بر روی یک محور مشترک نصب شده‌اند و دو وات سنج نشان داده شده در شکل ۲ را ترکیب نموده و به یک دستگاه تبدیل می‌کنند.

۲-۴-۴- دستگاه‌های قابل حمل برای توان الکتریکی

۲-۴-۴-۱- آمپر سنج چنگکی

دستگاه‌های رایج برای اندازه‌گیری جریان به صورت سری با مدار اندازه‌گیری بسته می‌شوند. اما در بعضی از موارد اتصال سری در مدار برای نصب آمپر سنج امکانپذیر نمی‌باشد. در این موارد آمپرسنج چنگکی به صورت القایی به مدار اتصال می‌یابد. این آمپرسنج از یک یکسو کننده استفاده می‌کند که به ثانویه یک ترانسفورماتور جریان اتصال می‌یابد این ترانسفورماتور به گونه‌ای ساخته شده است که هسته آن را می‌توان به طرز مناسبی دور یک هادی حامل جریان بست تا سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور جریان را تشکیل دهد.

سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور جریان و نیز سیم پیچ متحرک نشان دهنده دارای اتصال چندگانه هستند تا نسبت‌های جریان گوناگونی حاصل شود.

۲-۴-۴-۲- وات متر چنگکی

وسیله دیگری که در داخل خود یک ترانسفورماتور با هسته جداشدنی دارد وات متر چنگکی است. برای اندازه‌گیری توان در مدارهای تک فاز و چند فاز به کار می‌رود. این وسیله که ظاهر آن شبیه آمپرسنج فوق‌الذکر است از یک وات سنج فرودینامیک تشکیل شده است که میدان آن

توسط هادی حامل جریان از طریق هسته تحریک می‌شود. با استفاده از یک سیستم متحرک فنر دار، ظرفیت مقیاس حاصله مستقیماً با مقاومت مدار پتانسیل متناسب است. با استفاده از این طرح می‌توان انتخاب محدوده اندازه‌گیری را با قطع و وصل کردن مدار پتانسیل توسط دست انجام داد.

۲-۴-۴-۳ - ضریب قدرت سنج چنگکی

وسیله دیگر از این نوع دستگاه چنگکی برای اندازه‌گیری ضریب قدرت است. این وسیله میزان پیش فاز یا پس فاز ضریب قدرت در هر مدار سه فاز متعادل از ۱۰۰ تا ۶۰۰ ولت و از ۱۵ تا ۶۰۰ آمپر را اندازه‌گیری می‌کند. این وسیله در اصل یک گالوانومتر است که سیم‌پیچ آن در میدان مغناطیسی حاصل از جریان جاری شده در هادی یک خطی حرکت می‌کند.

سیم‌پیچ توسط مدار پتانسیل تحریک می‌شود. رابطه فاز در ولتاژ سیم‌پیچ توسط پتانسیومتری کنترل می‌شود که بین دو فاز وصل شده است. عقربه پتانسیومتر آنقدر چرخانده می‌شود که گالوانومتر متعادل می‌گردد (نقطه صفر) و جابجایی ولتاژ نسبت به جریان 90° شود. در این شرایط می‌توان ضریب قدرت را مستقیماً از روی درجه بندی پتانسیومتر قرائت نمود.

۲-۴-۴-۴ - دستگاه‌های A-C چند محدوده‌ای (آنالیزورهای توان)

فیدرهای تغذیه بخشهای اصلی کارخانه و فیدر اصلی در طی مدت حداقل ۲۴ ساعت و در بعضی موارد به مدت طولانی‌تر مورد اندازه‌گیری آنالیزورهای برق قرار می‌گیرند. پارامترهای مورد سنجش عبارتند از توان مصرفی (اکتیو- راکتیو)، ضریب قدرت و جریانهای سه فاز می‌باشد. تغییرات منحنی بار مصرف کنندگان در قالب نمودار و شامل ماکزیمم و می‌نیمم دیماندر مصرفی و همچنین مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده بر حسب kWh در مدت اندازه‌گیری ارائه می‌گردد.

نمودار ضریب قدرت ($\cos \phi$) بیانگر تغییرات ضریب قدرت، حداکثر و حداقل آن طی مدت اندازه‌گیری است. در مقایسه این نمودار با نمودار منحنی بار نشان می‌دهد که با افزایش توان مصرفی مقدار ($\cos \phi$) افزایش و با کاهش ضریب قدرت مقدار ($\cos \phi$) کاهش می‌یابد. به عبارتی بهره‌برداری از حداکثر ظرفیت تجهیزات موجب بهبود ضریب توان می‌شود.

نمودار جریانهای سه فاز که به سه رنگ مختلف برای هر فیدر قابل ترسیم است تعادل مقدار جریان بین سه فاز را نشان می‌دهد. منطبق شدن هر سه نمودار روی هم بیانگر تعادل فاز کامل می‌باشد، و فاصله گرفتن نمودارها از یکدیگر عدم تعادل مقدار جریان فازها را نشان می‌دهد. البته انطباق کامل هر سه فاز معمولاً وجود ندارد چرا که مقدار جریانهای سه فاز در هر صورت تفاوت جزئی با هم دارند. لذا سهم درصدی مقدار جریان هر فاز بین ۳۲ تا ۳۴ درصد می‌باشد که در اینصورت گفته می‌شود تقارن جریان فازها برقرار است.

نمودار دیگری که در مدیریت انرژی قابل استفاده است نمودار هیستوگرام می‌باشد. در نمودار هیستوگرام، مصرف توانها بین حداکثر و حداقل مقدار مصرف شده در مدت اندازه‌گیری بر حسب درصدی از زمان بررسی شده بصورت نمودار ترسیم گردیده است. با یک نگاه به نمودار کاملاً مشخص می‌شود که بیشترین زمان بهره‌برداری از توان و یا ظرفیت یک الکتروموتور، ترانسفورماتور و یا یک دستگاه و همچنین دیماند کارخانه در چه محدوده‌ای توان بوده است. به عبارتی نمودار نشان می‌دهد که آیا از ظرفیت نامی و یا نزدیک ظرفیت اسمی از یک مصرف کننده بهره‌برداری شده است یا خیر، که در

صورت امکان اقدامات لازم باید صورت گیرد. نمونه ای از منحنی بار یک واحد صنعتی اندازه‌گیری شده در صفحات بعد آورده شده است.

منحنی بار شبکه سراسری طی مدت شبانه‌روز دارای وضعیت حداکثر و حداقل مصرف می‌باشد. حداکثر مصرف تقریباً دو برابر حداقل مصرف می‌باشد. مدت زمان حداکثر بار، ساعات اوج یا پیک مصرف شبکه و مدت زمان حداقل بار، ساعات کم باری شبکه نامیده می‌شود. ساعات پیک مصرف پس از غروب آفتاب و تاریک شدن هوا تا نزدیک نیمه شب اتفاق می‌افتد. در تعرفه‌های برق مدت تعیین شده برای ساعات پیک ۴ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول سال با شش ماهه دوم، یک ساعت متفاوت است. در شش ماهه اول سال بین ساعات ۱۹ الی ۲۳ و در شش ماهه دوم سال بین ساعات ۱۸ الی ۲۲ می‌باشد. ساعات کم باری بعد از نیمه شب و یا کم شدن شدید مصرف‌کنندگان شروع می‌شود و تا اوایل صبح ادامه دارد. مدت تعیین شده برای ساعات کم باری ۸ ساعت و زمان آن در شش ماهه اول از ساعت ۲۳ الی ۶ و در شش ماهه دوم از ساعت ۲۲ الی ۷ است. بقیه مدت شبانه‌روز، ساعات عادی تلقی می‌شود.

تفاوت زیاد مصرف بین ساعات پیک و غیر پیک. از لحاظ تولید و عرضه برق، افزایش تلفات، ناپایداری و غیر اقتصادی بودن تأمین انرژی الکتریکی در نیروگاهها را به دنبال دارد. لذا اصلاح منحنی بار شبکه و افزایش ضریب بار (L.F) مستقیماً متأثر از منحنی بار مصرف‌کنندگان است. تأمین توان در نیروگاه بستگی به دیماندر مصرفی مشترکین دارد. مطالعه و انجام ممیزی در فرآیندهای صنعتی، مدیریت در بخش‌های خانگی و تجاری راهکارهای افزایش ضریب بار و کاهش تقاضا در ساعات پیک را مشخص خواهد کرد.

همانطور که قبلاً نیز اشاره گردید اقدامات کلی در تغییر و اصلاح منحنی بار عبارتند از:

۱. پیک سائی (Peal Shaving)

۲. دره پر کنی (Valley Filling)

۳. انتقال بار (Load Shifting)

۱ - **پیک سائی (حذف بار در ساعات پیک شبکه)** - این روش در مورد بارهایی می‌تواند اعمال شود که به صورت غیر ضروری در ساعات پیک استفاده می‌شود و قطع آنها صدمه‌ای بر روند تولید از نظر کیفی و کمی ندارد.

۲ - **پر کردن دره (افزایش بار در ساعات غیر پیک شبکه)** - در صورتی که در ساعات غیر پیک خصوصاً شب مصرف پائین باشد، با افزایش آن باعث پر کردن دره در منحنی بار شبکه و در نتیجه بالا بردن ضریب بار شبکه می‌شویم. برنامه‌ریزی جهت ایجاد مصرف جدید در راستای افزایش تولید و یا طرح توسعه.

۳ - **انتقال پیک (انتقال بار از ساعات پیک به غیر پیک)** - در واقع مهمترین عامل در اجراء مدیریت بار و تأثیر آن بر روی منحنی بار انتقال بار از ساعات پیک به غیر پیک می‌باشد.

۱-۱-۳- تعرفه‌های برق و مدیریت تقاضا

۱-۲-۳- تعرفه‌های برق بخش صنعت

اجزای تشکیل دهنده بهای برق بر اساس تعرفه‌های وزارت نیرو که در هر دوره قرائت

کنطور در قبوض برق اعمال می‌شود به شرح ذیل است:

۱. بهای انرژی اکتیو : قیمت مصرف اکتیو به ازاء یک کیلووات ساعت (KWh/ریال)

۲. بهای دیماند : قیمت توان مصرفی به ازای یک کیلووات (KW/ریال)

۳. بهای انرژی راکتیو: هزینه مصرف انرژی راکتیو بیش از مقدار مجاز

۴. ضریب فصلی : افزایش ۲۰ درصد بهای برق در فصل تابستان

۵. اعمال ضرایب ساعات پیک و کم باری طی مدت شبانه‌روز

موارد فوق و اعمال هر یک در تعیین کل هزینه برق یک واحد یا مشترک صنعتی، بهای برق

در قالب دو گزینه ۱ و ۲ طبق تعرفه‌های تعیین شده از طرف وزارت نیرو، مورد محاسبه قرار

می‌گیرد. مصرف کنندگان برق در ابتدای هر سال با توجه به شرایط مصرف برق کارخانه و وضعیت

تولید، می‌توانند یکی از گزینه‌ها را انتخاب نمایند. لذا بهای برق برای هر دو گزینه در جداول ذیل

آورده شده است.

قابل ذکر است قیمت در اینجا بر مبنای تعرفه‌های سال ۸۳ می‌باشد.

۱- بهای انرژی اکتیو

انشعاب			گزینه
فشار قوی (تا ۶۳ KV)	فشار متوسط (تا ۱۱ KV)	فشار ضعیف (تا ۳۰ KW)	
۱۳۴/۵	۱۴۲/۵	۱۶۱/۵	۱
۱۵۰/۳	۱۶۲/۲	۱۸۲/۷	۲

ارقام در جدول فوق به ریال می‌باشد (قیمت یک کیلووات ساعت انرژی اکتیو)

انشعاب فشار قوی شامل کلیه انشعابهای بیش از ۶۳ کیلووات می‌باشد .

انشعاب فشار متوسط شامل کلیه انشعابها با ولتاژ بیش از ۱۱ کیلووات و کمتر از

۶۳ کیلووات می‌باشد .

انشعاب فشار ضعیف شامل کلیه انشعابها با ولتاژ کمتر از ۱۱ کیلووات تا قدرت

بیش از ۳۰ کیلووات می‌باشد.

۲- بهای دیماند

بهای یک کیلووات دیماند قراردادی (KW/ریال)

گزینه	۱	۲
قیمت	۱۱۸۷۰	۵۹۳۵

نحوه محاسبه هزینه دیماند

حالت سوم	حالت دوم	حالت اول	دیماند
بیش از ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی	بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد دیماند قراردادی	کمتر از ۹۰ درصد دیماند قراردادی	مصرفی
۱۰۰ درصد دیماند قراردادی و جریمه	دیماند خوانده شده	۹۰ درصد دیماند قراردادی	محاسباتی

دیماند قراردادی ، مقدار توان بر حسب کیلووات (KW) که از وزارت نیرو توسط

مشترک خریداری شده است .

دیماند مصرفی ، مقدار حداکثر توان مصرفی یک واحد صنعتی در یک دوره قرائت

کنترل که توسط ماکسیمتر ثبت شده است .

دیماند محاسباتی ، مقدار توان مورد محاسبه بر مبنای جدول فوق برای دریافت کل

هزینه دیماند می‌باشد.

۳- بهای انرژی راکتیو

با توجه به محدوده ضریب قدرت ($\cos \phi$) که حداقل مجاز آن ۰/۹ می‌باشد ، اعمال

هزینه انرژی راکتیو (KVAR) در قبوض برق نیاز به محاسبه ضریب قدرت ($\cos \phi$)

مصرف کننده می‌باشد. ضریب زیان تعیین کننده هزینه راکتیو است که از روابط زیر

بدست می‌آید.

$$\cos \phi = \frac{\text{مصرف اکتیو}}{\sqrt{(\text{مصرف انرژی راکتیو})^2 + (\text{مصرف انرژی اکتیو})^2}}$$

$$\text{ضریب زیان} = \frac{0.9}{\cos\phi} - 1$$

هزینه انرژی راکتیو در یک دوره مشخص قرائت کنتور یا یک مرحله صدور قبض برق،

برابر است با حاصل ضرب عدد ضریب زیان در مجموع هزینه دیماند و هزینه انرژی .

۴- ضریب فصلی

به علت افزایش مصرف برق در فصل تابستان بهای برق شامل بهای انرژی ، بهای

دیماند و هزینه راکتیو به میزان ۲۰ درصد در ماههای تیر ، مرداد و شهریور نسبت به سایر

فصول سال بیشتر است.

بهای انرژی اکتیو و دیماند مطابق جدول زیر تغییر می‌یابد

بهای دیماند (ریال/KW)	بهای انرژی (ریال/KWh)			گزینه
	انشعاب			
	فشار ضعیف (تا ۳۰ KW)	فشار متوسط (تا ۱۱ KV)	فشار قوی (تا ۶۳ KV) (
۱۴۲۴۴	۱۹۳/۸	۱۷۱	۱۶۱/۴	۱
۷۱۲۲	۲۱۹/۲۴	۱۹۴/۶۴	۱۸۰/۳۶	۲

۵- ضرایب ساعات پیک و کم باری

به منظور افزایش ضریب بار شبکه سراسری برق کشور و کاهش مصرف برق در

ساعات پیک (مدت ۴ ساعت) و توزیع مناسب‌تر تقاضای توان ، ضرایب افزایش و کاهش

بهای برق در قالب کنتورهای دو تعرفه و سه تعرفه مطابق جدول زیر می‌باشد .

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

ضرایب محاسبه			نوع کنتور	
ساعات کم باری	ساعات پیک	ساعات عادی		
-	۱/۸	۱	دو تعرفه	
۰/۲۵	۳/۳	۱	سه تعرفه	
۲۳-۷	۱۹-۲۳	۷-۱۹	شش ماهه اول	مدت
۲۲-۶	۱۸-۲۲	۶-۱۸	شش ماهه دوم	

تعیین ضریب قدرت و ضریب زیان

اطلاعات واقعی استخراج شده از یک دوره قبض برق صنعتی در اینجا مورد بررسی قرار گرفته است.

نوع کنتور : سه تعرفه

مصرف اکتیو ساعات عادی (معمولی) : ۲۸۳۲۰۰ (KWh)

مصرف اکتیو ساعات پیک (اوج بار) : ۷۵۲۰۰ (KWh)

مصرف اکتیو ساعات کم باری : ۱۶۷۲۰۰ (KWh)

مصرف انرژی راکتیو : ۵۲۴۰۰۰(KVAR)

محاسبات جهت تعیین ضریب قدرت ، ضریب زیان ، هزینه راکتیو و هزینه کل برق :

کل مصرف اکتیو (KWh) = ۲۸۳۲۰۰ + ۷۵۲۰۰ + ۱۶۷۲۰۰ = ۵۲۵۶۰۰

$$\text{Cos}\phi \text{ ضریب قدرت} = \frac{۵۲۵۶۰۰}{\sqrt{۵۲۵۶۰۰}^2 + (۵۲۴۰۰۰)^2} = ۰/۷۱$$

$$\text{ضریب زیان} = \frac{۰/۹}{۰/۷۱} - ۱ = ۰/۲۷۱۲$$

(هزینه دیمانند + هزینه انرژی اکتیو) / ۲۷۱۲ = هزینه راکتیو

هزینه دیمانند + هزینه اکتیو + هزینه راکتیو = کل هزینه برق

۳-۲- توصیه‌های مدیریت بار در دو کارخانه

– مدیریت در کارخانه شماره ۱

جابجایی بار Peak Shifting

پیک سایبی را می‌توان از طریق مهار مستقیم بخشی از مصارف انجام داد، با توجه به سه شیفت بودن بخشهای مختلف کارخانه امکان پیک‌سایبی در این قسمت‌ها منتفی است اما تغییر ساعات کاربری ماشین‌آلات و دستگاههای ناپیوسته (Batch) و انتقال آنها به ساعات غیر پیک صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای را در پی خواهد داشت.

با بررسی‌های بعمل آمده در واحدهای سنگ‌شکن و بالمیل‌های دوغاب معمولی، این واحدها را می‌توان در زمان اوج بار خاموش کرده تولید این واحدها را به ساعات غیر پیک منتقل نمود .
با توجه به ظرفیت مخزن بالمیل‌های دوغاب و ظرفیت تولید واحد اسپری درایر امکان خاموش نمودن دستگاهها در ساعات اوج بار وجود دارد در این صورت میزان صرفه‌جویی بعمل آمده به شرح ذیل خواهد بود.

متوسط توان مصرفی واحد سنگ شکن در ساعات اوج بار ۷ KW

متوسط توان مصرفی ۱۲ واحد بالمیل‌های دوغاب در ساعات اوج بار ۳۷۵ KW

ظرفیت مخزن بالمیل‌های دوغاب

$$190 \text{ m}^3 \times 1/6 = 30.4 \text{ Ton}$$

میزان صرفه‌جویی بعمل آمده حاصل از جابجایی پیک

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

ریال در سال $56000000 =$ (تفاوت ضریب عادی با اوج بار) $0.82 \times$ (ریال) $148/8 \times$ (روز) $300 \times$ (ساعت) $4 \times$

382 (KW)

با نصب کنتور سه تعرفه صرفه‌جویی هزینه حاصل از جابجایی پیک به شرح ذیل خواهد بود:

ریال $10700000 =$ ریال $(270/8 - 37/2) \times$ روز $300 \times$ ساعت $4 \times$ 382 KW

در مجموع جابجایی پیک با کنتور دو تعرفه معادل 56 میلیون ریال و با کنتور سه تعرفه 107 میلیون ریال در سال صرفه‌جویی هزینه برق خواهد داشت .

با بررسی بعمل آمده بر روی قبوض برق مربوط به سالهای 1381 و 1382 مشخص گردید که بهای برق محاسباتی کارخانه در قالب گزینه 2 انجام می‌شود . با تجزیه و تحلیل قبوض 5 ماه که شامل مصرف برق 170 روز می‌باشد ، مجموع بهای برق این تعداد روز 157400000 ریال بوده که با انتخاب گزینه 1 مجموع بهای برق برای همین تعداد روز با همان مصارف 148700000 ریال خواهد شد .

لذا با انتخاب گزینه 1 بجای گزینه 2 حدوداً به میزان 180 میلیون ریال (یک صد و هشتاد میلیون ریال) در طول سال کاهش هزینه برق بدنبال خواهد داشت. محاسبات در جدول صفحه بعد ارائه شده است .

180000000 ریال صرفه‌جویی اقتصادی برای

انتخاب گزینه 1 :

جایگزینی کنتور سه تعرفه

در کنتورهای سه تعرفه ساعات عادی، اوج بار، کم باری به ترتیب ۱۲ ساعت، ۴ ساعت و ۸ ساعت می‌باشد که البته این زمانبندی برای کنتورهای دو تعرفه ۲۰ ساعت برای ساعات عادی و ۴ ساعت برای اوج بار تعیین شده است.

کنتور سه تعرفه		عادی	اوج بار	کم باری
ساعات فصل	زمستان	۶-۱۸	۱۸-۲۲	۲۲-۶
	تابستان	۷-۱۹	۱۹-۲۳	۲۳-۷
سهم زمانی تعرفه‌ها (درصد)		۵۰	۱۶/۷	۳۳/۳
ضریب محاسبه قیمت برق		۱	۳/۳	۰/۲۵

کنتور دو تعرفه		عادی	اوج بار
ساعات فصل	زمستان	۲۲-۱۸	۱۸-۲۲
	تابستان	۲۳-۱۹	۱۹-۲۳
سهم زمانی تعرفه‌ها (درصد)		۸۳/۳	۱۶/۷
ضریب محاسبه قیمت برق		۱	۱/۸۲

با بررسی قبوض برق سالهای ۲-۱۳۸۱ و با توجه به اندازه‌گیریهای انجام شده در طول دوره ممیزی انرژی توسط دستگاههای آنالیزور توان و با عنایت به اینکه استفاده از کنتور سه تعرفه برای کلیه کارخانجات تا پایان سال ۱۳۸۳ اجباری گردیده است. لذا بررسی وضعیت انرژی مصرفی و هزینه برق کارخانه با استفاده از کنتورهای سه تعرفه الزامی می‌باشد.

در صورت استفاده از کنتور سه تعرفه و با عنایت به اندازه‌گیریهای روزهای یکشنبه ۸۳/۲/۲۷ تا روز شنبه ۸۳/۳/۲ و با احتساب ضرایب ۱ برای ساعات عادی، ۳/۳ برای ساعات اوج بار و ۰/۲۵ برای ساعات کم باری سالانه در حدود ۱۵ میلیون ریال صرفه‌جویی اقتصادی شامل خواهد شد.

صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از تعویض کنتور ۱۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال

هزینه نصب کنتور سه تعرفه ۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

بازگشت سرمایه ۴ ماه می‌باشد .

استفاده از تعرفه جمعه

با توجه به اینکه برخی از تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه مانند کوره‌ها و ... در روزهای جمعه نیز مشغول بکار می‌باشند استفاده از کنتورهای تعرفه جمعه علاوه بر ثبت مصرف این بخشها باعث کاهش هزینه برق نیز خواهد شد .

در روزهای جمعه بهای انرژی ساعات اوج بار در مور اشتراکهای دارای کنتور سه تعرفه با ضریب ۰/۷۶ محاسبه می‌شود و در مورد اشتراکهای دارای کنتور دو تعرفه بهای انرژی ساعات اوج بار و کم باری معادل بهای انرژی ساعات عادی می‌باشد .

انرژی مصرفی در ساعات اوج بار در روزهای جمعه در سال 230000 KWh/year

هزینه اوج بار مصرفی روزهای جمعه در کنتور دو تعرفه در سال ۶۲۳۰۰۰۰۰ ریال

کاهش هزینه انرژی با استفاده از کنتور تعرفه جمعه در سال ۱۴۹۰۰۰۰۰ ریال

هزینه نصب کنتور تعرفه جمعه ۳۰۰۰۰۰۰ ریال

بازگشت سرمایه ۳ ماه می‌باشد .

لازم به ذکر است هزینه‌های انرژی بر مبنای سال ۱۳۸۲ محاسبه گردیده است و هزینه نصب

کنتور سه تعرفه و جمعه جمعاً در حدود ۸۰۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد .

– مدیریت بار در کارخانه شماره ۲

پیک سائی در آسیابهای دوغاب

(بالمیل‌های تهیه بدنه)

تولید سالانه بر اساس آمار دریافتی در مدت سه روز اندازه‌گیری (از ۶ صبح مورخ

۷۷/۱۱/۲۷ الی ۶ صبح مورخ ۷۷/۱۱/۳۰) برابر است با :

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

$$\text{متوسط تولید روزانه} = 37424 \div 3 = 12475 \text{ m}^2$$

$$\text{متوسط تولید سالیانه} = 12475 \times 335 = 4179013 \text{ m}^2$$

با توجه به ظرفیت تولید اسمی کارخانه ، ۴/۰۰۰/۰۰۰ متر مربع در سال ، تولید کاشی طی سه روز اندازه‌گیری مصرف برق در حد ظرفیت اسمی بوده است. مصرف انرژی الکتریکی سالیانه بر اساس اندازه‌گیری برابر است با :

$$\text{میانگین مصرف انرژی الکتریکی روزانه} = 7313 \text{ KWh}$$

$$\text{میانگین مصرف انرژی الکتریکی سالیانه} = 7313 \times 335 = 2449875 \text{ KWh}$$

درصد سهم مصرف و ضرایب هزینه برق در ساعات شبانه روز

بی باری	اوج بار	عادی	
۴۰/۵	۱۷/۵	۴۲	درصد سهم مصرف واقعی
۳۳	۱۷	۵۰	درصد سهم مصرف یکنواخت
۰/۴	۲/۵	۱	ضریب هزینه (K)

با توجه به جدول فوق و مصرف سالیانه 2449875 KWh در این واحد، هزینه سالیانه برق با وضعیت فعلی طبق جدول زیر می‌باشد: محاسبه هزینه‌ها طبق رابطه زیر انجام شده است:

$$K \times 1/05 \times 63/5 \times (\text{درصد سهم مصرف واقعی}) \times (\text{KWh سالیانه}) = \text{هزینه سالیانه هر}$$

نوبت (ریال)

جمع کل	کم باری	اوج بار	عادی	
--------	---------	---------	------	--

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

۱۶۴/۵	۲۶/۳۲	۷۱	۶۷/۲	هزینه (میلیون ریال)
-------	-------	----	------	--------------------------

جهت کاهش هزینه برق این واحد با مصرف سالیانه 2449875 kWh ، سه طرح مدیریت مصرف پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مصرف 7313 kWh طی ۲۴ ساعت حاصل از اندازه‌گیری و توان هر بالمیل برابر 90 KW ، بالمیل ساعت مورد نیاز برابر است با:

$$7313 \div 90 = 81/3$$

با در نظر گرفتن مدت ۸ الی ۹ ساعت (میانگین $8/5$ ساعت) برای هر دوره کار بالمیل، بطور متوسط تعداد بالمیل‌های مورد نیاز طی ۲۴ ساعت برابر است با:

$$81/3 \div 8/5 = 9/6$$

پس طی ۲۴ ساعت تعداد ۱۰ بالمیل موجود، بطور متوسط هر کدام تنها یکبار مورد

بهره‌برداری قرار می‌گیرند:

ظرفیت مخازن ذخیره دوغاب با حجم 260 m^3 برابر است با :

$$260 \text{ m}^3 \times (1/57) = (408/2) \text{ تن}$$

مقدار دوغاب تولیدی از ۱۰ بالمیل در یک دوره کار برابر است با :

$$10 \times 23 = 230 \text{ (تن)}$$

بنابراین مخازن موجود ، گنجایش ذخیره‌سازی دوغاب، تا ۱/۵ برابر مقدار مورد نیاز را

دارند.

با فرض اینکه عنوان ضریب رزرو بالمیل‌ها ($0 < r < 1$) و ($r - 1$) تعداد بالمیل‌های

مورد بهره‌برداری طی ۲۴ ساعت ، سه طرح پیشنهاد به شرح زیر است:

پیکسائی در آسیاب‌های لعاب

منحنی بار طی ۴ روز مصرف برق دریافتی از فیدر این واحد، نشان می‌دهد که

بالمیل‌های تقریباً بطور یکنواخت در طول شبانه‌روز و بدون توجه به ساعات پیک مورد

بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در صورتیکه با برنامه‌ریزی و باتوجه به ۱۱ ساعت کارکرد هر

بالمیل در یک شارژ، ۲۸۰۰۰ لیتر مصرف روزانه لعاب، با بکارگیری بالمیل‌ها در ۸ ساعت

کم باری و ۳ ساعت از بار عادی تأمین می‌گردد.

– محاسبه هزینه فعلی مصرف برق:

توان مورد نیاز :

$$4 \times 22 + 4 \times 15 = 148 \text{ (KW)}$$

مصرف سالیانه برق :

$$148 \times 11 \times 335 = 545400 \text{ (KWh)}$$

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

میانگین هزینه یک کیلووات ساعت :

$$۱۲ + ۸ \times ۰/۴ + ۴ \times ۲/۵ \div ۲۴ \times ۶۳/۵ = ۶۶/۶۷ \text{ (ریال)}$$

هزینه فعلی مصرف برق :

$$۵۴۵۴۰۰ \times ۶۶/۶۷ \times ۱/۰۵ = ۳۸/۱۸ \text{ (میلیون ریال)}$$

با اعمال مدیریت مصرف و انتخاب یکی از سه حالات ممکن پیشنهادی در جدول زیر ضمن پیک‌سائی شبکه ، صرفه‌جویی در هزینه مصرف برق این واحد نیز حاصل خواهد شد.

در این جدول هزینه هر کیلووات ساعت مصرف برق بر اساس فعال بودن بالمیل‌ها در ۸ ساعت کم باری و ۳ ساعت از بار عادی محاسبه شده است که برابر است با :

$$۸ \times ۰/۴ + ۳ \times ۱ \div ۱۱ \times ۶۳/۵ = ۳۵/۷ \text{ (ریال)}$$

کاهش هزینه مصرف برق نسبت به هزینه فعلی (۳۸/۱۸ میلیون ریال)

حالات ممکن	توان (KW)	حجم روزانه تولید لعاب	کیلووات ساعت سالیانه	هزینه سالیانه (میلیون ریال)	صرفه‌جویی نسبت به هزینه فعلی (میلیون ریال)
اول	$۴ \times ۲۲ + ۴ \times ۱۵$	$۲۰۰۰۰ + ۸۰۰۰$	۵۴۵۴۰۰	۲۰/۴	۱۷/۸
دوم	$۵ \times ۲۲ + ۲ \times ۱۵$	$۲۵۰۰۰ + ۴۰۰۰$	۵۱۵۹۰۰	۱۹/۴	۱۸/۸
سوم	$۵ \times ۲۲ + ۱۵ + ۷/۵$	$۲۵۰۰۰ + ۲۰۰۰ + ۵۰۰$	۴۸۸۳۰۰	۱۸/۳	۱۹/۸

۴- تلفات در سیستم‌های قدرت و راهکارهای کاهش آن

انرژی تولیدی در نیروگاه‌های برق پس از کسر مصرف داخلی نیروگاه‌ها بعنوان انرژی الکتریکی خالص به شبکه‌های انتقال تحویل می‌گردد و پس از طی مسیر خطوط، پست‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع، بخشی از آن در سطوح انتقال و فوق توزیع و مابقی در سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد.

در مسیر یاد شده، بخشی از انرژی تولیدی به دلایل ذیل تلف می‌شوند.

- خصوصیات ذاتی تجهیزات شبکه

- نامناسب بودن تجهیزات

- وجود مشکلاتی در شبکه

- استفاده غیرمجاز توسط برخی از مصرف‌کنندگان

آنچه که به مشترکین برق جهت استفاده در وسایل برقی تحویل می‌گردد، نسبت به انرژی تولید شده در نیروگاه‌ها و انرژی تحویل شده در ابتدای شبکه‌های انتقال تفاوت دارد که تحت عنوان مصرف داخلی نیروگاه و تلفات شبکه خوانده می‌شود و به غیر از بخشی از آن که ناشی از خصوصیات ذاتی تجهیزات شبکه است، بقیه قابل بررسی، کنترل و کاهش می‌باشد که البته بررسی اقتصادی هر فعالیت در راستای کاهش تلفات ضروری است تا هزینه و منافع آن تراز گردد.

عمده تلفات در ساعات اوج بار اتفاق می‌افتد که لازم است تأسیسات تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیاز ساعات اوج بار احداث گردند و بدیهی است که این تأسیسات تنها چند ساعت در شبانه‌روز مورد استفاده کامل قرار خواهند گرفت. لذا با عنایت به این مسئله، باید سرمایه‌گذاری کلان برای تأمین حداکثر نیاز و کاهش تلفات انجام داد و یا عدم سرمایه‌گذاری، معادل با اعمال خاموشی و حفظ تلفات در وضع روند فعلی آن خواهد بود.

بخشی از انرژی تولید شده توسط هر نیروگاه در همان نیروگاه به مصارف مختلف می‌رسد که تحت عنوان مصرف داخلی نیروگاه است. از این دیدگاه، هر نیروگاه بعنوان یک مصرف‌کننده بزرگ

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

در نظر گرفته می‌شود که مقدار مصرف آن قابل محاسبه، کنترل و احتمالاً کاهش است. مصرف داخلی نیروگاه حدوداً ۵ درصد از انرژی تولید شده را بخود اختصاص می‌دهد. با کسر مصرف داخلی هر نیروگاه از مقدار انرژی ناخالص تولید شده آن، انرژی خالص تحویلی به شبکه بدست می‌آید که در طول شبکه‌ها دارای دو بخش تلفات می‌باشد.

بدلیل بالا بودن سطح ولتاژ و اتصالات کم در طول مسیر شبکه‌های "انتقال و فوق توزیع" تلفات در این سطح پایین و در حدود ۵ درصد می‌باشد ولی در "شبکه‌های توزیع" بدلیل پایین بودن سطح ولتاژ، اتصالات و انشعابات بسیار زیاد و پراکندگی و گستردگی این شبکه‌ها، تلفات آنها بالا و بیش از ۱۰ درصد است.

در سال ۱۳۸۱ تولید انرژی ناویژه در نیروگاه‌های کشور ۱۳۷۷۸۴ گیگاوات‌ساعت بوده است که از این میزان ۶۳۶۷ گیگاوات‌ساعت صرف مصارف داخلی نیروگاه شده است. انرژی تحویلی به شبکه انتقال نیز به ۱۲۸۳۲۴ گیگاوات‌ساعت رسیده است که به میزان ۶۸۲۷ گیگاوات‌ساعت آن صرف تلفات شبکه انتقال و فوق توزیع شده است (۵/۳ درصد) و انرژی تحویلی به شبکه توزیع ۱۱۰۳۸۷ گیگاوات‌ساعت بوده است که حدود ۱۶۶۲۲ گیگاوات‌ساعت آن در سطح شبکه‌های توزیع تلف شده است (۱۴/۹۷ درصد) با احتساب ۱/۴ میلیون دلار برای نصب هر مگاوات ظرفیت نیروگاه و حداقل ۳۳۰ ریال قیمت تمام شده برای هر کیلووات‌ساعت انرژی الکتریکی و ۲۰۰ گرم آلایندگی کربن به ازای هر کیلووات‌ساعت انرژی برق می‌توان خسارات عظیم ناشی از تلفات قابل پیشگیری را در سطح شبکه برق محاسبه نمود.

چنانچه بتوان تلفات شبکه را از ۱۸ درصد به ۱۰ درصد رساند در این صورت سالانه به احداث ۲۴۰۰ مگاوات ظرفیت نیروگاهی نیاز نخواهد بود که ارزش معادل ۳/۴ میلیارد دلار خواهد داشت و علاوه بر این بیش از ۳۴۴۰ میلیارد ریال در هزینه تولید انرژی الکتریکی صرفه‌جویی می‌شود و بیش از ۲ میلیون تن آلایندگی کربنی به جو کشور وارد نخواهد شد. به عبارت دیگر هر نیم درصد کاهش تلفات سالانه بیش از ۲۲۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی به‌مراه خواهد داشت.

۴-۱- انواع تلفات در سیستم قدرت :

مؤلفه‌های عمده تلفات را می‌توان در قالب تلفات فنی و غیرفنی دسته‌بندی نمود که در اینجا ما فقط بر روی تلفات فنی تمرکز خواهیم کرد که به نوبه خود به سه بخش تلفات فنی در سیستم تولید، انتقال و توزیع دسته‌بندی می‌شود.

۴-۱-۱- تلفات فنی در سیستم تولید :

در این بخش تلفات عمدتاً ناشی از خصوصیات ذاتی تجهیزات است و امکان کاهش آن و به عبارت دیگر پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در این بخش زیاد نیست. اجزاء اصلی تلفات در این سیستم عبارتند از:

- تلفات موتورهای الکتریکی و ترانسفورماتورها
- تلفات سیستم تأسیسات شامل تهویه مطبوع و روشنایی
- تلفات ناشی از سیستم خنک‌کننده ژنراتور

۴-۱-۲- تلفات فنی در سیستم انتقال فوق توزیع :

عمده تلفات در این بخش بشرح زیر می‌باشد.

- تلفات ناشی از مقاومت خطوط
- “ “ صحیح نبودن اتصالات
- “ “ عدم تقارن فازها
- تلفات ذاتی تجهیزات از قبیل ترانسفورماتورها، کلیدها، وسایل اندازه‌گیری و
- تلفات ناشی از پخش بار نامناسب .

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

- تلفات ناشی از افزایش بار در ساعات پیک و ضریب بار نامناسب (با ضریب بار ۶۵/۷ درصد تلفات در ساعات پیک حدوداً ۲/۳ برابر می‌شود)
- تلفات ناشی از اضافه بار کابل‌ها و ترانسفورماتورها
- تلفات کرونا
- تلفات عایقی (جریان ناشی و تلفات هیستریزیس)
- تلفات ناشی از فرسودگی تجهیزات
- تلفات ناشی از عبور توان راکتیو
- تلفات ناشی از انتشار امواج الکترومغناطیسی و القای مغناطیسی

۴-۱-۳- تلفات فنی در سیستم توزیع :

- در سیستم توزیع تلفات فنی بدلیل گستردگی سیستم و تعدد مشترکین به عوامل بسیار زیادی وابسته است که عوامل اصلی آن بشرح زیر می‌باشد.
- تلفات ناشی از مقاومت خطوط (تلفات ذاتی، صحیح نبودن اتصالات)
 - تلفات ناشی از عدم تعادل بار و تقارن خطوط (تلفات سیم نول، افزایش تلفات فازها)
 - تلفات ناشی از سیستم زمین نامناسب
 - تلفات ذاتی ترانسفورماتورها، ماشین‌های الکتریکی و تجهیزات اندازه‌گیری (تلفات مسی، آهنی و عایقی)
 - تلفات ناشی از اضافه بار کابل، ترانسفورماتورها و ماشین‌ها
 - تلفات عایقی تجهیزات
 - تلفات ناشی از عبور توان راکتیو
 - تلفات ناشی از ضریب بار پایین

- تلفات ناشی از کمبود ولتاژ
- تلفات ناشی از هارمونیک‌ها (اثر پوستی، افزایش تلفات آهنی و عایقی)

۴-۲- عوامل افزایش تلفات در شبکه :

تلفات فنی شبکه، با افزایش مشترکین و در نتیجه افزایش بار و انرژی مصرفی و جریان عبوری از شبکه‌ها افزایش می‌یابد و چنانچه توسعه شبکه‌ها نیز با همان سرعت و روند صورت نپذیرد، در نتیجه درصد تلفات با روند سریعتری رشد خواهد داشت.

تلفات ناشی از عبور جریان خطوط فشار متوسط به نسبت توسعه شبکه و افزایش قدرت مصرفی هر سال نسبت به سال گذشته از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{ضریب افزایش تلفات} = \frac{L_{new}}{L_{old}} \times \left(\frac{\rho_{new}}{\rho_{old}} \right)^2$$

که در آن L طول شبکه و P توان مصرفی شبکه می‌باشد. بر اساس این رابطه چنانچه رشد بار شبکه را ۷ درصد فرض کنیم و در صورتیکه شبکه هیچگونه توسعه‌ای نداشته باشد، ضریب افزایش تلفات تقریباً ۱/۱۵ است یعنی مقدار تلفات سالانه ۱۵ درصد نسبت به سال قبل رشد خواهد داشت با توجه به روند فروش انرژی برق و افزایش تأسیسات شبکه در طول سالیان گذشته به این نتیجه می‌رسیم که یکی از عوامل افزایش تلفات می‌تواند این موضوع باشد

یکی دیگر از عوامل عمده افزایش تلفات، عمر تأسیسات است که بر اثر استهلاک، تلفات آنها افزایش می‌یابد و با وجود حجم بالای شبکه‌های انتقال، فوق توزیع و توزیع برق در کشور، همه ساله سرمایه‌گذاری کلانی به منظور توسعه و جایگزینی شبکه‌ها نیاز می‌باشد. بطور متوسط قریب ۳۰ درصد از تأسیسات پستها و خطوط دارای عمر بالای ۲۰ سال می‌باشند.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

یکی دیگر از عوامل افزایش تلفات، طول مسیر خطوط توزیع خصوصاً در برق‌رسانی به روستاها

می‌باشد که موجب افزایش تلفات اهمی سیستم و افت ولتاژ انتهای خطوط شده است.

۴-۳-۱ اجزاء تلفات الکتریکی

۴-۳-۱-۱ تلفات ژول در خطوط انتقال و توزیع نیرو

بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی به صورت تلفات ژولی (RI^2) در خطوط انتقال و توزیع نیرو به هدر می‌رود. مقدار این تلفات تابعی است از مقاطع هادیها و جریان عبوری از آنها، البته مقاومت و جریان الکتریکی خود به عوامل بسیار متعدد دیگری بستگی دارند. در تمامی شبکه‌های برق‌رسانی درصد عمده تلفات سیستم مربوط به این بخش می‌باشد که عمدتاً در خطوط انتقال، خطوط فوق توزیع و خطوط توزیع به هدر می‌روند، ضمن اینکه در تجهیزات الکتریکی بخصوص ترانسفورماتورها نیز این نوع تلفات قابل توجه می‌باشد. گرچه با افزایش قطر هادیها امکان تقلیل تلفات اهمی میسر می‌باشد اما اجرای این شیوه در جهت کاهش تلفات همواره موجه و اقتصادی نمی‌باشد.

۴-۳-۲ تلفات در ترانسفورماتورها

بخش دیگری از انرژی الکتریکی در ترانسفورماتورهای شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو به هدر می‌رود که سهم این بخش از تلفات نیز قابل توجه می‌باشد. تلفات در ترانسفورماتورها در مقایسه با سایر تجهیزات الکتریکی بسیار بیشتر می‌باشد بطوریکه در شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو می‌توان سهم سایر تجهیزات در میزان تلفات را در مقابل آن ناچیز فرض کرد. این بخش از تلفات به مشخصات فنی ترانسفورماتورهای موجود در شبکه وابسته می‌باشد که طبیعتاً با حفظ آنها امکان تقلیل یا تعدیل تلفات میسر نمی‌باشد مگر اینکه بتوان با مدیریت بهره‌برداری اصلاحاتی را انجام داد.

۴-۳-۳ تلفات در تجهیزات پست‌ها

علاوه بر ترانسفورماتورها بخش قابل توجهی از تلفات در سایر تجهیزات پست‌ها از جمله راکتورها، کاپاسیتورها و ... به هدر می‌روند که مقدار آنها تابعی از مشخصات فنی تجهیزات است و مسلماً با حفظ آنها نمی‌توان تغییر چندانی در میزان تلفات آنها بوجود آورد، بنابراین لازم است در ارزیابی تلفات به این عوامل نیز توجه داشت.

ضمناً مصارف داخلی اطاق فرمان، روشنایی محوطه و ساختمان‌های اداری یا دیگر تأسیساتی که در محوطه پست‌ها قرار دارند نیز مصرف کننده انرژی الکتریکی می‌باشند که اگر مقادیر آنها اندازه‌گیری نشوند به حساب تلفات منظور می‌شوند.

۴-۳-۴- تلفات کنتورها

گرچه مصارف داخلی یا تلفات در لوازم اندازه‌گیری کم می‌باشد اما با توجه به تعداد بسیار زیاد کنتورها مقدار آن قابل توجه می‌باشد. مصارف داخلی کنتورها چیزی در حدود یک تا دو وات می‌باشد اما بدلیل تعداد بسیار زیاد آنها که در حدود چندین میلیون می‌باشند، این بخش از تلفات نیز قابل توجه می‌باشد که باید در تجزیه و تحلیل تلفات به آنها توجه گردد. البته این بخش از تلفات مربوط به شبکه‌های توزیع می‌باشد که تشخیص میزان آن باید بر اساس آزمایشات و مشخصه فنی اولیه تعیین گردد.

علاوه بر مصارف داخلی کنتورها که می‌تواند سبب افزایش تلفات در شبکه‌های برق‌رسانی گردد، خطای اندازه‌گیری نیز می‌تواند باعث بروز اشتباهاتی در میزان انرژی مبادله شده، گردد. این سری مشکلات می‌توانند ارزیابی تلفات را با مشکل مواجه سازند چون اگر لوازم اندازه‌گیری میزان انرژی مبادله شده را کمتر یا بیشتر از مقدار واقعی نشان دهند، ممکن است مقدار تلفات را بیشتر یا کمتر از مقادیر واقعی بیان کند، به

عنوان مثال اگر تلفات انرژی در شبکه‌ای مثلاً ۱۲ درصد و متوسط خطای لوازم اندازه‌گیری نیز حدود دو درصد باشد، ممکن است تلفات واقعی ۱۰ الی ۱۴ درصد باشد که اختلاف زیادی است. خطای لوازم اندازه‌گیری ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله موارد زیر بوجود آید:

- خطای مجاز مربوط به سازنده
- ایجاد خطا در اثر پیری
- ایجاد خطا در اثر اضافه بار
- ایجاد خطا در اثر تغییرات درجه حرارت محیط
- ایجاد خطا در اثر نصب نادرست
- بروز خطا در اثر تغییرات ولتاژ و فرکانس
- بروز خطا در اثر رطوبت هوا
- بروز خطا در اثر نفوذ گرد و غبار در داخل کنتور
- بروز خطا در اثر خرابی کنتور

مسلماً در طول بهره‌برداری از کنتورها عوامل فوق‌الذکر می‌توانند میزان واقعی انرژی عبوری را با اشتباه اندازه‌گیری نمایند. گرچه خطای برخی از آنها در جهت مثبت و برخی دیگر در جهت منفی است، اما دلیلی وجود ندارد که این خطاها هماهنگ باشند و به احتمال زیاد برآیند آنها سبب می‌شود تا میزان انرژی مبادله شده با دقت لازم اندازه‌گیری نگردد و در نتیجه احتمال بروز خطائی در محدوده $\pm 0/5$ درصد وجود دارد.

۴-۳-۵- تلفات در ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان

ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ نیز از تجهیزات مهم دیگری هستند که می‌توانند در افزایش خطای اندازه‌گیری نقش داشته باشند. در این رابطه چند عامل زیر می‌تواند در افزایش این اشتباهات دخالت داشته باشند:

- خطای ناشی از معیوب بودن دستگاه
- خطای ناشی از اتصالات غلط مدارها
- خطای ناشی از بکارگیری ضرایب تبدیل

در برخی از خطوط انتقال و توزیع نیرو وجود این اشکالات سبب می‌شود، تا لوازم اندازه‌گیری انرژی دریافتی را بیش از انرژی ارسالی نشان دهند که مسلماً وجود این سری اشکالات می‌تواند ارزیابی تلفات در شبکه‌های برق‌رسانی را مواجه با اشکال سازد.

۴-۳-۶- تلفات کرونا

تلفات کرونا عمدتاً در شبکه‌های انتقال وجود دارد و مقدار آن ضمن اینکه به سطح ولتاژ، مشخصات فنی تجهیزات و قطر هادی‌ها (در خطوط انتقال نیرو) وابسته می‌باشد به شرایط آب و هوایی منطقه از جمله رطوبت هوا، درجه حرارت محیط، میزان آلودگی و ریزش باران وابسته می‌باشند به همین دلیل مقدار تلفات کرونا با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه در دامنه بسیار وسیعی تغییر می‌کند.

۴-۳-۷- نشتی جریان

بخشی از انرژی الکتریکی به صورت نشتی جریان در تجهیزات، کابل‌ها، خطوط هوایی به هدر می‌روند. میزان این بخش از انرژی هدر رفته نیز تابعی است از شرایط آب و هوایی منطقه، در خطوط انتقال و توزیع نیرو آلودگی محیط، رطوبت هوا و نزدیکی شاخه‌های درختان به خطوط از عوامل مؤثر در ایجاد تلفات نشتی می‌باشند، ضمناً نامناسب بودن اتصالات در کابل‌ها می‌تواند، بخشی از انرژی الکتریکی را به صورت گرما هدر دهد.

۴-۳-۸- طراحی نادرست

انتخاب و طراحی نادرست ظرفیت تجهیزات، مقاطع کابل‌ها، هادی‌ها، پائین بودن سطح ولتاژ و همچنین آرایش نامناسب شبکه‌های برق رسانی عوامل دیگری هستند که در میزان تلفات دخالت دارند، میزان و درصد این بخش از تلفات بستگی به مشخصات فنی تجهیزات و شرایط شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو دارد، اما امکان کاهش آنها در یک شبکه مشخص و با حفظ تجهیزات موجود موقعی عملی است که امکان اجرای اصلاحاتی از دیدگاه مدیریت بهره‌برداری میسر باشد.

۴-۴- محاسبه تلفات انرژی و توان

مقدار تلفات انرژی در یک خط انتقال یا در یک مصرف کننده مشخص از مجموع تلفات لحظه‌ای توان به دست می‌آید، اگر مقاومت هادیها و جریان عبوری از آنها را با I_i و R_i نشان دهیم، مقدار تلفات انرژی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$EL = R_1 \cdot \left(\frac{P_1}{U_1 \cdot \cos \varphi_1} \right)^2 + \dots + R_n \cdot \left(\frac{P_n}{U_n \cdot \cos \varphi_n} \right)^2$$

همانطور که این رابطه نشان می‌دهد تغییر هر یک از سه عامل P (توان اکتیو) U (ولتاژ فاز با فاز) و $\cos \varphi$ (ضریب قدرت) می‌توانند تلفات توان را تغییر دهند. از آنجا که این عوامل در طول شبانه‌روز ، هفته، ماه و فصل در حال تغییر می‌باشند محاسبه تلفات انرژی بدون دسترسی به آن ارقام میسر نمی‌باشد. در محاسبات تلفات انرژی اگر ارقام لحظه‌ای با مقادیر متوسط ساعتی جایگزین گردند، نیاز به 4×8760 عدد تنها برای مقادیر P ، U ، $\cos \varphi$ و R می‌باشد اگر پارامترهای مؤثر در مقادیر R هم به آن اضافه گردد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تلفات انرژی خط انتقال در یک دوره یکساله دشوار می‌گردد. برای رفع این مشکل یکی از شیوه‌های مناسب محاسبه تلفات انرژی در شبکه‌های برق‌رسانی، بکارگیری مدل‌های متداول می‌باشد.

همانطور که رابطه (۱) نشان می‌دهد تلفات توان در هر لحظه به حاصلضرب چند متغیر وابسته می‌باشد که ساده‌سازی آن بدون اعمال بعضی از فرضیات و تقریب‌ها میسر نمی‌باشد، لذا در این قسمت به این نکات اشاره می‌گردد.

۴-۴-۱- تغییرات ولتاژ

گرچه تلاش مسئولین شبکه بر این است که ولتاژ سیستم را در محدوده مقادیر استاندارد تثبیت نمایند اما عملاً این اقدام میسر نمی‌باشد و در یک دوره شبانه‌روزی مقدار ولتاژ در محدوده استاندارد نوسان خواهد داشت بطوریکه در ساعات کم‌باری افزایش و در ساعات پرباری کاهش می‌یابد. در چنین شرایط اگر توان اکتیو انتقالی ثابت

فرض شود. تغییرات ولتاژ سبب کاهش بیشتر جریان عبوری و در نتیجه تغییرات تلفات انرژی می‌گردد، اگر ولتاژ نرمال را با U_n نشان دهیم در صورتیکه ولتاژ به U تغییر نماید مقدار تلفات توان به اندازه K_u برابر کم یا زیاد می‌گردد.

$$K_u = \left(\frac{U_n}{U}\right)^2$$

گرچه در عمل ممکن است تغییرات ولتاژ تغییرات توان را نیز به‌مراه داشته باشد اما در صورتیکه توان انتقالی ثابت بماند، تلفات با مجذور نسبت ولتاژ افزایش می‌نماید. به بیان ساده‌تر اگر ولتاژ از مقدار نرمال به ۹۵ درصد مقدار اسمی خود تقلیل یابد مقدار تلفات توان ۱۱ درصد افزایش و اگر ولتاژ به ۱۰۵ درصد مقدار اسمی افزایش یابد. تلفات توان ۹ درصد کاهش می‌یابد.

۴-۴-۲ - تغییرات ضریب قدرت

خطوط انتقال یا توزیع نیرو که انرژی الکتریکی مورد نیاز مشترکین برق را منتقل می‌نمایند، علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو آنها را نیز تأمین می‌نمایند. ضریب قدرت که در حقیقت ارتباط توان اکتیو و راکتیو را نشان می‌دهد در طول ساعات مختلف شبانه‌روز یا دوره‌های بلند مدت دیگر در حال تغییر می‌باشد که همین تغییرات می‌توانند باعث تغییرات جریان و در نتیجه تلفات انرژی گردد.

برای انتقال میزان معینی از توان اکتیو، ضریب قدرت می‌تواند ارقام متفاوتی را دارا باشد. اگر ضریب قدرت از مقدار نرمال $\cos\phi_n$ به مقدار $\cos\phi$ تغییر نماید. تلفات برای

انتقال توان اکتیو برابر به اندازه K_P برابر کم یا زیاد می‌گردد، در این حالت مقدار K_P را می‌توان از رابطه زیر بدست می‌آورد.

$$K_P = \left(\frac{\cos \varphi_n}{\cos \varphi} \right)^2$$

بر این مبنا برای انتقال توان معین اگر ضریب قدرت از ۰/۹ به ۰/۸ تقلیل یابد تلفات حدود ۲۷ درصد افزایش می‌یابد که نشان دهنده اهمیت ضریب قدرت در تلفات سیستم می‌باشد.

۴-۳-۴- ضریب تلفات

ضریب تلفات از نسبت تلفات انرژی در یک دوره مشخص T ، بر T برابر تلفات در بار پیک (حداکثر تلفات توان) به دست می‌آید به عبارت دیگر ضریب تلفات (LSF) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LSF = \frac{EL}{T.PL}$$

در این رابطه EL انرژی تلف شده در دوره T و PL تلفات در بار پیک می‌باشد، این رابطه را می‌توان به صورت زیر نیز نشان داد.

$$EL = T.PL.LSF$$

حال اگر روابط بالا را با هم مقایسه کنیم LSF یا ضریب تلفات را می‌توان به صورت تابعی از بار لحظه‌ای (متوسط ساعتی) نشان داد.

$$LSF = \frac{1}{T} \cdot \left[\left(\frac{P_1}{P} \right)^2 + \left(\frac{P_2}{P} \right)^2 + \dots + \left(\frac{P_n}{P} \right)^2 \right]$$

در رابطه فوق، با جایگذاری بار نسبی به جای بار ساعت به ساعت به رابطه زیر

می‌رسیم:

$$LSF = \frac{1}{T} \cdot (L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_n^2)$$

$$L_i = \frac{P_i}{P}$$

در رابطه بالا مقدار L_i بار نسبی در ساعات مختلف مطالعه می‌باشد، همانطور که از

این رابطه پیداست ضریب تلفات متوسط مجذور بار نسبی در پریرود مورد مطالعه می‌باشد.

۴-۴-۴- تلفات کرونا

گرچه مهم‌ترین آثار سوء پدیده کرونا تولید اغتشاشات رادیویی، تلویزیونی، مخابراتی و نویز شنوائی است اما باعث ایجاد تلفات الکتریکی در خطوط انتقال نیرو نیز می‌گردد. در خطوط انتقال نیرو در یک هوای خوب مقدار تلفات کرونا ناچیز و کمتر از یک درصد تلفات ژول می‌باشند که بهمین دلیل در اکثر محاسبات اقتصادی از آن صرف‌نظر می‌گردد، اما در هوای بارانی یا برفی ممکن است تلفات کرونا دهها برابر افزایش یابد که ضمن اینکه اثرات سوء اقتصادی ناشی از تلف شدن انرژی الکتریکی را به‌مراه

دارد آثار سوء آن در محیط زیست نیز افزایش می‌یابد، بهمین دلیل میزان تلفات کرونا می‌تواند

به عنوان یکی از شاخص‌های مهم کنترل طراحی خطوط انتقال نیرو مورد استفاده قرار گیرد.

برای محاسبه تلفات کرونا در هوای آفتابی و صاف روشهای مختلفی وجود دارد که یکی از مدل‌های معتبر توسط آقای پیک ارائه گردید که در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$p_c = 0.545(V - V_c)^2 \cdot \frac{\sqrt{r/D}}{\delta} \quad V > V_c$$

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد وقتی مقدار تلفات کرونا کم باشد این رابطه دارای دقت خوبی نیست و در چنین موارد استفاده از روش پیترسون که به صورت رابطه زیر تعریف گردیده است دارای دقت بهتری است:

$$p_c = 0.00314 \cdot F \cdot \left(\frac{V}{\log_{10} D/r} \right)^2, \quad V < 1.8 V_c$$

در این روابط:

P_c : تلفات کرونا در هر کیلومتر از خط سه فاز، کیلووات

V : ولتاژ مؤثر فازی، کیلوولت

D : فاصله متوسط هندسی فازها. سانتیمتر

r : شعاع هادی‌ها، سانتیمتر

F : ضریبی است مشخص و تابعی از مقادیر ولتاژ مؤثر و بحرانی خط انتقال

اما برای محاسبه ولتاژ بحرانی در سطح هر هادی می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$V_c = g_p \cdot m \cdot \delta \cdot r \cdot \log_e(D/r)$$

در برخی از مراجع رابطه بالا را به صورت زیر نشان می‌دهند، تفاوت این رابطه با رابطه قبل در

توان δ (دانسیته نسبی هوا) می‌باشد.

$$V_c = g_p \cdot m \cdot \delta^{2/3} \cdot r \cdot \log_e(D/r)$$

مقدار g_p حداکثر می‌تواند برابر ۲۱/۲ باشد اما در عمل مقدار آن کمتر از رقم فوق در نظر

گرفته می‌شود. در صورتیکه ولتاژ فازی خط انتقال به حد ولتاژ بحرانی برسد ، یونیزاسیون هوای

اطراف آن آغاز می‌گردد، اما این حد از ولتاژ نمی‌تواند هاله روشن بنفش رنگ را در اطراف هادی پدیدار نماید، مگر آنکه گردآیان ولتاژ از مقدار g_p تا حد مقدار g_v که از رابطه زیر به دست می‌آید، افزایش یابد، در چنین حالتی مقدار ولتاژ بحرانی در سطح هادی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$g_v = g_p \cdot \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right)$$

$$V_v = g_p \cdot m \cdot \delta \cdot r \cdot \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \cdot \text{Log}_e(D/r)$$

انرژی تلف شده از طریق کرونا

در خطوط انتقال نیرو آنچه در رابطه با تلفات کرونا مطرح می‌باشد، مقدار آن در هوای بارانی و مرطوب می‌باشد، گرچه یکی از معیارهای طراحی خطوط انتقال نیرو تعیین مقطع مناسب هادی در هوای خوب می‌باشد، اما در رابطه با تلفات کرونا این معیار نمی‌تواند اصولی باشد چون در عمل مقدار تلفات کرونا در هوای صاف و تمیز قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد اما در روزهای ابری و بارانی یا برفی مقدار آن شدیداً افزایش می‌یابد و ممکن است به بیش از یکصد برابر هم برسد. با توجه به اینکه مقدار تلفات کرونا در روزهای غیر آفتابی مطرح می‌باشد بنابراین مقدار انرژی الکتریکی که از این طریق به هدر می‌رود تابعی است از تعداد روزهای ابری، بارانی، برفی، یخ‌بندان، مه‌آلود، رطوبتی یا به عبارت دیگر در مناطقی که روزهای بارانی آن زیاد است تلفات کرونا نیز به مراتب بیشتر از سایر مناطق می‌باشد.

۴-۴-۵- نشتی جریان

بررسی‌های انجام شده در چند نمونه از خط انتقال نشان می‌دهد که مقدار نشتی جریان در یک هوای تمیز ممکن است به بیش از یک کیلووات بر کیلومتر برسد. جدول (۲)

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

چند نمونه خاص از این خطوط انتقال نیرو را نشان می‌دهد. در این جدول توان تلف شده در یک کیلومتر از مسیر خط انتقال از حاصلضرب توان تلف شده در هر زنجیره در تعداد زنجیره مقررها و تعداد برج‌ها به دست آمده است. به عنوان مثال توان تلف شده در خط انتقال ۳۴۵ کیلوولت (ردیف اول جدول ۲) به صورت زیر محاسبه شده است:

$$\frac{60 * 7 * 4}{1000} = 1/7 \text{ کیلووات}$$

در این خط انتقال چون مقره‌های وسطی V ثابت بوده‌اند، دارای دو زنجیره مقرر می‌باشند که با احتساب فازهای کناری تعداد کل زنجیره مقررها به ۴ عدد افزایش یافته است، ضمناً عدد ۷ مربوط است به تعداد برج در هر کیلومتر از مسیر و ۶۰ نیز تلفات در هر زنجیره مقرر می‌باشد. به طور کلی اگر جریان نشتی از هر زنجیره مقرر I باشد کل انرژی تلف شده در یک کیلومتر از میر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_L = N_i \cdot N_t \cdot V \cdot I$$

در این رابطه :

P_L : توان تلف شده در یک کیلومتر از طول خط انتقال از طریق نشتی جریان

V = ولتاژ فاز با زمین ، کیلوولت

I = جریان نشتی در هر زنجیره مقرر

N_t = تعداد برج در هر کیلومتر از طول خط انتقال

N_i = تعداد زنجیره مقررها در هر برج

بر مبنای یک میلی آمپر نشتی جریان از هر زنجیره مفره که معمولاً سازندگان به عنوان حد نشتی مفره‌ها در هوای خشک در نظر می‌گیرند و با احتساب ۳ برج در هر کیلومتر و در نظر گرفتن مفره‌های V شکل (۶ زنجیره مفره برای سه فاز) توانی که از طریق نشتی در یک کیلومتر از خط انتقال ۱۲۰ کیلوولت به هدر می‌رود به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_L = 6 \times 3 \times \frac{1200}{\sqrt{3}} \times 10^{-3} = 12/5 \text{ کیلووات}$$

از آنجا که جریان نشتی شدیداً به میزان املاح آلوده موجود در سطح هادی بستگی دارد، لذا هر چه درجه آلودگی افزایش یابد، جریان نشتی بیشتر می‌شود. بررسی‌های انجام شده در کشور روسیه برای یک خط ۱۱۰ کیلوولت میزان ماکزیمم جریان نشتی را بر حسب درجه آلودگی بشرح جدول (۳) ارائه نموده است.

نظر به اینکه در مناطق آلوده کشور امکان نشستن مواد نمکی در روی مفره‌ها وجود دارد در نتیجه مقدار تلفات ناشی از نشتی جریان می‌تواند تا حد بسیار بالائی افزایش یابد. همانطور که جدول (۴) نشان می‌دهد تلفات ناشی از نشتی جریان در مناطقی با آلودگی خیلی سنگین و مرطوب ممکن است به ۱/۲ کیلووات در هر زنجیره مفره افزایش یابد که برای این سطح از ولتاژ مقدار آن در برخی موارد بیش از تلفات اهمی می‌باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که عبور جریان‌های زیاد از روی سطوح مفره‌ها باعث تولید گرما و در نتیجه تقلیل رطوبت شده که در نهایت منجر به کاهش نشتی جریان می‌گردد، به عبارت دیگر گرچه آلودگی و رطوبت افزایش نشتی جریان را به همراه دارند اما تداوم جریان‌های زیاد که حتی ممکن است به صورت جرقه ظاهر گردد کم می‌باشد.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

تلفات خطوط انتقال نیرو ترکیبی است از تلفات ژول، کرونا و نشتی جریان، در مناطق آلوده کشور که هر سه عامل تلفات وجود دارند گاهی ممکن است تفکیک این سه عامل تلفات به سادگی میسر نباشد. در چنین موارد لازم است ابتدا تلفات ژول که با دقت خوبی قابل محاسبه می‌باشد تعیین و از مجموع تلفات جدا گردد تا مجموع تلفات کرونا و نشتی جریان به دست آید.

برای جداسازی تلفات کرونا و نشتی جریان از یکدیگر، لازم است تلفات در یک دوره بلند مدت و در شرایط آب و هوایی مختلف مسیر اندازه‌گیری گردد، سپس با آگاهی از شرایط محیط اطراف می‌توان نسبت به تجزیه و تحلیل اقدام نمود، ضمن اینکه برای جداسازی دقیق‌تر بهتر این است که میزان نشتی جریان با مشابه‌سازی شرایط محیطی در آزمایشگاه نیز اندازه‌گیری و محاسبه گردد.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

جدول (۲) - تلفات ناشی از نشتی جریان در سه خط مشخص در هوای تمیز و خشک

کل تلفات Kw/Mile	تعداد برج در هر مایل	تلفات هر زنجیره کیلووات	تعداد مقره در هر زنجیره	سطح ولتاژ کیلوولت
۱/۷	۷	۶۰	۱۸	۳۴۵
۱/۷	۴/۵	۹۵	۲۴	۵۰۰
۲/۷	۴/۵	۱۵۰	۳۲	۷۳۵

جدول (۳) - نشتی جریان در هر زنجیره مقره بر حسب درجه آلودگی منطقه

جریان سطحی میلی آمپر	هدایت سطح زنجیره مقره‌ها	درجه آلودگی	
۶/۸	۲	۱	سبک
۱۷	۵	۲	متوسط
۳۴	۱۰	۳	
۶۸	۲۰	۴	سنگین
۱۰۲	۳۰	۵	
۱۷۰	۵۰	۶	
۲۹۰	۸۰	۷	

جدول (۴) – تلفات ناشی از جریان در هر زنجیره از یک خط انتقال ۱۱۰ کیلوولت، بر حسب کیلووات با توجه به درجه آلودگی محیط

تلفات در هر زنجیره	درجه آلودگی
۰/۵۰	۱
۱/۲۵	۲
۲/۵۰	۳
۵/۰۰	۴
۷/۴۰	۵
۱۲/۴۰	۶
۲۱/۲	۷

۴-۵- تلفات در پست‌های فشار قوی

در پست‌های فشار قوی نیز انرژی الکتریکی بصورت گوناگونی به هدر می‌رود، که بخشی از این انرژی هدر رفته صرف مصارف داخلی تأسیسات و تجهیزات منصوبه در پست‌ها می‌گردد و بخشی دیگر تحت عناوین مختلفی به مصرف می‌رسند. با توجه به اینکه در برخی موارد این مصارف در انرژی فروخته شده بحساب نمی‌آیند محسوب، عملاً به عنوان تلفات منظور می‌گردند که ممکن است در ارزیابی‌ها اشتباهاتی را بوجود آورد.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

گرچه یکی از عوامل مهم اتلاف انرژی در پست‌های فشار قوی ترانسفورماتورها می‌باشند اما علاوه بر آن انرژی الکتریکی به شکل‌های مختلف دیگری نیز بمصرف می‌رسد که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد.

۱-۱۱-

۱-۱۲-۱-۴-۵-۱- مصارف داخلی پستها

پستهای فشار قوی نیز همانند یک مصرف‌کننده عمده برای انجام وظایف خود نیاز به انرژی الکتریکی دارند که در قسمت‌های مختلف آن اعم از تجهیزات الکتریکی یا تاسیسات داخلی آن به مصرف می‌رسند. بنابراین لازم است در ارزیابی تلفات انرژی اینگونه مصارف که ذیلاً به آنها اشاره می‌گردد مورد توجه قرار گیرند، چون در غیر اینصورت در گروه تلفات قرار می‌گیرند که عملاً سهم عوامل ناشناخته تلفات در پستها را افزایش می‌دهند.

۴-۵-۱-۱-۱- مصارف اطاق فرمان

در پست‌های انتقال، اطاق فرمان همانند یک مرکز مصرف انرژی الکتریکی مطرح می‌باشد که بخشی از مصارف آن مشابه یک ساختمان اداری و بخش دیگر خاص مصارف لوازم و تجهیزات منصوبه در اطاق فرمان می‌باشد که ذیلاً به اختصار به آنها اشاره می‌گردد.

سیستم سرمایش و گرمایش - بخشی از مصارف اطاق فرمان مربوط به سیستم‌های سرمایش و گرمایش می‌باشد، که مقدار آن با توجه به منطقه‌ای پست در آن واقع شده است، متفاوت می‌باشد. در مناطق گرمسیری که حدود ۹ ماه از سال از سیستم سرمایش استفاده می‌شود مسلماً مصرف این بخش از انرژی بمراتب بالاتر از مناطق معتدله و سردسیر می‌باشد، اما بعکس در مناطق

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

سردسیر اگر از انرژی الکتریکی به عنوان گرمایش استفاده گردد میزان این مصرف زیاد می‌باشد که باید با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد توجه قرار گیرد.

مصارف عمومی - بخش دیگری از انرژی الکتریکی مصرفی در پست‌ها صرف مصارف عمومی نظیر روشنایی اطاق‌ها یا سایر لوازم الکتریکی رفاهی مورد نیاز کارکنان شاغل در پست‌ها می‌گردد. میزان این مصرف تابعی است از مساحت ساختمان‌های داخلی پست‌ها که بر حسب مورد ممکن است ارقام مختلفی را بخود اختصاص دهند.

مصارف تابلوهای فرمان - گرمکن‌های داخل تابلوها و مصارف داخلی سایر تجهیزات و لوازم منصوبه نیز مصرف‌کننده انرژی الکتریکی می‌باشند که در محاسبات باید مد نظر قرار گیرند.

۴-۵-۱-۲- روشنائی محوطه

بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی در پست‌های فشار قوی صرف روشنائی محوطه و خیابان‌های داخلی می‌گردد، که مقدار آن تابعی است از ابعاد پست‌ها، تعداد لامپ‌ها و همچنین شیوه طراحی سیستم روشنایی. با توجه به اینکه پارامترهای متعددی در مقدار این نوع مصرف دخالت دارند، بهمین دلیل میزان آن در پست‌های مختلف متفاوت می‌باشد که به‌رحال قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

۴-۵-۱-۳- تأسیسات داخل پست‌ها

در محوطه برخی از پست‌های فشار قوی که در سطح شبکه سراسری نصب شده‌اند، ساختمان‌های اداری، انبار یا تأسیسات دیگر که ربطی به وظایف اصلی پست‌ها ندارد وجود دارند که طبیعتاً مصرف‌کننده انرژی الکتریکی می‌باشند. ممکن است در تعدادی از پست‌ها این سری مصارف اندازه‌گیری نشوند و در نتیجه مصارف این قبیل تأسیسات که واقعا تلفات نمی‌باشند به حساب تلفات پست‌ها منظور گردد. به عبارت دیگر در ارزیابی تلفات باید تلاش گردد کلیه عوامل مصرف‌کننده برق که قابل اندازه‌گیری می‌باشند مشخص و محاسبه شوند تا مهندسین ارزیاب را در بررسی تلفات دچار خطا و اشتباه نشوند.

۱-۱۳-

۱-۱۴- ۴-۵-۲- مصارف تجهیزات

بخش دیگری از انرژی الکتریکی در پست‌ها به صورت تلفات یا مصارف داخلی تجهیزات منصوبه به هدر می‌رود، که قسمتی از آن صرف گرداندن موتورها، پمپ‌ها و کمپرسورها می‌گردد و مسلماً مقدار آن نیز تابعی است از تعداد تجهیزات و شرایط بهره‌برداری و عملکرد آنها، در این رابطه نیز به اختصار به آنها اشاره می‌گردد.

۴-۵-۲-۱- کلیدها و سکسیونرها

کلیدها و سکسیونرها بر حسب اینکه از چه نوعی باشند، دارای کمپرسور یا موتورهایی هستند که برای تنظیم فشار هوا، گاز، ... یا عملکرد آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند، که مسلماً نیاز به توان الکتریکی دارند. در عمل انرژی مورد نیاز این نوع تجهیزات الکتریکی صرف راه‌اندازی آنها یا تنظیم فشار در سیستم‌های مختلف آنها می‌گردد، اما در عمل بدلیل پایین بودن زمان بهره‌برداری آنها، مقدار انرژی یا تلفات در مقایسه با دیگر تجهیزات منصوبه در پست‌ها کم می‌باشد.

۴-۵-۲-۲- راکتورها

در بسیاری از نقاط شبکه به دلایل مختلفی از راکتورها استفاده می‌شود که این تجهیزات ممکن است در سیم‌پیچ سوم ترانسفورماتورهای قدرت، ابتدا یا انتهای خطوط انتقال نیرو نصب شوند.

راکتورها نیز یکی از اجزاء تشکیل‌دهنده تلفات انرژی الکتریکی در پست‌های فشار قوی می‌باشند، گرچه تعداد راکتورها در مقایسه با تعداد ترانسفورماتورها بسیار کمتر می‌باشند، اما میزان تلفات آنها در پست‌هایی که از آنها استفاده می‌گردد بالا و قابل ملاحظه می‌باشد.

راکتورهای شنت وقتی بمدار وصل می‌شوند در حالت کار عادی با توان کامل مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و در نتیجه تلفات آنها برخلاف ترانسفورماتورها در اثر نوسانات بار دچار تغییر نمی‌شود بلکه کل تلفات شامل تلفات مدار مغناطیسی و سیم‌پیچ‌ها همواره وجود دارند. در راکتورها نیز تلفات از عوامل مختلفی تشکیل می‌گردد، که اهم آنها بشرح زیر می‌باشند:

- تلفات آهنی

- تلفات مسی

- تلفات عایقی

تلفات مسی در اثر عبور جریان از سیم‌پیچ‌ها بوجود می‌آید و تلفات عایقی نیز مربوط به قسمت‌های عایقی است که مقدار آن در مقایسه با سایر عوامل کم می‌باشد. گرچه میزان تلفات راکتورها به پارامترهای متعددی بستگی دارند ولی مقدار آنرا می‌توان تقریباً ۵۰ تا ۶۰ درصد مجموع مقادیر نامی تلفات بارداری و بی‌باری ترانسفورماتورها هم ظرفیت در نظر گرفت، مقدار

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

تلفات راکتورها حدود ۲ تا ۰/۳ قدرت نامی آنها می‌باشد. بنابراین در بررسی تلفات پست‌ها باید به تلفات راکتورها نیز توجه نمود چون در مقایسه با مصارف داخلی پست‌ها، تلفات آنها قابل توجه می‌باشد.

برای محاسبه میزان تلفات انرژی راکتورها در یک دوره مشخص زمانی T می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$EL = T \cdot Of \cdot RL$$

در این رابطه EL تلفات انرژی در راکتور در دوره مطالعه (T) و Of ضریب بهره‌برداری از راکتور و RL تلفات اسمی راکتورها می‌باشد. به این ترتیب هر چه ساعات بهره‌برداری از راکتورها بیشتر باشد انرژی تلف شده در آنها نیز افزایش می‌یابد.

۴-۵-۲-۳- خازن‌ها

خازن‌ها در بسیاری از نقاط شبکه بخصوص در پست‌های توزیع نیرو مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سری تجهیزات گرچه مولد بار راکتیو هستند اما دارای مصارف انرژی اکتیو نیز می‌باشند. تلفات داخلی خازن‌ها در مقایسه با راکتورها کمتر می‌باشد اما با توجه به تعدد این تجهیزات در سیستم مقدار آن قابل توجه می‌باشد. میزان تلفات خازن‌ها به پارامترهای متعددی وابسته می‌باشد که به‌رحال امکان تخمین آن با توجه به تعداد و مشخصات فنی بانک‌های خازنی میسر می‌باشد.

گرچه میزان تلفات داخلی خازن‌ها به پارامترهای متعدد از جمله نوع عایق بکارگرفته شده بستگی دارد، اما در محاسبات تقریبی می‌توان مقدار آنرا بین یک ۰/۱ تا ۰/۲ درصد توان نامی آنها

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

در نظر گرفت که البته خازن‌های یا تکنولوژی جدید رقم کمتر مناسب تر می‌باشد. در شبکه‌های توزیع نیرو خازن‌ها درصد قابل توجهی از تلفات را به خود اختصاص می‌دهند. برای محاسبه تلفات انرژی خازن‌ها در یک دوره مشخص T می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$EL = T \cdot Of \cdot CL$$

در این رابطه CL تلفات نامی خازن‌ها و بقیه پارامترها مطابق تعاریف قبل می‌باشند. در محاسبه تلفات خازن‌ها باید به این نکته اساسی توجه داشت که مقدار تلفات باید با توجه به درصدی از ظرفیت بانک خازنی که وارد مدار می‌شود محاسبه گردد، چون برخلاف راکتورها، خازن‌ها با توجه به سیستم کنترلی خود می‌توانند بر حسب نیاز مصرف، به صورت بخش بخش وارد شبکه شوند و در نتیجه همواره مقدار تلفات توان برابر مقدار اسمی تلفات ماکزیمم بانک خازنی نمی‌باشد.

۴-۵-۲-۴- ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ

این نوع تجهیزات نیز دارای مصارف داخلی کمی برای انجام وظایف خود می‌باشد. ضمناً در صورتیکه طراحی مقره‌های بکار گرفته شده در آنها به درستی انجام نگیرد در مناطق آلوده، مقداری از انرژی الکتریکی به صورت نشتی نیز در آنها به هدر می‌رود.

۴-۵-۲-۵- کابل‌ها و باس‌بارها

گرچه تلفات در باس بارها و کابل‌های ارتباطی داخل پست‌ها کم می‌باشند اما بدلیل تعدد کابل‌های و قابل توجه بودن طول آنها لازم است این بخش از تلفات نیز مورد بررسی و محاسبه قرار گیرند، گرچه ممکن است مقدار آنها در مقایسه با دیگر عوامل کم باشد. اما بهرحال رقم کوچکی نمی‌باشد. لذا در صورتیکه از این عامل صرف نظر گردد در کنار سایر اجزاء بحساب نیامده، ارقام تلفات ناشناخته را افزایش می‌دهد.

۴-۵-۳- سایر موارد

در داخل هر پست علاوه بر موارد فوق‌الذکر ممکن است مصرف‌کنندگان برقی دیگری نیز وجود داشته باشند که تعداد و مقدار تلفات آنها بر حسب نوع و طراحی پست‌ها متفاوت می‌باشد که باید مورد توجه و ارزیابی قرار گیرند. این مصرف‌کنندگان در برخی موارد ممکن است با وظایف اصلی پست ارتباط مستقیم نداشته باشند.

۴-۶- راهکارهای موجود برای کاهش تلفات

۴-۶-۱- راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم تولید

اولین قدم در راه کاهش تلفات فنی در سیستم تولید اعمال مدیریت مصرف بر کلیه مصارف داخلی نیروگاهها اعم از تأسیسات و روشنایی می‌باشد. در حقیقت در اینجا با نیروگاه همانند یک مؤسسه مصرف کننده انرژی برخورد می‌شود که فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در تأسیسات الکتریکی و سیستم روشنایی آن وجود دارد.

عدم استفاده از انرژی الکتریکی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری، سالن‌های تولید و کارگاه‌های نیروگاه یکی دیگر از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در نیروگاه می‌باشد. نهایتاً تعویض و یا اصلاح ترانسفورماتورها و الکترومپهای کم بازده نیز می‌تواند موجب کاهش مصرف داخلی نیروگاه شود.

۴-۶-۲- راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم انتقال و فوق توزیع

یکی از راهکارهای اصلی و البته پر هزینه در سیستم انتقال و فوق توزیع انتخاب محل مناسب پست‌های انتقال و احداث این پست‌ها در مناطق مورد نیاز جهت اعمال مانور و کنترل بر سیستم می‌باشد.

سایر راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم انتقال را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- اعمال جابجائی فاز بر روی خطوط جهت متعادل نمودن امپدانس فازها
- جبران سازی توان راکتیو (نصب خازن سری، بانک خازنی ، راکتور و ادوات FACTS)
- جایگزینی تجهیزات فرسوده
- اعمال پخش بار و توزیع بار اقتصادی
- استفاده از سطوح بالاتر ولتاژ در سیستم انتقال انرژی

- افزایش تعداد باندل‌ها
- حذف هارمونیک‌های سیستم انتقال به طرق مختلف
- کلید زنی جهت تغییر توپولوژی شبکه به وضعیت بهینه

۴-۶-۳- راهکارهای کاهش تلفات فنی در سیستم‌های توزیع

در سیستم‌های توزیع یکی از مهمترین راهکارها اعمال مدیریت مصرف جهت کاهش تقاضا در ساعات پیک می‌باشد که لازمه آن فرهنگ‌سازی و بکارگیری روشهای تشویقی و تنبیهی برای مشترکین است علاوه بر این راهکارهای ذیل نیز در کاهش تلفات سیستم‌های توزیع مؤثر می‌باشد.

- عدم استفاده از فیدرهای طولانی
- احداث پست‌های فوق توزیع و توزیع در مناطق مورد نیاز
- استفاده از کابل‌های با تلفات پائین و جایگزینی کابل‌های فرسوده
- جبران سازی توان راکتیو
- جایگزینی تجهیزات فرسوده
- استفاده از روشهای نوین کلید زنی جهت رفع مشکلات کیفیت توان
- اعمال پخش بار و توزیع بار اقتصادی
- استفاده از سطوح بالاتر ولتاژ در سیستم توزیع انرژی
- حذف هارمونیکها
- کلید زنی جهت تغییر توپولوژی شبکه به وضعیت بهینه

۵- کنترل توان راکتیو

توان راکتیو، یکی از مهمترین عواملی است، که در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های نیرو در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر بارها، عناصر شبکه نیز اغلب مصرف کننده توان راکتیو می‌باشند. بنابراین توان راکتیو باید در بعضی از نقاط شبکه تولید شود و سپس به محل‌های مورد نیاز منتقل شود.

در عمل، تمام تجهیزات شبکه نیرو برای ولتاژ نامی طراحی می‌شود. اگر ولتاژ برابر مقدار نامی خود نباشد، ممکن است باعث آسیب دیدن تجهیزات شبکه و یا کاهش عمر آنها شود. برای نمونه گشتاور موتور القایی با توان دوم ولتاژ ترمینال‌های آن متناسب است و نیز شار نوری یک لامپ با ولتاژ آن تغییر می‌کند. بنابراین تثبیت ولتاژ در نقاط مختلف شبکه کاملاً ضروری است. توان راکتیو مصرفی بارها در ساعات مختلف در حال تغییر است. بنابراین ولتاژ و توان راکتیو دائماً باید کنترل شوند. در ساعات پر بار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می‌کنند. از این رو قدرت راکتیو زیادی می‌باید در شبکه تولید شود. اگر قدرت راکتیو مورد نیاز شبکه تأمین نشود، ولتاژ نقاط مختلف شبکه به ناچار کاهش می‌یابد و ممکن است از حدود مجاز خود خارج شود. نیروگاهها بوسیله سیستم کنترل ولتاژ، کاهش ولتاژ را متوجه می‌شوند و فرمان افزایش تحریک ژنراتور و نتیجتاً افزایش ولتاژ ژنراتور تا سطح ولتاژ نامی را صادر می‌کنند، ولی قدرت راکتیو تولیدی ژنراتورها به خاطر مسائل حرارتی سیم‌پیچها محدود است و ژنراتورها در ساعات پر بار، به تنهایی نمی‌توانند قدرت راکتیو مورد نیاز کل شبکه را تأمین کنند. بنابراین در این ساعات به وسایلی نیاز است، که بتوان قدرت راکتیو را به شبکه تزریق کرد تا سطح ولتاژ در محدوده مجاز قرار گیرد، بارها و عناصر شبکه در ساعات کم بار، قدرت راکتیو کمی مصرف می‌کنند و ظرفیت خازنی یا کاپاسیتانس خطوط انتقال باعث می‌شود، که قدرت راکتیو تولیدی در شبکه افزایش یابد. در این حالت، ژنراتورها به صورت زیر تحریک (Under Excit) بکار می‌افتند و مقداری از قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف می‌کنند، ولی به خاطر ملاحظات پایداری، قدرت راکتیو مصرفی ژنراتورها نیز محدود است و ژنراتورها نمی‌توانند به تنهایی مسئله اضافه تولید قدرت راکتیو و افزایش ولتاژ ناشی

از آن را حل کنند. بنابراین به وسایلی نیاز است، که بتوانند در این ساعات، قدرت راکتیو اضافی سیستم را مصرف کنند. وسایلی را که برای کنترل توان راکتیو و ولتاژ بکار می‌برند کمپانزاتور می‌نامند. تعادل قدرت راکتیو در شبکه، متضمن ثابت بودن ولتاژ است و کنترل قدرت راکتیو به منزله کنترل ولتاژ است.

۵-۱- روش‌های کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ

۱- با تزریق قدرت راکتیو به شبکه بوسیله کمپانزاتورهای، که به صورت موازی وصل می‌شود (مانند: خازن، راکتور، ماشین سنکرون و SVC).

۲- با جابجایی قدرت راکتیو در شبکه بوسیله ترانسفورماتورهای متغیر [Tap- changing transformers] (ترانسفورماتورهای متغیر بیشتر برای تنظیم دامنه ولتاژ بکار می‌رود. در این صورت، قدرت راکتیو به شبکه تزریق نمی‌شود و فقط قدرت‌های راکتیو موجود در خطوط و دیگر عناصر شبکه جابه‌جا می‌شود).

۳- از طریق کاهش راکتانس القایی خطوط انتقال با نصب خازن سری. (نقش اصلی خازن سری در بهبود پایداری خطوط بلند است، هنگامی که در خطوط بسیار بلند خازن سری بکار برده می‌شود، از راکتور موازی نیز به طور همزمان برای کنترل ولتاژ حالت‌های کم بار و بی‌بار استفاده می‌شود).

در جبران بار راکتیو اهداف اصلی سه‌گانه زیر مورد نیاز است:

۱- اصلاح ضریب توان

۲- بهبود تنظیم ولتاژ

۳- متعادل کردن بار

اصلاح ضریب توان و متعادل کردن بار حتی در مواقعی که ولتاژ تغذیه ثابت و مستقل از بار است، مطلوب خواهد بود.

اصلاح ضریب توان به این معناست که توان راکتیو مورد نیاز بار به جای آنکه از نیروگاه دور تأمین شود، در محل نزدیک بار تولید شود. اغلب بارهای صنعتی دارای ضریب توان پس فاز هستند، یعنی توان راکتیو جذب می‌نمایند. بنابراین مقدار جریان بار از آنچه که برای تأمین توان واقعی ضروری است، بیشتر خواهد بود. علاوه بر پرداخت هزینه توان واقعی مشتری باید بهای هزینه اضافی کابلی که آن را انتقال می‌دهد و هزینه تلفات ژولی اضافی ایجاد شده در کابل تغذیه را نیز بپردازد.

مؤسسات تولید کننده همچنین دلیل کافی برای عدم ضرورت انتقال توان راکتیو غیر ضروری از ژنراتورها به بار را دارند و این است که ژنراتورها و شبکه‌های توزیع قادر نخواهند بود در ضریب بهره کامل کار کنند و کنترل ولتاژ در سیستم تغذیه بسیار مشکل خواهد شد. تعرفه‌های برق تقریباً همواره مشتریان صنعتی را به واسطه بارهای با ضریب توان کم آنها جریمه می‌نمایند و این عمل سالیان متمادی انجام گرفته و در نهایت منجر به توسعه کاربرد سیستم‌های اصلاح ضریب توان در مراکز صنعتی شده است.

تنظیم ولتاژ در حضور بارهایی، که توان راکتیو مصرفی آنها تغییر می‌کند، یک موضوع مهم و در مواردی یک مسئله بحرانی خواهد بود. توان راکتیو مصرفی کلیه بارها تغییر می‌کند، اگر چه مقدار و میزان تغییرات آنها کاملاً متفاوت است. این تغییرات توان راکتیو در تمامی موارد منجر به تغییرات ولتاژ (یا تنظیم ولتاژ) در نقطه تغذیه می‌شود و این تغییرات ولتاژ بر عملکرد مفید و مؤثر کلیه وسایل متصل به نقطه تغذیه مداخله نموده و منجر به امکان تداخل در بارهای مصرف کننده‌های مختلف می‌شود. به منظور جلوگیری از این مسئله، مؤسسات تولید کننده برق معمولاً موظف می‌شوند، که ولتاژ تغذیه را در

یک حد مجاز نگاه دارند. امکان دارد این حد از مقدار مثلاً $\pm 5\%$ میانگین در یک فاصله زمانی چند دقیقه یا چند ساعت، تا یک مقدار بسیار محدودتر تغییر نماید. این مقدار محدودتر از ناحیه بارهای بزرگ و دارای تغییرات سریع که منجر به ایجاد فرورفتگی در ولتاژ و اثر نامطلوب بر عملکرد وسایل حفاظتی یا چشمک زدن لامپ و آزار چشم می‌شود، تحمیل می‌شود. وسایل جبران کننده نقش اساسی را در ثابت نگاهداشتن ولتاژ در محدوده مورد نظر ایفا می‌کنند. مسئله سوم که در جبران بار مد نظر است متعادل کردن بار است. اکثر شبکه‌های نیرو ac سه فاز بوده و برای عملکرد متعادل طراحی می‌شوند. عملکرد نامتعادل منجر به ایجاد مؤلفه‌های جریان توالی صفر و منفی می‌شود. اینگونه مؤلفه‌های جریان اثر نامطلوبی چون ایجاد تلفات اضافی در موتورها و مولدها، گشتاور نوسانی در ماشین‌های ac، افزایش دندانگی یا ریپل در یکسو کننده‌ها، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتورها و جریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت. انواع خاصی از وسایل (از جمله تعدادی از انواع جبران کننده‌ها) در عملکرد متعادل، هارمونیک سوم را کاهش می‌دهند. در شرایط کار نامتعادل این هارمونیک نیز در شبکه ظاهر می‌شود.

هارمونیک‌ها معمولاً بوسیله فیلتر که دارای اصول طراحی متفاوتی با جبران کننده‌ها هستند، حذف می‌شوند. با وجود این مشکل هارمونیک‌ها اغلب همراه با مسئله جبران پیش می‌آید، و لذا همواره مسئله هارمونیک‌ها و پالایش آنها مورد توجه خواهد بود. بعلاوه شمار زیادی از جبران کننده‌ها ذاتاً هارمونیک سازند، که باید بوسیله فیلتر خارجی تضعیف شوند.

۵-۱-۱- کمپانزاتورهای خازنی

استفاده از خازن به عنوان تولید کننده بار راکتیور به منظور تنظیم و کنترل ولتاژ و جلوگیری از نوسانات قدرت در شبکه‌ها و اصلاح ضریب توان ($\cos\phi$) در مصرف کننده‌ها به علت ارزانی و سادگی سیستم آن بسیار متداول است. از خازن‌ها می‌توان به دو صورت شنت و سری در شبکه و در کارخانه‌ها استفاده کرد. چنانچه خازن‌ها به طور سری در شبکه قرار گیرند، جریان گذرنده از

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

خازن‌ها ثابت نبوده و همان جریان خط است. خازن‌های شنت باعث کاهش جریان خط می‌شود و می‌تواند سطح ولتاژ را در محل مصرف به حد معینی افزایش دهد و در این حالت جریان گذرنده از اتصال خازن‌ها همواره مقداری است ثابت (یعنی معادل ظرفیت خازن‌های نصب شده است) و اتصال کوتاه در شبکه، تأثیری در خازن موازی ندارد.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

به طور کلی از خازن‌های موازی را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد:

۱ - کاهش جریان خط

۲ - افزایش ولتاژ مصرف کننده

۳ - کاهش تلفات سیستم

۴ - افزایش ضریب قدرت

۵ - کاهش جریان در ژنراتورها و ترانسفورماتورها

۶ - کاهش هزینه سرمایه‌گذاری برای مصرف یک کیلووات قدرت حقیقی

خازن موازی جریان تصحیح کننده ثابتی در محلی مصرف تولید می‌کند، که تمام مولفه راکتیو جریان بار مصرف کننده یا بخشی از آن را جبران می‌کند. این مقدار ممکن است بر اساس افزایش ضریب قدرت انتخاب شود. کاهش جریان و افزایش ضریب قدرت، افت ولتاژ را در قسمت‌های مختلف سیستم کاهش می‌دهد. افزایش مقدار ولتاژ نیز نتیجه این مسئله است.

خازن‌های سری، تولید کننده مقدار ثابت جریان نیستند، بلکه این مقدار جریان سیستم است، که همیشه از خازن عبور می‌کند. در حالتی که در سیستم، اتصال کوتاهی پیش آید ولتاژ دو سر خازن سری ممکن است تا ۱۵ برابر ولتاژ نامی آن افزایش یابد. به این دلیل خازن‌های سری باید در مقابل اتصال کوتاه سیستم محافظت شوند و احتیاج به تجهیزات کامل حفاظتی دارند. کاربرد خازن‌های سری در ولتاژهای زیاد و در اندازه‌های بزرگ است.

۵-۱-۲- کمپانزاتورهای سلفی

کمپانزاسیون موازی بوسیله راکتور، امپدانس موجی را افزایش داده و در نتیجه باعث می‌شود، که بار خط کاهش یابد. همچنین در بی باری یا بارهای کم باعث ثابت نگهداشتن پروفیل یا شکل موج ولتاژ می‌شود.

راکتورها معمولاً در دو انتها و یا در وسط خطوط نصب می‌شوند. در خطوط خیلی بلند معمولاً چند راکتور به صورت ثابت برای حفاظت در برابر اضافه ولتاژهای ناشی از قطع ناگهانی بار و یا باز شدن خط نصب می‌کنند. در خطوط کوتاه‌تر با تغییر بار در ساعات مختلف، راکتورها کنترل و قطع و وصل می‌شوند. اگر خازن‌های موازی در خط نصب شده باشند، بر اثر قطع ناگهانی بار و یا باز شدن خط انتقال، خازن‌ها باید سریعاً قطع شوند تا از افزایش زیاده از حد ولتاژ جلوگیری شود.

۵-۱-۳- موتور سنکرون

موتور سنکرون دارای این مزیت است، که می‌تواند قدرت راکتیو را تولید و یا مصرف کند و نیز مقدار تولید آن می‌تواند به صورت پیوسته در محدوده‌ای وسیع تغییر نماید. با این حال قیمت موتور سنکرون از خازن خیلی گرانتر است و فقط به منظور تنظیم ولتاژ در یک سیستم فشار قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توسعه و پیشرفت روش ساخت خازن‌ها، قیمت آنها بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است. همچنین با توجه به قیمت ناچیز کارهای ساختمانی نصب خازن و همچنین هزینه کم نگهداری و راه‌اندازی آن، قیمت خازن به هیچ وجه با یک موتور سنکرون پر قدرت قابل مقایسه نیست. کنترل پیوسته قدرت راکتیو را، که با موتور سنکرون می‌توان انجام داد، با انتخاب چند مجموعه خازن در هر محل که به طور اتوماتیک کنترل می‌شوند نیز می‌توان انجام داد.

برتری موتور سنکرون در تولید و مصرف قدرت راکتیو است و در سیستم‌های فشار قوی، بویژه در شرایط بی‌باری و یا کم باری کاربرد دارد و می‌توان آن را با خازن توأم با یک راکتور جانشین

کرد. بیشترین بازده، از وسایل تولید کننده قدرت راکتیو در حالتی، که در نزدیکی مصرف کننده بار راکتیو نصب شده باشد، گرفته می‌شود و این یعنی استفاده از خازن‌های کوچک فشار ضعیف در شبکه توزیع و این مسئله تنها با استفاده از خازن صورت می‌پذیرد، نه با موتور سنکرون.

۵-۱-۴- کندانسورهای سنکرون

کندانسور سنکرون، همان ماشین سنکرون است، که پس از راه‌اندازی با شبکه سنکرونیزه می‌شود. مدار کنترل ولتاژ این ماشین، وظیفه اندازه‌گیری انحراف ولتاژ و کنترل تحریک را به عهده دارد.

با کنترل تحریک، ماشین در رژیم کار مورد نیاز - فوق تحریک یا زیر تحریک - توان راکتیو تولید یا جذب می‌نماید تا ولتاژ پایانه‌های کندانسور را در مقدار ثابتی تنظیم نماید.

کندانسورهای سنکرون به طور معمول برای بهره‌برداری در فضای باز طراحی می‌شوند. کندانسورهای پر قدرت اغلب با دور تقریبی ۱۰۰۰ rpm (۶ قطب) ساخته می‌شوند. تلفات این ماشین‌ها

نزدیک به یک درصد قدرت نامی آنهاست. کندانسورهای کوچک سنکرون با هوا خنک می‌شوند و در قدرت زیاد خنک‌کنندگی اغلب با هیدروژن و گاهی با آب انجام می‌گیرد.

کندانسورهای سنکرون در هر دو سیستم فوق توزیع و انتقال بکار می‌روند، ولی در سیستم‌های توزیع و فوق توزیع، برای کنترل توان راکتیو، خازن‌های موازی و تپ چنجر ترانسفورماتورها کاربرد بیشتری دارند. کندانسور سنکرون توانایی تحمل اضافه بار را دارد. کندانسور سنکرون کاملاً قابل کنترل است و هارمونیک ناچیزی تولید می‌کند. ولی در عوض، به نگهداری زیادی نیاز دارد. دیگر آنکه پاسخ کنترل آن " کند " است و رفتارش نسبت به محل قرار گرفتن حساس است و همچنین به فونداسیون محکمی نیاز دارد.

جدول ۵ - ویژگیها و کاستی‌های کمپانزاتورها

کاستیها	ویژگیها	وسایل حبران کننده
مقدار آن ثابت است.	سادگی از نظر اصول کار و ساختمان	راکتور موازی
مقدار آن ثابت است . سوئیچ کردن آن همراه حالت گذراست.	سادگی از نظر اصول کار و ساختمان	خازن موازی
در مقابل اضافه ولتاژ باید حفاظت شود و به فیلتر زیر هارمونیک نیاز دارد.	سادگی از نظر اصول کار، رفتار آن نسبت به محل قرار گرفتن حساس نیست .	خازن سری
به نگهداری زیادی نیاز دارد.	توانایی تحمل اضافه بار را دارد کاملاً قابل کنترل است.	کندانسور سنکرون
پاسخ کنترل آن کند است.	کاملاً قابل کنترل است.	
رفتارش نسبت به محل قرار گرفتن حساس است و نیاز به فونداسنون محکمی دارد.	چندان هارمونیک ساز نیست.	
توانایی ذاتی محدود کردن اضافه ولتاژ را ندارد.	وقتی خراب می‌شود به سرعت قابل تعمیر است .	خازن تیریس‌تور سوئیچ (TSC)
از نظر کنترل پیچیده است.	هارمونیک ساز نیست.	
پاسخ فرکانس آن کند است.		
رفتارش نسبت به محل استقرار حساس است.		

۵-۱-۵- استفاده از ژنراتور موجود کارخانه برای تعدیل بار راکتیو و صرفه‌جویی در

هزینه برق

یکی از مشکلات بزرگی که در شبکه‌های پخش نیرو وجود دارد، مصرف زیاد بار اندوکتیو است، که سبب افت ولتاژ و تلفات می‌شود. بخش عمده این بار ناشی از وجود موتورهای برق مستقیم و موتورهای القایی کارخانه‌های بزرگ و کوچک صنعتی است، که ضریب توانشان از ۰/۷ کمتر است. برای نمونه یکی از کارخانه‌های چوب دارای بار اکتیو ۱۵ مگاوات و بار راکتیو حدود ۱۵ مگاوار است، که چنانچه این بار راکتیو زیاد به شبکه تحمیل شود، آثار سوء یاد شده در بالا- افت ولتاژ و تلفات و اشغال شدن ظرفیت تجهیزات و کابل‌های برق- به شبکه پخش نیرو اعمال خواهد شد.

بنابراین سزاوار است که این بار راکتیو زیاد به روشی اقتصادی در کارخانه تعدیل شود و با بهبود ضریب توان از افت ولتاژ، تلفات و اشغال شدن ظرفیت تجهیزات و کابل‌ها جلوگیری شود و پایداری شبکه توزیع نیز بهبود یابد.

این روش را می‌توان در بسیاری از کارخانه‌هایی، که دارای مولد برق‌اند بطور جداگانه بررسی کرد و با توجه به نمودار توان [= دیاگرام قدرت] ژنراتورها، بار راکتیو آن کارخانه را تأمین کرد. چنانچه ژنراتور به صورت فوق تحریک کار کند، می‌تواند بار راکتیو تولید کند و اگر به صورت زیر تحریک کار کند می‌تواند از شبکه بار راکتیو جذب نماید.

یادآور می‌شود چنانچه جریان تحریک از مرز پایداری ژنراتور کمتر شود، ژنراتور به حالت ناپایدار در می‌آید و باعث افزایش دما در ناحیه انتهای هسته استاتور و رتور می‌شود.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر بنا به دلایلی مولد با توانی کمتر از توان نامی اکتیو مورد بهره‌برداری قرار گیرد، با توجه به نمودار توان، می‌توان توان راکتیو مورد نظر را از مولد اخذ کرد و ضریب توان کارخانه را بهبود بخشید.

آشکار است هزینه نصب بانک یا مجموعه خازنی و رگولاتور و دیگرها برای اصلاح ضریب توان به مقدار زیاد بسیار گران است و هزینه بازسازی و نگهداری تأسیسات خازنی مجهز به سیستم فرمان خودکار و کنتاکتور و کلیدهای بزرگ نیز زیاد است. بنابراین اصلاح ضریب توان بوسیله مولد موجود در کارخانه کاملاً اقتصادی و بخردانه است.

در کارخانه‌هایی، که مولدهایشان فقط هنگام قطع برق راه‌اندازی می‌شوند، پس از مطالعه و بررسی اقتصادی می‌توان آن مولدها را با شبکه موازی بست و در نقش تعدیل‌گر یا خنثی‌کننده توان راکتیو از آنها بهره‌برداری کرد.

۵-۲- بهبود ضریب توان

۵-۲-۱- محدود کردن توان راکتیو کارخانه‌ها

همانطور که می‌دانیم موتورهای آسنکرون به علت جریان مغناطیسی، که لازم دارند باعث تغییرات $\cos\phi$ شبکه می‌شوند و هر چه قدرت موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیس‌کننده آن نیز بیشتر خواهد بود. در ضمن ضریب توان ($\cos\phi$) موتور به بار موتور بستگی دارد. مقدار ضریب توان بر حسب نوع و ساختمان در بار نامی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۸ است. و در نیمه بار بین ۰/۴۵ تا ۰/۶ و در بی‌باری حتی به ۰/۲ نیز می‌رسد.

علت تغییرات ($\cos\phi$) نسبت به بار، این است که موتورها هنگام بی‌باری جریان مغناطیسی زیادی از شبکه می‌گیرند. بعلاوه توان واته موتورها ناچیز است و فقط به اندازه‌ای است، که تلفات ماشین را بپوشاند. بدین جهت اگر بخواهیم مصرف راکتیو کارخانه‌ای را محدود کنیم، کافی است، که قدرت موتورها را متناسب با قدرت ماشین‌های افزار انتخاب کنیم. به عبارت دیگر قدرت موتور نباید از مقدار قدرت مکانیکی، که از موتور گرفته می‌شود و کاری که انجام می‌دهد بزرگتر باشد.

دیگر آنکه باید از حرکت بی‌بار ماشین‌ها حتی الامکان جلوگیری کرد و اگر نحوه کار ماشین‌ها طوری است، که موتورها مدت نسبتاً زیادی به صورت بی‌بار و یا نیمه بار کار می‌کنند، بهتر است که بویژه موتورهای بزرگ مجهز به کلید خودکار ستاره مثلث باشند و در صورتی که موتور زیر ۵۰٪ توان نامی کار می‌کند سیم پیچ آن به صورت ستاره و در بالای پنجاه درصد توان نامی. به صورت مثلث بسته شود. زیرا توان راکتیوی، که ماشین‌ها در بار کم دریافت می‌کنند در اتصال ستاره کمتر است. در ضمن بهتر است که هیچگاه کابل‌ها از تابلو قطع نشوند، بلکه مصرف‌کننده‌ها از کابل قطع شوند. این عمل باعث می‌شود، که کابلها در موقع بی‌باری به صورت خازن‌هایی در شبکه باقی بمانند و توان راکتیو سلفی شبکه را جبران کنند.

۵-۲-۲- محل نصب خازن

از دیدگاه مهندسی سزاوار است خازن‌ها در جوار مصرف‌کننده‌ها، که به توان راکتیو نیاز دارند، نصب شوند. در روش تعدیل تکی یا اختصاصی، انتقال توان راکتیو از بخش‌های زیادی از شبکه حذف می‌شود و چنانچه خازن و مصرف‌کننده بطور همزمان قطع شوند، اضافه توان راکتیو تولیدی نیز وجود نخواهد داشت.

از دیدگاه اقتصادی این شیوه نصب همیشه توصیه نمی‌شود. بیشتر مصارف صنعتی شمار زیادی مصرف‌کننده کوچک - به اندازه‌های متفاوت - دارند و بسیار مشکل است که برای هر مصرف‌کننده توان خازنی به اندازه صحیح بکار برده شود و فزون بر آن، تمام بار همیشه در یک زمان وصل نمی‌شود و در نتیجه نصب خازن روی هر موتور برق بدون استفاده خواهد ماند. گاه ممکن است نصب یک خازن مرکزی به نصب شمار زیادی خازن کوچک ترجیح داده شود. مزیت استفاده از مجموعه یا بانک خازنی به جای استفاده از خازن‌های موضعی برای هر موتور آن است که به لحاظ

رعایت ترتیب همزمانی در روی کلیه بارهای متغیر، ظرفیت لازم برای مجموعه خازنی کاهش می‌یابد.

از سوی دیگر تجهیزات حفاظتی مخصوص هارمونیک‌های فرکانس زیاد نیز در شبکه محدود می‌شود. گفتنی است یافتن محل نصب خازن‌ها در شبکه نیاز به بررسی پخش بار هارمونیکی دارد. در حالت نصب بانک خازنی، ضریب بار کارخانه [= نسبت متوسط بار به ماکزیمم بار] برای تعیین مقدار مجموعه خازن مورد نیاز می‌باید مورد توجه قرار گیرد.

برای اصلاح ضریب توان نیاز به نصب خازن است. یکی از معایب کم بودن ضریب توان، جذب بی‌مورد قدرت راکتیو از شبکه خارجی است، که باعث پر شدن ظرفیت تجهیزات می‌شود. برای جلوگیری از پر شدن بی‌مورد ظرفیت تجهیزات، لازم است که قدرت راکتیو مورد نیاز، در محل کار تأمین شود. بر حسب اینکه خازن در کدام شینه نصب شود، وضعیت آزاد شدن ظرفیت تجهیزات فرق می‌کند.

۵-۳- انواع کمپانزاسیون

از کمپانزاسیون خازنی می‌توان به سه طریق زیر استفاده کرد:

الف) کمپانزاسیون اختصاصی

ب) کمپانزاسیون گروهی

ج) کمپانزاسیون مرکزی

در ضمن ممکن است در یک مجتمع بزرگ صنعتی از هر سه نوع کمپانزاسیون مشترکاً استفاده شود.

۵-۳-۱- کمپانزاسیون اختصاصی

در کمپانزاسیون اختصاصی توان راکتیو در همان محل که بوجود می‌آید جبران می‌شود، لذا خازن‌های جبران کننده توان راکتیو در همان محل با موتور یا ترانسفورماتور موازی می‌شوند.

کمپانزاسیون اختصاصی باعث می‌شود، که حتی سیم‌های انتقال انرژی تا مصرف کننده نیز از جریان راکتیو خالی شود و در نتیجه مقطع سیم‌های رابط، کوچکتر، افت ولتاژ کمتر و بالاخره افت توان کمتری پیدا کند.

اگر در تمام قسمت‌های کارخانه از کمپانزاسیون اختصاصی استفاده شود، تمام معایب انتقال جریان متناوب یکجا از بین می‌رود. ولی متأسفانه همیشه و در همه جا نمی‌توان از کمپانزاسیون اختصاصی استفاده کرد، زیرا اغلب، تجمع آنها در یک محل و استفاده از واحدهای بزرگتر از نظر اقتصادی، بیشتر مقرون به صرفه خواهد بود.

در بیشتر مواقع نیز به خاطر نبودن محل مناسب و یا حرارت زیاد دستگاهها نمی‌توان خازن را درست در همان محل نصب کرد. کاربرد کمپانزاسیون اختصاصی بیشتر در موتورهایی است، که مدت زیادی از آنها بار گرفته می‌شود و یا در کوره‌های القایی، ترانسفورماتورهای جوشکاری، و ترانسفورماتورهای معمولی و لامپ‌های نئون و فلورسنت.

(شکل شماره ۳)

۵-۳-۲- کمپانزاسیون گروهی

این روش کار برای تأسیسات و کارخانه‌هایی، که چندین موتور کوچک دارند. ولی همه آنها همزمان کار نمی‌کنند مناسب است.

در این روش خازن‌ها با کلید محافظ مخصوصی به شین تابلوی اصلی وصل می‌شوند و قدرت راکتیو آن برای تعداد موتورهایی که دائماً با هم کار می‌کنند محاسبه می‌شود. به طور مثال اگر

فقط چهار موتور به طور دائم کار می‌کنند، خازن‌ها نیز برای قدرت اندوکتیو چهار موتور محاسبه می‌شوند و به محض اینکه دو موتور بکار افتاد خازن‌ها دستی و یا به طور خودکار وارد عمل می‌شوند. (شکل شماره ۴)

۵-۳-۳- کمپانزاسیون مرکزی

در این روش چند خازن در محل و تابلوی مخصوصی نصب می‌شوند (بانک خازنی) و بر حسب احتیاج تعدادی از آنها به شبکه اصلی و یا در تابلو به شین اصلی وصل می‌شوند. در کمپانزاسیون مرکزی معمولاً خازن‌ها دارای شینه و تابلوی جداگانه هستند و توسط کلید نیرو یا کلید قدرت مخصوصی به شینه اصلی کارخانه وصل می‌شوند. در این روش تعدادی از خازن‌ها به طور دائم به شینه اصلی وصل هستند و تعداد دیگری متناسب با بار راکتیو به طور خودکار به شبکه اضافه می‌شوند. شکل ۵ انواع کمپانزاسیون را به طور شماتیک با مسیر جریان راکتیو آنها نشان می‌دهد.

۵-۴- کمپانزاسیون در کارخانه‌ها

کارخانه‌ها عموماً دارای تأسیسات فشار ضعیف‌اند. حتی کارخانه‌های بزرگ صنعتی نیز، که دارای شبکه فشار متوسط (اغلب ۶ هزار ولت برای موتورهای سنگین و بزرگ) می‌باشند نیز دارای شبکه وسیع فشار ضعیف‌اند. انرژی این کارخانه‌های بزرگ اغلب توسط یک یا چند ترانسفورماتور یا ولتگردانی، که در اختیار دارند تأمین می‌شود. لذا کافی است برای بهبود $\cos\phi$ جبران‌کننده‌ها در طرف فشار قوی و به طور مرکزی و یکجا نصب شوند (کمپانزاسیون مرکزی). ولی با توجه به اینکه در این روش، سیم‌های انتقال انرژی بعد از خازن‌ها و کمپانزاتورها از بار و جریان اندوکتیو خالی نمی‌شوند، لذا از مزایای دیگر کمپانزاسیون، که عبارت بود از کاهش قدرت ترانسفورماتور، کاهش مقاطع سیم‌های انتقال و توزیع انرژی و جلوگیری از افت ولتاژ و تلفات حرارتی بی‌مورد بار راکتیو بهره گرفته نشده است.

دیگر آنکه، کمپانزاسیون مرکزی در طرف فشار قوی احتیاج به کلیدهای فشار قوی بزرگ و گران قیمت دارد. همچنین خود خازن‌ها نیز باید در مقابل اختلاف ولتاژ زیاد طرف اولیه ترانسفورماتور مقاوم باشند.

در کارخانه‌های بزرگ که دارای شبکه فشار قوی کارگاهی هستند، گاه از کمپانزاسیون مرکزی در طرف فشار قوی شبکه محلی استفاده می‌شود و گاه موتورهای فشار قوی به طور اختصاصی کمپانزه می‌شوند و بقیه دستگاهها که با فشار ضعیف کار می‌کنند بر حسب نوع کار آنها از کمپانزاسیون اختصاصی، گروهی و یا مرکزی طرف فشار ضعیف بهره می‌گیرند.

۵-۵- تعیین قدرت خازن مورد نیاز

۵-۵-۱- کاهش قدرت ظاهری

هرگاه مقدار قدرت ظاهری مصرف کننده‌ای S_1 و ضریب قدرت آن $\cos\phi_1$ باشد، جهت رساندن ضریب قدرت فوق به ضریب قدرت مطلوب [با توجه به شکل شماره ۶] قدرت و ظرفیت خازن لازم محاسبه می‌شود:

$$Q_1 = p_1 \cdot \tan\phi_1$$

$$Q_2 = p_1 \cdot \tan\phi_2$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P_1 (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

$$Q_1 = p_1 \cdot K$$

مقدار ضریب K را می‌توان با استفاده از نمودار ۷ نیز پیدا کرد.

جدول ۶ - محاسبه ضریب K جهت افزایش ضریب توان از $\text{Cos}\phi_1$ به $\text{Cos}\phi_2$

		改善後之功率因數 $\text{Cos } \theta_2$												
		1.0	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.85	0.80
改善前之功率因數 $\text{Cos } \theta_1$	0.50	1.73	1.59	1.53	1.48	1.44	1.40	1.37	1.34	1.30	1.28	1.25	1.11	0.98
	0.52	1.64	1.50	1.44	1.39	1.35	1.32	1.28	1.25	1.22	1.19	1.16	1.02	0.89
	0.55	1.52	1.38	1.32	1.27	1.23	1.19	1.16	1.12	1.09	1.06	1.04	0.90	0.77
	0.57	1.44	1.30	1.24	1.19	1.15	1.11	1.08	1.05	1.01	0.99	0.96	0.82	0.69
	0.60	1.33	1.19	1.13	1.08	1.04	1.01	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.71	0.58
	0.62	1.27	1.23	1.06	1.01	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.65	0.52
	0.65	1.17	1.03	0.97	0.92	0.88	0.84	0.81	0.77	0.74	0.71	0.69	0.55	0.42
	0.67	1.11	0.97	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.65	0.62	0.49	0.36
	0.70	1.02	0.88	0.81	0.77	0.73	0.69	0.66	0.62	0.59	0.56	0.54	0.40	0.27
	0.72	0.96	0.82	0.75	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.53	0.51	0.48	0.34	0.21
	0.75	0.88	0.74	0.67	0.63	0.58	0.55	0.52	0.49	0.45	0.43	0.40	0.26	0.13
	0.77	0.83	0.69	0.62	0.58	0.54	0.50	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.21	0.08
	0.80	0.75	0.61	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.29	0.27	0.13	
	0.82	0.70	0.56	0.49	0.45	0.41	0.37	0.34	0.30	0.27	0.24	0.21	0.08	
	0.85	0.62	0.48	0.42	0.37	0.33	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14		
	0.87	0.57	0.42	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.17	0.14	0.11	0.08		
	0.90	0.48	0.34	0.28	0.23	0.19	0.16	0.12	0.09	0.06	0.02			
	0.91	0.45	0.31	0.25	0.21	0.16	0.13	0.09	0.06	0.02				
	0.92	0.43	0.28	0.22	0.18	0.13	0.10	0.06	0.03					
0.93	0.40	0.25	0.19	0.15	0.10	0.07	0.03							
0.94	0.36	0.22	0.16	0.11	0.07	0.04								
0.95	0.33	0.18	0.12	0.08	0.04									
0.96	0.29	0.15	0.09	0.04										
0.97	0.25	0.11	0.05											
0.98	0.20	0.06												
0.99	0.14													

برای نمونه اگر بخواهیم ضریب قدرت موجود $\text{Cos}\phi_1=0.6$ را به ضریب قدرت مورد نظر $\text{Cos}\phi_2=0.9$ برسانیم، مقادیر این دو ضریب قدرت را بوسیله خطی مستقیم به هم وصل می‌کنیم و محل تلاقی این خط با خط مدرج وسطی، K خواهد بود. از جدول شماره (۶) نیز می‌توان مقادیر K را بدست آورد.

$$(K=0.85)$$

با استفاده از منحنی نمودار ۸ نیز می‌توان با در دست داشتن مقادیر P_1 و $\text{Cos}\phi_1$ و $\text{Cos}\phi_2$ مقدار Q_C را تعیین کرد.

۵-۵-۲- تهویه خازن‌ها

خازن در مقابل افزایش دما بسیار حساس است و همواره در بار دائمی خودکار می‌کند. در نتیجه، در حالت اضافه ولتاژ سیستم [که به معنای افزایش بار خازن و متعاقباً افزایش درجه حرارت آن است]

خازن را نباید وارد مدار کرد. خازن معمولاً طوری طرح می‌شود، که اضافه درجه حرارت زمان کار آن نسبت به دستگاههای برقی دیگر کمتر است، زیرا:

۱. خازن همیشه در بار کامل می‌کند. بنابراین، امتیاز افزایش درجه حرارت متوسط، که در

اثر بارهای مختلف درمورد ولتگردانها و یا دستگاههای دیگر تعریف می‌شود، در مورد خازن وجود ندارد.

۲. بنا به دلایل اقتصادی خازن با شدت میدان زیاد و فشارهای عایقی زیاد طراحی می‌شود.

مجموعه این فشارها توأم با درجه حرارت زیاد برای مدت زمان طولانی سبب خرابی تدریجی و کوتاه شدن عمر خازن می‌شود.

بنا بر آنچه گفته آمد، لازم است که به آرایش نصب خازن‌ها توجه شود تا تهویه کافی و تبادل حرارت [ناشی از تلفات داخلی] انجام پذیرد.

۵-۵-۳- راههای مؤثر کاهش دما

۱. قراردادن خازن‌ها در مکانی با دمای کمتر

۲. خنک کردن با پنکه

۳. خازن‌های ویژه، که دارای ظرفیت نامی بیشتر باشد.

خازن‌ها عموماً برای محیطی که بیشترین دمای آن ۴۰ سانتیگراد است طراحی می‌شوند.

جدول ۷ - مقادیر تقریبی قدرت خازن بر حسب کیلووات برای موتور و ترانسفورماتور

مصرف کننده:	قدرت خازن به KVAR
۱- موتورهای الکتریکی:	
از ۱ تا ۳ کیلووات (KW)	۶۰٪ قدرت نامی موتور
از ۴ تا ۱۰ کیلووات (KW)	۵۰٪ قدرت نامی موتور
از ۱۱ تا ۲۰ کیلووات (KW)	۴۵٪ قدرت نامی موتور
از ۲۱ تا ۵۰ کیلووات (KW)	۴۰٪ قدرت نامی موتور
از ۵۱ تا ۱۰۰ کیلووات (KW)	۳۵٪ قدرت نامی موتور
۲- ترانسفورماتورها:	
ترانسفورماتورها	۱۰٪ قدرت نامی

۵-۴-۵- بررسی نتایج فنی و اقتصادی حاصل از نصب خازن در یکی از کارخانه‌ها با

قدرت قراردادی ۷۵۰ KW

از گزارش مصرف برق مشترک در چهار ماه آخر سال و شش ماه اول سال بعد، ضریب توان

متوسط در یک دوره ۱۰ ماهه برابر $\cos\phi_1 = 0.7$ تعیین می‌شود.

محاسبه قدرت خازن مورد نیاز

$P = 480 \text{ KW}$ حداکثر بار مصرفی (دیماند مصرفی)

کاهش توان اکتیو

$\cos\phi_1 = 0.7$ ضریب قدرت موجود

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

$$\cos\phi_2 = 0.9 \text{ ضریب قدرت مطلوب}$$

با استفاده از نمودار، ضریب K برابر ۰/۵۳ بدست می‌آید.

$$Q_C = K.P$$

$$Q_C = 0.53 \times 480 = 254.4 = 260 \text{ KVAR}$$

اگر برای نصب خازن به ازای هر کیلوواری ۱۱۵۰۰ تومان در نظر بگیریم، هزینه خازن‌ها و

رگولاتور و سایر تجهیزات مورد نیاز تقریباً برابر با ۳ میلیون تومان خواهد شد. با

احتساب متوسط پرداختی بابت ضرر و زیان در هر ماه تقریباً ۹۸۰۰۰ تومان، جمع پرداخت

در مدت ۲ سال و نیم، برابر ۳ میلیون تومان خواهد بود. بنابراین ملاحظه می‌شود که با

تهیه و نصب خازن، سرمایه‌گذاری آن در طول دو سال و نیم مستهلک می‌شود.

۶- موتورهای القائی (اندوکسیونی) سه فاز

۶-۱- مقدمه

دراکثر کارخانجات و صنایع در سراسر جهان از موتورهای القائی (اندوکسیونی) استفاده می‌شود. بخصوص در مواقعی که به موتور نسبتاً بزرگی نیاز داشته باشیم از موتورهای القائی سه فاز استفاده می‌گردد. این موتورها دارای مزایای زیر هستند.

الف - قابلیت اطمینان آنها زیاد است.

ب - ارزان هستند

ج - ساخت آنها ساده است

این موتورها را اصولاً فراریس در سال ۱۸۸۵ اختراع نمود اما نام تسلا که در سال ۱۸۸۶ تئوری این موتورها را بیان نمود بیشتر به چشم می‌خورد.

۶-۲- ساختمان موتورهای القائی

موتورهای القائی سه فاز از دو قسمت اساسی تشکیل شده‌اند:

الف - قسمت ثابت بنام استاتور

ب - قسمت دوار بنام رتور

۶-۲-۱- استاتور موتورهای القائی سه فاز

استاتور اینگونه ماشین‌ها حاوی شیارهایی می‌باشد که درون آنها سیم‌پیچی سه فازی جا سازی شده و باتوجه به نحوه این سیم پیچی، موتورهای القائی سه فاز دو قطبی، ۴ قطبی، ۶ قطبی و ... حاصل می‌گردند. (شکل ۹)

فی المثل می‌توان گفت که در موتور ۴ قطبی دو قطب مثبت (شمال) و دو قطب منفی (جنوب) وجود دارد.

۶-۲-۲- رتور موتورهای القائی سه فاز

رتورهای متداول در اینگونه ماشین‌ها به قرار زیر است.

الف - رتور قفس سنجابی ساده

ب - رتور قفس سنجابی مضاعف

ج - رتور سیم پیچ شده

۶-۲-۲-۱- رتور قفس سنجابی ساده

متداول‌ترین رتور برای موتورهای القائی سه فاز همین رتور قفس سنجابی ساده می‌باشد، زیرا شباهت زیادی به قفس سنجابی دارد. اینگونه رتورها از میله‌های مسی تشکیل شده که در شیارهای رتور جاسازی می‌شوند و همانطور که از شکل ۱۰ پیداست بدنه رتور (قسمت فلزی) که به صورت مورق ساخته می‌گردد نشان داده نشده است.

۶-۲-۲-۲- رتور قفس سنجابی مضاعف

در برخی از موتورهای القائی سه فاز رتورهائی از نوع قفس سنجابی مضاعف وجود دارد و اینگونه رتورها از دو سری میله تشکیل شده‌اند.

الف) سری اول میله‌ها از نوع برنج بوده و در نزدیک سطح رتور تعبیه می‌شود و به میله‌های خارجی موسوم‌اند.

ب) سری دوم میله‌ها از جنس مس بوده و در زیر سری اول و در داخل شیارهای رتور نصب می‌گردند و به میله‌های داخلی موسوم‌اند.

باید خاطر نشان ساخت که :

- مقاومت میله‌های برنجی یا میله‌های خارجی (سری اول) از مقاومت میله‌های مسی (سری دوم) بیشتر است.

- چون میله‌های مسی یا میله‌های داخلی (سری دوم) بهم نزدیک تر اند لذا راکتانس نشتی آنها نسبت به میله‌های برنجی (میله‌های خارجی) بیشتر خواهد بود.

راکتانسهای نشتی بصورت راکتانسهای اندوکتیو در مدار معادل رتور ظاهر می‌شوند.

برای آنکه بهتر درک کنیم چرا رتور قفس سنجابی مضاعف مشخصه موتور را بهبود می‌بخشد به مطالب زیر توجه می‌کنیم.

الف) فرکانس جریان رتور در لحظات راه‌اندازی زیاد است (معادل فرکانس منبع تغذیه موتور) . وقتی سرعت موتور زیاد شد فرکانس جریان رتور کم می‌شود (نزدیک صفر)

ب) در راه‌اندازی میله‌های خارجی جریان بیشتری می‌کشند زیرا کل امیدانس آنها کمتر

است و چون R در میله‌های خارجی از X بیشتر است لذا ضریب توان مدار بالا است و

ترکیبی از جریان زیاد و ضریب توان بالا گشتاور یا کوپل راه‌اندازی نسبتاً خوبی ایجاد می‌کند.

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

ج) در سرعت‌های بالا تمامی جریان از میله‌های داخلی عبور می‌کند و در فرکانس‌های کم از راکتانس این میله‌ها می‌توان صرفه نظر کرد و مشخصه خوبی در سرعت‌های بالا پدیدار می‌شود.

۶-۲-۳- رتورهای سیم‌پیچی شده

در اینگونه رتورها در شیارهای رتور سیم پیچ تعبیه شده است و می‌توان در اینگونه رتورها مقاومت خارجی از طریق حلقه‌های لغزان به سیم پیچ‌های رتور متصل ساخت و به اینگونه مقاومت‌های خارجی گاهی رئوستای حلقه‌های لغزان نیز گفته می‌شود. در اینگونه اتصالات براحتی می‌توان مقاومت رتور را تغییر داد و مشخصه جالبی در لحظات راه‌اندازی و بهره‌برداری از ماشین بدست آورد.

شکل ۱۱ شمای ساده اینگونه رتورها را نشان می‌دهد و باید در اینگونه رتورها نکات زیر را بخاطر داشت.

الف) سیم پیچ اینگونه رتورها نیز باید سه فاز باشد.

ب) تعداد قطب‌های حاصله از اینگونه سیم‌پیچ باید با تعداد قطب‌های حاصله در استاتور مساوی باشد.

ج) تعداد شیارهای رتور و استاتور باید یکسان باشد.

۶-۳- مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی یا اسنکرون سه فاز

معمولاً مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی سه فاز اینچنین‌اند.

۱. ولتاژ اسمی که باید به استاتور اعمال شود و معمولاً ولتاژ « خط -

خط » مورد نظر است.

۲. فرکانس اسمی که باید ولتاژ منبع تغذیه همان فرکانس اسمی را

داشته باشد.

۳. توان اسمی : شامل حداکثر توان مکانیکی است که موتور می‌تواند دائماً تأمین کند و به آن گاهی بار کامل نیز گفته می‌شود.
۴. سرعت اسمی : سرعتی است که موتور تحت آن توان اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد.
۵. جریان اسمی : جریانی است که موتور از منبع تغذیه در حالتی می‌کشد که بار اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد و معمولاً جریان خط مد نظر است.
۶. ضریب توان اسمی : ضریب توان موتور در حالتی است که بار اسمی خود را تحویل می‌دهد.

۶-۴- لغزش

لغزش در موتورهای القایی (اسنکرون) سه فاز اینچنین بدست می‌آید:

$$Slip = s = \omega_s - \omega$$

در روابط اخیر ω_s و ω سرعت سنکرون و S و ω سرعت واقعی رتور می‌باشند.

معمولاً لغزش را بصورت درصدی از سرعت سنکرون بیان می‌دارند.

در سیستم SI داریم :

$$PercentSlip = S = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \times 100$$

۶-۵- منحنی "گشتاور - لغزش"

برای بررسی دقیق‌تر تغییرات لغزش با توجه به تغییرات گشتاور بار باید رابطه دقیق‌تری بین گشتاور و لغزش بدست آوریم. یکی از راههای حصول به حل دقیق‌تر مساله استفاده از منحنی "گشتاور - لغزش" است که ما آنرا با منحنی "TSL" می‌نامیم. این منحنی تغییرات گشتاور خروجی نسبت به درصد لغزش می‌باشد. شکل ۱۲ یک نمونه منحنی TSL را برای یک موتور آسنکرون سه فاز نشان می‌دهد. رابطه گشتاور اینچنین است.

$$T = \frac{(K\phi E_{BR} R_R)S}{R_R^2 + (S X_{BR})^2}$$

شکل ۱۲ رسم معادله فوق می‌باشد، در لحظه راه‌اندازی لغزش ۱۰۰٪ است و گشتاور راه‌اندازی حاصل می‌گردد. حال رتور شتاب می‌گیرد و بالاخره ماشین در سرعت یا لغزش خاصی مستقر می‌گردد.

هرگاه بار موتور بار اسمی باشد، لغزش موتور همان لغزش اسمی خواهد بود. اگر بار زیاد شود، لغزش زیاد می‌شود (سرعت کم می‌شود) و گشتاور نیز مطابق نیاز بار افزایش می‌یابد. اگر معادله فوق را رسم کنیم شکلی مطابق شکل ۱۲ حاصل می‌گردد و این منحنی دارای ماکزیممی است که به آن گشتاور ماکزیمم یا گشتاور Pull-out گفته می‌شود، هرگاه گشتاور بار از این گشتاور ماکزیمم یا Pull-out افزون‌تر شود ماشین سرعتش به تدریج کاهش می‌یابد تا بالاخره به حالت سکون در می‌آید.

از نظر ریاضی نقطه ماکزیمم منحنی ۱۲ که به معادله بالا مربوط می‌شود اینچنین

بدست می‌آید.

$$R_R^2 = (S X_{BR})^2$$

$$R_R = S X_{BR}$$

$$Pull - OutSlip = S_{PO} = \frac{R_R}{X_{BR}}$$

باید توجه داشت که لغزش مربوط به گشتاور ماکزیمم یا Pull-out را به لغزش ماکزیمم یا لغزش pull-out نشان می‌دهند. همانطور که از شکل ۱۲ پیداست منحنی در محدوده لغزش ۱۰۰٪ (حالت سکون و راه‌اندازی) تا لغزش صفر مربوط به سرعت سنکرون رسم شده است. همچنین در این شکل نقاط مربوط به گشتاور ماکزیمم (pull-out)، لغزش ماکزیمم (Pull-out) و گشتاور راه‌اندازی نشان داده شده‌اند.

با افزایش لغزش جمله $(S X_{BR})$ در امپدانس رتور بیشتر می‌شود تا بالاخره $S X_{BR}$ یا R_R مساوی گردد. در این لحظه ضریب توان رتور ۰/۷۰۷ خواهد بود. حال اگر باز بار زیادتر شود و لغزش بیشتر گردد ضریب توان رتور کم می‌شود و بالنتیجه توان حاصله توسط رتور کاهش می‌یابد. کم شدن توان باعث زیادتر شدن لغزش و کاهش بیشتر ضریب توان رتور می‌گردد که خود دوباره بر کم شدن توان اثر می‌گذارد این پروسه آنقدر ادامه می‌یابد تا موتور بایستد.

۶-۶- رتورهای سیم‌پیچی شده

در بخش قبل تنها اثر تغییر بار را بر روی سرعت ماشین مورد بررسی قرار دادیم. اما اگر رتور ماشین از نوع رتور سیم‌پیچی شده باشد می‌توان مقاومت هر فاز رتور را تغییر

داد با تغییر مقاومت رتور نه تنها لغزش ماکزیمم (Pull-out) تغییر کرده بلکه تحت گشتاور بار مفروضی می‌توان لغزش را تغییر داد. با تقریب خوب می‌توان گفت:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R_{R1}}{R_{R2}}$$

یعنی نسبت لغزشها در دو حالت مختلف متناسب است با مقاومت رتور در این دو حالت، لذا اگر مقاومت رتور را زیاد کنیم لغزش نیز بیشتر می‌گردد، اما باید گفت که افزایش مقاومت رتور گشتاور ماکزیمم (Pull-out) را تغییر نمی‌دهد.

شکل ۱۳ اثر تغییر مقاومت رتور را بر روی منحنی TSL نشان می‌دهد. در نتیجه در می‌یابیم که با تغییر مقاومت رتور می‌توان سرعت ماشین را تحت بار مفروض تغییر داد. در اینجا نکاتی چند را یادآوری می‌کنیم.

۱- اگر مقاومت خارجی در مدار رتور نباشد، در این صورت مقاومت رتور به تنهایی در تعیین گشتاور مؤثر است و دیگر نمی‌توان با روش تغییر مقاومت سرعت را از این حالت بیشتر نمود.

۲- با افزایش مقاومت خارجی رتور، گشتاور راه‌انداز موتور بیشتر می‌شود.

۶-۷- تلفات در موتورهای القایی سه فاز

تلفات ماشین یا همان تلفات داخلی موتور به دو دسته تقسیم می‌شوند. (شکل ۱۴)

۱- تلفات ثابت شامل:

الف) تلفات هسته در رتور و استاتور بخاطر تلفات هیستریزیس و تلفات جریان گردابی

ب) تلفات ناشی از اصطکاک

ج) تلفات ناشی از تهویه

۲- تلفات متغیر که با بار تغییر می‌نماید.

الف) تلفات مسی در استاتور

ب) تلفات مسی در رتور

۶-۷-۱- تلفات هسته در رتور

در شرایط عادی، فرکانس جریان رتور کم است و لذا تلفات هیستریزیس و جریان گردابی خیلی کم می‌باشند. لذا از تلفات هسته در رتور صرف‌نظر می‌شود.

۶-۷-۲- تلفات هسته در استاتور

این تلفات بخاطر شار اصلی و شارهای ناشی پدیدار می‌گردد و با تغییر بار این شارها به میزان ناچیزی تغییر می‌کنند و با تقریب خوب تلفات هسته در استاتور را از بی‌باری تا بار کامل ثابت فرض می‌شود.

۶-۷-۳- تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه

این تلفات بخاطر دوران مکانیکی رتور می‌باشد و چون سرعت از حالت بی‌باری تا بار کامل به میزان ناچیزی تغییر می‌کند، لذا این تلفات را که تلفات مکانیکی نیز به آن گفته می‌شود در طول مدت بهره‌برداری از ماشین ثابت در نظر می‌گیریم.

۶-۷-۴- تلفات مسی استاتور

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

این تلفات ناشی از RI^2 در سیم‌های استاتور است و چون تابعی از بار می‌باشد لذا باید

در هر مرحله از بهره‌برداری آنرا حساب کرد

۶-۷-۵- تلفات مسی رتور

این تلفات ناشی از RI^2 در سیم‌های رتور است و در رتورهای سیم‌پیچی شده به سهولت قابل اندازه‌گیری است. اما در رتورهای قفس سنجابی برای تعیین این تلفات از روشهای پیشرفته‌ای استفاده می‌شود.

۶-۸- تشریح پخش توان در موتورهای القائی سه فاز

قبل از آنکه آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات درون اینگونه موتورها را توضیح دهیم، قدری درباره چگونگی پخش توان در موتورهای اسنکرون صحبت می‌کنیم. علت این امر آن است که محاسبات عددی در مورد آزمایش‌ها را واضح‌تر می‌سازد. برای سهولت امر، شکل ۱۵ را در نظر می‌گیریم. هرگاه سیم‌پیچ استاتور به منبع تغذیه (شبکه) وصل گردد، توان الکتریکی وارد موتور می‌شود و چون موتورها سه فاز هستند، این توان وارد شده به موتور اینچنین خواهد بود (بر حسب وات یا کیلووات):

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$$

هنگام آزمایش بر روی موتور ضریب توان ($\cos \theta$) مشخص نیست اما با استفاده از

روش دو واتمتری می‌توان توان ورودی را سنجید

$$P_1 = W_1 + W_2$$

در استاتور دو نوع تلفات وجود دارد.

الف) تلفات هسته (P_C) که به ولتاژ منبع تغذیه بستگی دارد.

ب) تلفات مس (P_{Cus}) که به جریان خط بستگی دارد و البته به بار نیز بستگی خواهد داشت.

اگر مجموع تلفات فوق از توان ورودی کسر گردد توان بدست آمده از طریق فاصله هوایی به رتور منتقل می‌شود، لذا :

$$P_R = P_i - P_C - P_{Cus}$$

در رتور تلفات هسته ناچیز است و تلفات مسی رتور به لغزش (سرعت) بستگی دارد. به سهولت می‌توان رابطه تلفات مسی استاتور و توان منتقله شده به رتور را اینچنین نوشت.

$$P_{CuR} = S P_R$$

پس از اینکه تلفات مس رتور از توان وارده به رتور کسر شود توان حاصله توسط رتور بدست می‌آید.

$$P_{dev} = P_R - P_{CuR}$$

اگر توان مکانیکی ناشی از تهویه و اصطکاک از توان حاصله فوق کسر شود توان خروجی موتور بدست می‌آید.

$$P_O = P_{dev} - P_M$$

در آزمایش‌هایی که بر روی موتور جهت تعیین تلفات فوق الذکر انجام می‌شود کل تلفات ناشی اعم از تلفات مکانیکی و تلفات هسته استاتور بدست می‌آید ولی نمی‌دانیم که چه مقدار از این تلفات ثابت، شامل تلفات مکانیکی است و چه مقدار شامل تلفات هسته استاتور می‌باشد ما می‌توانیم چنین فرض کنیم.

الف) کل تلفات ثابت مربوط به تلفات هسته استاتور بوده و آنرا در مدار استاتور منظور می‌نمائیم.

ب) کل تلفات ثابت مربوط به تلفات مکانیکی رتور بوده و آنرا درمدار رتور منظور می‌کنیم درعمل ممکن است هر دو روش فوق را انجام دهیم ولی در هر مورد خطا حاصل می‌شود زیرا:

۱- درحالت اول که کل تلفات را برای استاتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده در رتور ناچیز خواهد بود، زیرا تلفات مسی رتور تابعی از توان منتقله از استاتور به رتور است.

۲- در حالت دوم که کل تلفات را برای رتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده رتور بسیار زیاد خواهد شد.

اما ما حالت دوم را بیشتر مد نظر می‌داریم یعنی کل تلفات ثابت را متعلق به مدار رتور می‌دانیم زیرا:

الف) تخمین محتاطانه تری از راندمان بدست خواهیم آورد زیرا تلفات محاسبه شده قدری از مقدار واقعی بیشتر خواهد شد.

ب) از آنجائیکه توان مکانیکی (P_M) را صفر نگرفته‌ایم لذا توان خروجی با توان حاصله یکسان نخواهد بود و حقیقت امر هم همین است با این فرضیات تلفات هسته (P_C) را در رابطه P_R صفر می‌گیریم و آنرا یکجا همراه با P_M در معادله P_O منظور می‌کنیم.

۶-۹- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات

دو آزمایش برای تعیین تلفات موتورهای القائی سه فاز انجام می‌دهیم. اما قبل از این آزمایش‌ها باید مقاومت مؤثر هر فاز استاتور را بدست آورد. مقاومتی که از آزمایش dc بدست می‌آید را در ضریب ۱/۲۵ ضرب می‌کنیم تا مقاومت مؤثر هر فاز بدست آید.

$$r_e = 1.25r_s$$

به سهولت می‌توان دریافت که کل تلفات مسی در سیم‌پیچ استاتور اینچنین است:

$$P_{CuS} = 3/2 r_e I_L^2$$

در رابطه فوق I_L همان جریان خط می‌باشد.

باید گفت که رابطه فوق برای اتصال Δ (مثلث) و Y (ستاره) هر دو متغیر است، زیرا سیم‌پیچ استاتور در برخی از موتورها بصورت مثلث (Δ) بوده و در برخی بصورت ستاره (Y) می‌باشد.

حال آزمایشی مطابق شکل ۱۵ انجام می‌دهیم.

۶-۹-۱- آزمایش بی‌باری

در این آزمایش ولتاژ اسمی را به استاتور اعمال می‌کنیم ولی به محور موتور بار متصل نمی‌کنیم. چون ماشین بی‌بار است، سرعت زیاد بوده و به عبارت دیگر لغزش بسیار ناچیز است. جریان استاتور در حالت بی‌باری کم است، لذا در این تست تلفات مسی بسیار کم است در نتیجه توان ورودی صرف کل تلفات ثابت ماشین ($P_C + P_M$) و تلفات ناچیز مسی در استاتور می‌شود. باید گفت که تلفات مسی در رتور نیز در حالت بی‌باری بسیار کم است لذا اگر تلفات مسی استاتور را از رابطه P_{CuS} پیدا کرده و از توان ورودی کسر کنیم

کل تلفات ثابت (P_C+P_M) بدست می‌آید. و همانطوریکه گفتیم P_C را صفر می‌گیریم و کل تلفات ثابت را در مدار رتور منظور می‌کنیم. لذا با این آزمایش کل P_M حاصل می‌گردد. عبارت فوق را در رابطه زیر خلاصه می‌کنیم.

$$P_e + P_M = W_1 + W_2 - P_{CuS}$$

در رابطه اخیر W_1 و W_2 مقادیر واتمترها بوده و P_{CuS} تلفات مسی ناچیز استاتور است که از رابطه بالا محاسبه می‌شود.

۶-۹-۲-آزمایش در بار اسمی

از مدار شکل ۱۵ می‌توان در حالت بار اسمی نیز استفاده کرد. در این آزمایش باید بار اسمی بر محور موتور اعمال شود. هنگامیکه موتور بار اسمی را تغذیه می‌کند تمام دستگاههای اندازه‌گیری و سرعت موتور خوانده می‌شود. هرگاه جریان خط وارده شده به موتور همان جریان اسمی موتور گردید به شرایط اسمی رسیده‌ایم. حال آمپر متر ورودی را می‌خوانیم (I_L) و تلفات مسی استاتور را در بار اسمی حساب می‌کنیم. دور سنج سرعت اسمی را می‌دهد و می‌توانیم لغزش در بار اسمی را حساب کنیم. با خواندن واتمترها و استفاده از روابط ذکر شده می‌توان تلفات مسی را بدست آورد (P_{CuR}). البته این تلفات مسی در رتور مربوط به شرایط اسمی ماشین است. با توجه به اینکه P_C را صفر گرفته‌ایم لذا روابط P_{dev} و P_O توان خروجی را به ما خواهند داد. توجه باید کرد که کل P_M مربوط به مدار رتور در تست قبلی بدست آمده است.

با توجه به رابطه $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta$ می‌توان ضریب توان موتور را در بار اسمی بدست آورد زیرا P, I, V از تست مربوطه به بار اسمی توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری حاصل می‌شوند.

۶-۱۰- روش راه‌اندازی موتورهای القائی سه فاز

دو روش برای راه‌اندازی اینگونه موتورها وجود دارد:

۱- وصل مستقیم موتور به شبکه (منبع تغذیه)

۲- استفاده از راه‌انداز

در روش اول (وصل مستقیم) ولتاژ اسمی به ترمینال‌های استاتور اعمال می‌گردد. اما موتورهای اسنکرون سه فاز در لحظه راه‌اندازی بین ۵ تا ۱۰ برابر جریان اسمی خود را از شبکه می‌کشند. مثلاً اگر در یک موتور سه فاز ۲۲۰ ولتی (۲۲۰ ولت ولتاژ خط می‌باشد) جریان اسمی ۱۰ آمپر باشد، لذا در لحظه راه‌اندازی حدود ۵۰ تا ۱۰۰ آمپر می‌کشد که خود مشکلاتی برای موتور و منبع تغذیه فراهم می‌سازد. البته این روش (وصل مستقیم) را می‌توان برای موتورهای کوچک (تا ۵ اسب بخار یا ۳ کیلوواتی) اعمال نمود ولی برای موتورهای بزرگتر باید از راه‌اندازهای مخصوص استفاده کرد. یکی از روشهای متداول، استفاده از راه‌اندازهای "ستاره - مثلث" می‌باشد. از این راه‌اندازها می‌توان برای موتورهایی که استاتور آنها بصورت مثلث می‌باشد استفاده نمود.

ابتدا سیم‌پیچ‌های استاتور را مطابق شکل ۱۶ به کلید "ستاره - مثلث" متصل می‌سازیم. در لحظه راه‌اندازی کلیدها در وضعیت شماره (۱) قرار دارند و لذا اتصال استاتور بصورت ستاره می‌باشد. هرگاه سرعت موتور بالا رفت و لغزش به حدود ۲۰٪

رسید کلیدها را به وضعیت شماره ۲ می‌بریم. حال استاتور به وضعیت مثلث برده می‌شود. با استدلال زیر می‌بینیم که بدین ترتیب جریان راه‌اندازی به یک سوم ثلث تقلیل می‌یابد. در اتصال مثلث جریان راه‌اندازی اینچنین است .

$$I_P = \frac{V_L}{Z}$$

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3} I_P = \frac{\sqrt{3} V_L}{Z}$$

در اتصال ستاره جریان راه‌اندازی اینچنین است.

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_P = \frac{V_P}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$I_{LY} = I_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L (\sqrt{3}Z)}{\sqrt{3} V_L / Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3} I_{L\Delta}$$

می‌بینیم که جریان خط در لحظه راه‌اندازی در حالت ستاره مثلث جریان خط در حالت

مثلث خواهد بود.

چون با اتصال ستاره شروع می‌کنیم و جریان کمتر از حالت مثلث است لذا گشتاور نیز کمتر خواهد بود. در لحظه راه‌اندازی ولتاژ دو سر سیم‌های استاتور در حالت ستاره $V_L/\sqrt{3}$ می‌باشد و از رابطه در می‌یابیم که گشتاور راه‌انداز در حالت ستاره به ثلث تقلیل می‌یابد. در نتیجه در این نوع راه‌اندازی که با حالت ستاره شروع می‌شود منحنی TSL مطابق شکل ۱۷ می‌باشد. در لحظه راه‌اندازی از نقطه شماره (۱) شروع می‌کنیم و با سرعت گرفتن موتور به نقطه (۲) می‌رویم در این لحظه است که از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث تغییر مکان می‌دهیم. لذا یک افزایش ناگهانی در گشتاور پدید می‌آید (نقطه ۳)، موتور از نقطه (۳) به شتاب خود ادامه می‌دهد تا بالاخره به نقطه (۴) مربوط به شرایط اسمی ماشین برسیم. باید گفت که اگر از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث نمی‌رفتیم در منحنی پائینی باقی می‌ماندیم و نقطه کار ماشین همان نقطه (۵) خواهد بود. همانطور که مشاهده می‌شود سرعت در نقطه ۵ به مراتب کمتر از سرعت در نقطه (۴) است زیرا لغزش در نقطه ۵ از لغزش در نقطه ۴ بیشتر می‌باشد.

فصل دوم

صرفه‌جویی انرژی

در

سیستم‌های تولید هوای فشرده

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

فصل ۲ - صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

خلاصه -

در این مجموعه گردآوری شده به مکانیزم‌های اساسی در بهره‌برداری از سیستم‌های هوای فشرده خواهیم پرداخت.

راهکارها و فرصت‌های بهبود کارایی انرژی و صرفه‌جویی انرژی در کاهش تلفات هوای فشرده تولید شده و نیز استفاده کارا از هوای فشرده تشریح خواهد گردید. در مجموع، روشهای محاسباتی ساده در تخمین صرفه‌جویی‌های انرژی ناشی از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در کمپرسورها ارائه می‌گردد.

۱-۵ - مقدمه

هوای فشرده یکی از یوتیلیتی‌های رایج مورد استفاده در فرآیندهای صنعتی بوده و سهم بسزایی را در هزینه عملیاتی تأسیسات ساخت و تولید بخود اختصاص می‌دهد. در تولید هوای فشرده، انرژی مورد استفاده انرژی الکتریکی است. متأسفانه، بدلیل نشت هوای فشرده، انتخاب نامناسب کمپرسورها، مصرف ناصحیح هوای فشرده و کنترل ضعیف روی سیستم هوای فشرده، اغلب سیستم‌های هوای فشرده دارای راندمان پائین هستند. در این فصل، پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی در سیستم‌های تولید هوای فشرده توضیح داده می‌شوند. در ابتدا، یک مرور اجمالی بر

صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

مبانی متراکم‌سازی گاز خواهیم داشت. سپس، اجزای اصلی لازم برای تولید، توزیع و بهره‌گیری از هوای فشرده مورد بحث قرار خواهد گرفت.

بالاخره در پایان، روشهای محاسباتی هر کدام از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی

جهت کمی‌سازی میزان صرفه‌جویی با مثالهای تشریحی ارائه خواهد گردید.

۲- مروری بر مبانی اولیه

شکل (۱) نشان دهنده یک سیستم ساده تولید هوای فشرده است که با یک موتور الکتریکی کار می‌کند. هوای فشرده عموماً در یک سیستم مرکزی تولید می‌شود و سپس به محل‌های مختلف با کاربردهای متفاوت توزیع می‌گردد.

کلاً، یک سیستم هوای فشرده شامل چندین جزء به قرار زیر است:

یک یا چند کمپرسور که به یک محرک متصل هستند. این محرک می‌تواند یک موتور الکتریکی باشد.

یک سیستم توزیع با لوله‌کشی‌ها، شیرها، تنظیم‌کننده‌ها و کنترل‌ها که این سیستم تجهیزات مختلف مصرف‌کننده هوای فشرده را تغذیه می‌کند.

سایر تجهیزات مانند دریافت‌کننده‌ها (Receivers)، خشک‌کن‌ها (Dryers) و فیلترها

راندمان کل یک سیستم هوای فشرده وابسته به سه مرحله است:

مراحل تولید، توزیع و بکارگیری یا استفاده. در خلال یک ممیزی، ارزیابی هر کدام از مراحل مهم است بدین منظور که عملکرد و نهایتاً پتانسیل بهبود کارایی انرژی یک سیستم هوای فشرده مورد ارزیابی قرار گیرد.

یک مرور مختصری از مبانی اولیه و عواملی که روی مصرف انرژی در هر مرحله تولید، توزیع و استفاده تأثیر می‌گذارند متعاقباً توضیح داده خواهد شد.

شکل (۲) شماتیک یک سیستم هوای فشرده متداول را نشان می‌دهد.

۳ – دسته‌بندی انواع کمپرسورها

نوع انتخاب کمپرسور برای هر کارگاه بایستی با توجه به میزان فشار کاری و مقدار مصرف مورد نیاز کارگاه تهیه گردد و با توجه به دو نکته یعنی فشار کاری و مقدار تولید، کمپرسورها را از نظر ساختمان داخلی به انواع مختلفی دسته‌بندی می‌کنند. شکل (۳-۶) نمودار مقایسه دبی و فشار خروجی در کمپرسورهای مختلف را نشان می‌دهد. معیار این دسته‌بندی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد:

گروه اول:

کمپرسورهایی هستند که دارای دبی کم و فشار زیاد هستند. این گروه بر اساس حبس هوا در یک فضای محدود و کوچک کردن فضای موجود و به طبع بالا رفتن فشار آن عمل می‌کنند. کمپرسورهای پیستونی از موارد پر مصرف این گروه هستند.

گروه دوم:

کمپرسورهایی هستند که دارای دبی زیاد و فشار کم‌ترند. این گروه نیز بر اساس قانون عمومی سیالات و مکش سیال عمل می‌کنند. این نوع کمپرسورها هوا را از یک جهت مکیده و از جهت دیگر با شتاب خارج می‌کنند. با توجه به استفاده هوا با دبی بسیار بالا در توربین‌های گاز، کمپرسور آن از این گروه است.

۳-۱ – انواع کمپرسورها:

الف – کمپرسورهای جابجایی – Displacement Compressors

این نوع از کمپرسورها یک مقدار معینی از هوا را در مدت معینی از زمان در یک سیلندر جذب می‌کند. این سیستم حجم هوا را کاسته و آن را فشرده می‌سازد. پس از این فشرده‌سازی، هوا که فشار آن بالا رفته تخلیه می‌گردد. این نوع کمپرسورها به چهار گونه یا طبقه تقسیم بندی می‌شوند.

کمپرسورهای با پیستونهای رفت و برگشتی (Compressors with Reciprocating Pistons)

این نوع از کمپرسورها شکل (۱-۳) با مدل‌ها و اندازه‌های متنوع بصورت خیلی رایج در صنعت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. توان مورد نیاز برای این کمپرسورها می‌تواند از ۱ KW تا بیش از ۹۰۰۰ KW باشد. سطح فشار می‌تواند تا ۳۹۰ بار یا بیشتر نیز افزایش یابد. این نوع کمپرسورها در مقایسه با سایر انواع کمپرسورها، کاراترین نوع هستند.

کمپرسورهای چرخان (Rotary Compressors)

این نوع کمپرسورها شکل (۲-۳) حرکات ارتعاشی بسیار کم دارند. در نتیجه در سکوت کامل کار می‌کنند. از نظر کمی سر و صدا این کمپرسورها قابل رقابت با کمپرسورهای نوع پیستونی هستند. از طرف دیگر، کمپرسورهای روتاری که ظرفیت توان ۹۳KW یا بیشتر را دارند توان بالاتری را مصرف می‌کنند که در گستره ۶٪ تا ۲۰٪ این توان مصرفی به ازای هر m^3/min تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر مصرف توان ویژه (Specific Power Consumption) کمپرسورهای روتاری حدود ۶٪ تا ۲۰٪ بیش از مصرف توان ویژه کمپرسورهای پیستونی است.

کمپرسورهای اسکرو (Screw Compressors)

هنگامی که این نوع از کمپرسورها، شکل (۳-۳) با سیستم‌های کنترل و هشدار دهنده پیچیده با هم کار کنند، می‌توانند به مدت طولانی بدون نیاز به تعمیرات اضافی کار کنند. کمپرسورهای اسکرو مزایایی مانند هزینه سرمایه‌گذاری پائین‌تر، توزیع یکنواخت‌تر هوا، و نیاز به فضای کمتری را دارا هستند.

کمپرسورهای دیافراگمی (Compressors with Diaphragm)

این نوع از کمپرسورها، شکل (۴-۳) کمپرسورهای کوچکی بوده و تک مرحله‌ای هستند. آنها قادرند که فشار هوا را توسط دیافراگم منعطفی که دارند تا ۷ بار افزایش دهند.

ب – کمپرسورهای دینامیکی – (Dynamic Compressors)

کمپرسورهای دینامیکی بطور پیوسته هوا را مکش کرده و سپس سرعت جریان هوا را افزایش می‌دهد. این افزایش سرعت به منزله افزایش انرژی جنبشی هواست. هنگامی که سرعت جریان هوا در سیستم توزیع شروع به کاهش می‌نماید، انرژی جنبشی شروع به تبدیل شدن به انرژی فشاری می‌کند. بقیه انرژی جنبشی که تبدیل به انرژی فشار نشده است تبدیل به انرژی حرارتی می‌شود. خنک‌سازی از ضروریات این نوع از کمپرسورهاست.

توربو کمپرسورها (Centrifugal Compressors or Axial Compressors)

این نوع از کمپرسورها شکل (۵-۳) تا ظرفیت $40 \text{ m}^3/\text{min}$ نمی‌توانند بطور

کار آ

(با کارایی بالاتر) کار کنند. به این دلیل این نوع از کمپرسورها در سیستم هوای فشرده

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

کارخانجات کوچک بکار گرفته نمی‌شوند. استفاده از این کمپرسورها عموماً در صنایع و فرآیندهای شیمیایی، کارخانجات فولاد، پالایشگاهها و پتروشیمی‌ها و سیستمهای انتقال سیال که به جریان بسیار بالای هوا نیاز دارند می‌باشد.

۴- تولید هوای فشرده

تولید هوای فشرده مفهوم نسبتاً ساده‌تری را دارد و عموماً، توان مکانیکی اعمال شده به کمپرسور سبب افزایش فشار هوای ورودی می‌گردد. این هوای ورودی به کمپرسور شرایط اتمسفریک (فشار ۱۰۰ Kpa یا ۱ bar) را داراست. کمپرسورها می‌توانند با انواع مختلف، مانند کمپرسورهای سانتریفوژ^۱، کمپرسورهای جابجایی^۲ یا کمپرسورهای پیچشی گردان^۳ با یک یا دو مرحله انتخاب شوند.

برای واحدهای کوچک یا متوسط، کمپرسورهای اسکرو بطور رایج در کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند جدول (۱) نمونه فشار، نرخ هوادهی و توان مکانیکی مورد نیاز بصورت گسترده‌هایی برای انواع مختلف کمپرسورها را نشان می‌دهد.

جدول (۱) - گسترده‌های کاربرد برای انواع مختلف کمپرسورها

توان مکانیکی مورد نیاز (KW/L/sec)	فشار مطلق (Mpa)	نرخ هوادهی (m ³ /sec)	نوع کمپرسور
۰/۳۵-۰/۳۹	۰/۳۴-۲۷۵/۹	۰-۵	جابجایی
۰/۴۶	۳/۵-۱۰۳۴/۳	۰/۵-۷۰/۵	سانتریفوژ
۰/۳۳-۰/۴۱	۰/۱-۱/۸	۰/۵-۱۶/۵	پیچشی گردان

^۱ - Centrifugal

^۲ - Reciprocating

^۳ - Rotary Screw

با اعمال قانون اول ترمودینامیک روی گازهای ایده‌آل می‌توان یک تحلیل ساده‌ای از انرژی را در کمپرسورها انجام داد. با یک مرور ابتدایی روی تحلیل انرژی اعمال شده برای تراکم گاز ایده‌آل می‌توان پارامترهای مؤثر در کاهش انرژی تولید هوای فشرده را شناسایی نمود.

شکل (۴) نمایانگر یک پیستون - سیلندر در خلال تراکم یک گاز ایده‌آل است. شکل (۴) تغییرات فشار را بصورت تابعی از حجم اشغال شده توسط گاز در یک دیاگرام P-V، برای تراکم‌های همدم (Isothermal)، بی‌دررو (Adiabatic)، و پلی‌تروپیک (Polytropic) نشان می‌دهد. رابطه بین دماها و فشارها در ورودی (یا مکش) و خروجی یا (تخلیه) یک کمپرسور در فرآیندهای تراکم پلی‌تروپیک، آدیاباتیک و ایزوترمال می‌تواند بصورت رابطه زیر خلاصه شود:

$$\frac{T_o}{T_i} = \left[\frac{P_o}{P_i} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (1)$$

که:

$\gamma = 1$ ، هنگامی که تراکم همدم یا ایزوترمال باشد.

$\gamma = K$ ، هنگامی که تراکم آدیاباتیک یا بی‌دررو باشد ($k = 1/4$ برای هوای خشک)

$\gamma < K$ ، هنگامی که تراکم پلی‌تروپیک باشد (بطور نمونه $k = 1/3$ برای هوای خشک) بایستی یادآور شویم که برای هوای خشک، یک رابطه ساده بین فشار، دما و چگالی موجود است. این رابطه همان رابطه حالت است که توسط معادله (۲) برای هوای ورودی کمپرسور ارائه می‌شود.

$$P_i = \rho_i \cdot Z_{a,i} \cdot R_a \cdot T_i \quad (2)$$

برای هوای خشک، ثابت R_a از طریق تقسیم ثابت گاز ایده‌آل R ($J/Kg.mol.^{\circ}K$) به جرم مولی هوا M_a ($M_a = 28/9$) محاسبه می‌شود. بنابراین مقدار ثابت R_a معادل $287 J/(Kg.^{\circ}K)$ است. مضافاً اینکه، فاکتور تراکم‌پذیری $Z_{a,i}$ دلالت بر رفتار متفاوت هوا با گاز ایده‌آل در مسئله تراکم‌پذیری دارد. مقدار $Z_{a,i}$ گستره‌ای بین $20000 Kpa$ و $200 Atm$ ، فرض می‌شود که هوای خشک مانند یک گاز ایده‌آل رفتار می‌کند بطوریکه $Z_{a,i} = 1$.

شایان ذکر است که یک عبارت شبیه به رابطه (۲) می‌تواند برای هوای خروجی کمپرسور نیز وجود داشته باشد. کار مورد نیاز برای تراکم یک نرخ جریان جرمی \dot{m}_a از هوای خشک می‌تواند از روی اعمال قانون اول ترمودینامیک روی یک فرآیند تراکم گاز ایده‌آل تخمین زده شود.

بویژه، توان مکانیکی مورد نیاز برای یک تراکم ایزوترمال می‌تواند از روی معادله (۳) محاسبه شود.

$$\dot{W}_m = \dot{m}_a \cdot R_a \cdot T_i \cdot \ln \left(\frac{P_o}{P_i} \right) \quad (3)$$

توان مکانیکی مورد نیاز برای تراکم آدیاباتیک و یا پلی‌تروپیک می‌تواند از روی معادله (۴) تخمین زده شود.

$$\dot{W}_m = \frac{\dot{m}_a \cdot R_a \cdot T_i \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (4)$$

دو مشاهده مهم از روابط (۳) و (۴) در ارتباط با کارایی انرژی کمپرسورها خواهیم داشت:

الف) توان مکانیکی یک کمپرسور بطور خطی با دمای هوای ورودی افزایش می‌یابد. جهت ارتقاء کارایی انرژی یک سیستم کمپرسور، دمای هوای ورودی به کمپرسور تا حد ممکن باید خنک شود.

ب) توان مکانیکی یک کمپرسور با نسبت فشار افزایش می‌یابد. بنابراین، تولید هوای فشرده با فشار تخلیه محدود به ماکزیمم فشار لازم برای تأسیسات حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، از فشرده‌سازی بیش از حد هوا تا حد ممکن بایستی اجتناب شود. مضافاً، تغییر فشار هوای ورودی می‌تواند اثر بسزایی روی توان مکانیکی مورد نیاز برای یک کمپرسور بگذارد. بویژه، اثر ارتفاع روی فشار محیط باید مد نظر قرار گیرد.

مثال (۱) یک تحلیل مقایسه‌ای برای توان مکانیکی مورد نیاز جهت سه نوع تراکم (ایزوترمال، آدیاباتیک و پلی‌تروپیک) را ارائه می‌دهد. از نتایج مثال (۱) روشن می‌شود که تراکم آدیاباتیک نسبت به دو نوع تراکم دیگر انرژی ورودی بیشتری را می‌طلبد. حالت تراکم ایزوترمال شرایط کارکرد بهینه برای یک کمپرسور است. خصوصاً، دمای هوا در مدت زمان تراکم بایستی ثابت نگه داشته شود. بنابراین برای کاهش توان مکانیکی مورد نیاز کمپرسور، خنک‌سازی هوا در مدت فرایند تراکم بایستی انجام شود. متأسفانه در کمپرسورهای واقعی، شرایط ایده‌آل دمای ثابت برای هوا قابل تحقق نیست. اما با این وجود، چنانچه خنک‌سازی مناسب هوای ورودی تأمین گردد یک تراکم پلی‌تروپیک می‌تواند مبین یک تراکم واقعی باشد.

چنانچه بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت، خنک‌کن‌های داخلی (Inter

Coolers) جهت پراکندن حرارت در مدت زمان تراکم بکار می‌روند.

مثال ۱- توان مکانیکی لازم را جهت متراکم سازی ۱ Kg/sec از هوای خشک، از ۱۰۰ Kpa و ۲۰ °C (شرایط محیطی) تا ۸۰۰ Kpa (فشار مطلق) تحت تراکم‌های ایزوترمال، آدیاباتیک، یا پلی‌تروپیک ($\gamma = 1/3$) بیابید.

حل -

از رابطه (۳) استفاده می‌کنیم که $P_i = 100 \text{ Kpa}$ و $P_o = 800 \text{ Kpa}$ و $293 \text{ }^\circ\text{K}$ و $T_i = 287 \text{ J/(Kg.}^\circ\text{K)}$ توان مکانیکی لازم برای تراکم ایزوترمال ۱ Kg/sec هوای خشک بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = (1 \text{ Kg/sec}) \cdot (287 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}) \cdot (293 \text{ }^\circ\text{K}) \cdot \ln \left(\frac{800 \text{ Kpa}}{100 \text{ Kpa}} \right) = 174/86 \text{ KW}$$

با استفاده از رابطه (۴) و فرض $\gamma = K = 1/4$ ، توان مکانیکی لازم برای تراکم آدیاباتیک بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(1 \text{ Kg / sec}) \times (287 \text{ J / Kg.}^\circ\text{K}) \times (293 \text{ }^\circ\text{K}) \times 1/4}{1/4 - 1}$$

$$\left[\left(\frac{800}{100} \right)^{\frac{1/4-1}{1/4}} - 1 \right] = 238/82 \text{ KW}$$

برای تراکم پلی‌تروپیک، توان مکانیکی لازم از روی رابطه (۴) و با فرض $1/3 = \gamma$

$\gamma = K$ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(1 \text{ Kg / sec}) \times (287 \text{ J / Kg.}^\circ\text{K}) \times (293 \text{ }^\circ\text{K}) \times 1/3}{1/3 - 1}$$

$$\left[\left(\frac{800}{100} \right)^{\frac{1/3-1}{1/3}} - 1 \right] = 224/42 \text{ KW}$$

همانطور که انتظار می‌رفت تراکم ایزوترمال کمترین توان مکانیکی را نیاز دارد و این در حالی است که تراکم آدیاباتیک بیشترین توان مکانیکی را به نسبت دو نوع تراکم دیگر مصرف می‌کند. توجه داشته باشید که تراکم پلی‌تروپیک که مبین یک فرآیند تراکم واقعی است توان مکانیکی مورد نیازش بین توان مکانیکی ایزوترمال و آدیاباتیک است. جالب توجه است که می‌توان توان مکانیکی مورد نیاز بر حسب نرخ جریان هوا یا به ازای واحد جریان هوا (KW/L/sec) برای سه نوع تراکم ذکر شده از طریق چگالی هوای ورودی و تعیین آن در ورودی کمپرسور محاسبه نمود. معادله گاز ایده‌آل (۲) می‌تواند برای تعیین چگالی هوا ($Z_{a,1} = 1$) بکار رود. برای $T_i = 293 \text{ }^\circ\text{K}$ و $P_i = 100 \text{ Kpa}$ ، چگالی هوا $1/189 \text{ Kg/m}^3$ می‌باشد. پس توان مکانیکی ورودی برای سه نوع تراکم به ترتیب زیر می‌باشد:

$0/21 \text{ KW/L/sec}$ برای تراکم ایزوترمال، $0/27 \text{ KW/L/sec}$ برای تراکم پلی‌تروپیک و $0/29 \text{ KW/L/sec}$ برای تراکم آدیاباتیک.

به چند دلیل توصیه می‌شود که تراکم از نوع آدیاباتیک برای تخمین میزان توان و انرژی الکتریکی مورد نیاز یک کمپرسور هوای واقعی فرض شود. دلایل این امر عبارتند از:

الف) گرچه تراکم پلی‌تروپیک بیان بهتری برای فرآیندهای تراکم واقعی است، ولی بدست آوردن مقدار نمای γ بدون انجام اندازه‌گیریهای گران و پرهزینه مشکل است. در برخی کاربردها مانند توربو کمپرسورها (که فشار هوا از طریق افزایش سرعت آن زیاد می‌شود)، نمای γ در حقیقت می‌تواند بزرگتر از $K = 1/4$ بشود.

ب) توان مورد نیاز برای تراکم پلی‌تروپیک نزدیک به توان مورد نیاز برای تراکم آدیاباتیک است (نتایج مثال (۱) را می‌توانید مقایسه کنید)

ج) توان مورد نیاز برای تراکم آدیاباتیک، یک حد بالا برای توان ورودی واقعی است و بنابراین مبین بدترین شرایط یا بدترین سناریو برای مصرف توان کمپرسور است.

هنگامی که کمپرسورها بوسیله موتورهای الکتریکی گردانده می‌شوند، انرژی الکتریکی KWh_{Comp} که توسط سیستم هوای فشرده مصرف می‌شود از روی رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$KWh_{Comp} = \frac{\dot{W}_m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M} \quad (5)$$

\dot{W}_m = توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور که مطابق رابطه (۳) و (۴) تخمین زده می‌شود.

$N_{h,Comp}$ = تعداد ساعات کارکرد در سال

LF_{Comp} = ضریب بار میانگین برای کارکرد کمپرسور

η_M = راندمان الکتروموتوری که کمپرسور را می‌چرخاند.

علاوه بر کمپرسور، واحدها و بخش‌های ضروری دیگری نیز برای تولید هوای فشرده لازم است. این واحدها توان مکانیکی و توان الکتریکی مورد نیاز جهت کارکرد سیستم‌های هوای فشرده را افزایش می‌دهند. برخی از تجهیزات جانبی و نقش آنها بطور خلاصه در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۱-۶-۵- اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده

۱-۷-۱-۵- فیلترها

هوای ورودی به کمپرسور، بخاطر حفاظت کمپرسور و تجهیزات آن از هرگونه آسیب‌های ناشی از ذرات معلق موجود در هوای فیلتر نشده، بایستی تا حد ممکن تمیز باشد. در حقیقت، ذرات معلق می‌توانند به بخش‌های مختلف کمپرسور رخنه کنند. این رخنه یا نفوذ دو اثر را خواهد داشت:

۱- مسدود ساختن سوراخ‌های کوچک (داخل کمپرسور، خطوط توزیع، یا ماشین‌های

مصرف کننده هوای فشرده)

۲- ایجاد اصطکاک در سطوح داخلی کمپرسور (شامل سلیندرها، پیستون‌ها یا روتورها)

که ذرات معلق روی این سطوح را پوشش می‌دهند. اثر تخریبی این پوشش هنگامی که

ذرات معلق با روغن آمیخته شوند بیشتر خواهد شد. بسته به اندازه ذراتی که همراه هوا

وارد کمپرسور می‌شوند فیلترهای هوای مختلف و روش‌های تمیزسازی هوا بصورت‌های

مختلف می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب یک فیلتر هوا برای یک کمپرسور

بطور مشخص وابسته به دو عامل است: کارایی فیلتر و افت فشار حاصل از فیلتر.

کارایی فیلتر هوا مشخصاً بصورت درصد ذرات نگه داشته شده تعریف می‌شود.

افت فشار روی فیلتر هوا یا در اثر صفحه متخلخل فیلتر و یا بدلیل کثیفی و گرد و غبار

روی فیلتر رخ می‌دهد. این افت فشار ظرفیت کمپرسور را کاهش می‌دهد.

بطور سرانگشتی، به ازای هر 100 Kpa افت فشار، نرخ جریان جرمی هوای

کمپرسور تقریباً ۱٪ کاهش می‌یابد (با فرض اینکه کمپرسور توان یکسان را مصرف

می‌کند). بنابراین انتخاب فیلترهای هوای مناسب و تمیز کردن پررودیک آنها به منظور

کاهش مصرف انرژی سیستم تولید هوای فشرده بسیار مهم است. مثال (۲) - افزایش

هزینه انرژی برای کارکرد یک سیستم هوای فشرده را بدلیل کثیفی فیلتر هوا نشان می‌دهد .

مثال (۲) – افزایش میزان هزینه انرژی را در یک کمپرسور ۱۰۰KW که ۸۰۰۰ ساعت در سال کار می‌کند را به خاطر کثیفی فیلتر هوا بیابید با فرض اینکه:

الف (راندمان موتور الکتریکی ۹۰٪ باشد.

ب (افت فشار برای یک فیلتر هوای تمیز ۱Kpa و برای یک فیلتر هوای کثیف ۲ Kpa باشد.

ج (هزینه الکتریسیته \$/KWh ۰/۰۵ است .

حل – از قانون سر انگشتی استفاده می‌کنیم. همانطور که ذکر گردید به ازای هر Kpa ۱۰۰ افزایش در افت فشار روی فیلتر هوا، توان مکانیکی ۱٪ افزایش می‌یابد (چون توان مکانیکی متناسب با نرخ جریان جرمی است). بنابراین، جریمه هزینه انرژی EC_{Filter} ، بخاطر استفاده از فیلتر هوای کثیف می‌تواند بصورت زیر محاسبه شود:

$$EC_{Filter} = \frac{100 \times 8000 \times 0.05}{0.9} \times \left(\frac{2}{1}\right) \times 0.01 = 1330 \text{ \$/year}$$

۵-۲ – تانک‌های هوای فشرده (Receiving Tanks)

در بعضی تأسیسات هوای فشرده، تانک‌های هوای فشرده، مورد استفاده قرار می‌گیرند و محل نصب آنها یا نزدیک به کمپرسورها و یا نزدیک به ماشین‌های انتهایی است که مصارف هوای فشرده بالا و متغیر دارند.

با سه دلیل می‌توان کاربرد تانک‌های هوای فشرده مرکزی یا محلی را توجیه نمود:

ذخیره سازی انرژی به شکل هوای فشرده برای کاهش سیکلینگ (Cycling)

ناخواسته کمپرسورها

تنظیم جریان هوای فشرده بر مبنای نیاز بارهای انتهایی

کنترل فشار تخلیه هوای فشرده خصوصاً هنگامی که از کمپرسورهای نوع پیستونی

استفاده می‌شود.

تعیین اندازه تانک :

الف - اندازه ظرفیت تانک در صورت نیاز بار ثابت

$$V_r = \frac{C \times B}{P}$$

ب - اندازه ظرفیت تانک در صورت نیاز بار متغیر

$$V_r = \frac{3 \times C \times B}{P}$$

V_r = ظرفیت تانک بر حسب (m^3)

C = خروجی کمپرسور بر حسب (m^3/min)

B = فشار اتمسفر بر حسب بار

P = فشار کار بر حسب بار

۵-۳- خشک کن‌ها (Dryers)

هوای محیط دارای محتوی بخار آب بوده و در واقع بصورت یک هوای مرطوب

می‌باشد. این بخار آب می‌تواند یا در داخل کمپرسور و خطوط توزیع و یا در داخل

تجهیزات مصرف کننده هوای فشرده کندانس شود. جهت کاهش یا حذف این کندانس

آب، هوای فشرده باید از طریق استفاده از خشک‌کن‌ها خشک شود. انتخاب نوع خشک‌کن تابعی از دو فاکتور مهم است:

کیفیت هوای خشک مورد نیاز که بر حسب فشار نقطه شبنم (Dew Point Pressure) بیان می‌گردد.

هزینه کل خشک‌کن که شامل هزینه‌های اولیه، عملیاتی و تعمیر نگهداری است. روشهای متعددی برای خشک کردن هوای فشرده در سیستم‌های هوای فشرده وجود دارد. در بیشتر حالات خشک‌کن‌های تبریدی (Refrigerated Dryers) برای رساندن فشار نقطه شبنم‌ها به حدود زیر 5°C استفاده می‌شوند. در سایر موارد مانند فرآیندهای غذایی، خشک‌کن‌ها بایستی هوای خیلی خشکی را با فشار نقطه شبنم زیر 0°C تولید نمایند.

عموماً، مبدلهای حرارتی که تحت عنوان (After-Cooler)ها شناخته می‌شوند وظیفه کاهش محتوی بخار آب یا گاهاً بخار روغن در هوای فشرده قبل از تحویل آن به خطوط توزیع یا تانک‌های هوای فشرده دارند. بویژه، با استفاده از هوای محیط یا آب، خنک‌سازی هوای فشرده انجام شده و بنابراین کندانس شدن محتوی بخار آب هوای فشرده رخ می‌دهد که این کندانس، در سپراتور کار گذاشته شده، در بعد از کمپرسور جدا می‌شود. بصورت سر انگشتی، دمای تخلیه هوای فشرده در (After-Cooler)هایی که از آب استفاده می‌کنند 10°C بالاتر از دمای آب بوده و در (After-Cooler)هایی که از هوا استفاده می‌کنند 15°C بالاتر از دمای هواست.

۵-۳-۱- خشک‌کن تبریدی (Refrigeration)

این نوع خشک‌کن‌ها شکل (۵) فرآیند خشک کردن را بر مبنای اصول خنک‌سازی با پدیده انتقال حرارت انجام می‌دهند. فرئون مایع جهت خنک‌سازی هوای فشرده خروجی از تانک تغذیه استفاده می‌شود.

خشک‌کن جذبی (Adsorption Dryer)

ساختار این خشک‌کن از دو برج تشکیل شده که از موادی بنام (Active Alimuna) پر شده‌اند. این مواد خاصیت جذب رطوبت را دارند و بنابراین با جذب رطوبت هوا آن را خشک می‌نمایند.

۵-۴- Inter-Cooler

برای پراکندن و برطرف نمودن گرمای متراکم‌سازی، خنک‌سازی سیلندرها و پوشش‌های سیلندر، با استفاده از مبدل‌های حرارتی که به اینتر کولرها معروف هستند، صورت می‌پذیرد. این اینتر کولرها می‌توانند از هوا یا آب استفاده کرده بطوریکه دمای کمپرسور را کنترل نماید. مشخصاً، خنک‌سازی هوای فشرده ارجح است بدلیل راحتی کار.

چون این امر نیاز به سیستم تغذیه آب را بر طرف می‌کند، بنابراین از مشکلاتی که می‌تواند در سیستم توزیع آب رخ دهد (مانند خطر یخ بستن) اجتناب می‌گردد. ولی کاهش کافی و مناسب دمای کمپرسوردر برخی کاربردها از طریق خنک‌سازی با هوا می‌تواند کمی مشکل باشد.

۶- توزیع هوای فشرده

توزیع هوای فشرده تولید شده به مصرف‌کننده‌های نهایی از طریق یک شبکه لوله با سایزهای متفاوت صورت می‌گیرد. انتخاب لوله بر مبنای مشخصاتی مانند قطر و فشار لازم برای سیستم توزیع صورت می‌پذیرد. از طریق شبکه لوله‌کشی، فلوی هوای فشرده توسط تعدادی شیر و تنظیم‌کننده‌های فشار تنظیم می‌شود. تله‌های رطوبت **Moisture Traps** در طول خطوط توزیع، به منظور جداسازی هرگونه کندانس از هوای فشرده، نصب می‌گردند.

فشار هوای فشرده در تجهیزات مصرف‌کننده هوای فشرده که در انتهای خط توزیع نصب شده‌اند همیشه از فشار تخلیه هوای فشرده از کمپرسور یا از تانک‌های هوای فشرده کمتر است. این مسئله بدو دلیل اتفاق می‌افتد:

- افت فشار جریان **Flow Pressure Drop**

نشستی‌ها

یک توضیح خلاصه‌وار برای هر کدام از دلایل افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده در پائین ارائه گردیده است.

افت فشار جریان **Flow Pressure Drop**

بدلیل مقاومت لوله‌های توزیع هوای فشرده، شیرها و اتصالات یک افت فشار روی جریان هوای فشرده اتفاق می‌افتد که میزان این افت فشار از روی معادله **Darcy-Weisbach** بصورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\Delta P = \rho \left(f \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right) \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

ΔP = کل افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع (Pa)

ρ = میانگین دانسیته هوای فشرده در سیستم توزیع (Kg/m^3)

F = ضریب اصطکاک Friction Factor

$\sum K$ = ضریب تلفات ناشی از شیرها و اتصالات در سیستم توزیع

L = طول کل لوله در سیستم توزیع (m)

D = قطر داخلی لوله (m)

V = میانگین سرعت جریان هوای فشرده (m/s)

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد روند محاسبات از روی معادله (6) به کتاب ASHRAE مراجعه نمایید. بدلیل پیچیدگی و عدم دقت در محاسبه افت فشار از روی معادله فوق، عموماً تعیین افت فشار از روی این معادله توصیه نمی‌شود. ضمن اینکه در این روش ناگزیر از در نظر گرفتن فرضیات بیشمار هستیم. به عنوان مثال، برخی از این فرضیات عبارتند از تعیین ضریب اصطکاک و ضرایب تلفات برای شیرها و اتصالات، ولیکن معادله (6) نشاندهنده پارامترهایی است که روی افت فشار هوای فشرده در سیستم توزیع مؤثرند.

افت فشار با طول سیستم توزیع افزایش می‌یابد. بنابراین، یک ساختار (Layout)

بهینه برای لوله‌کشی می‌تواند سبب کاهش افت فشار و بنابراین مصرف انرژی

سیستم توزیع هوای فشرده گردد. بویژه، کاهش تعداد شیرها، زانویی‌ها و تغییر

مسیرها در شبکه توزیع هوای فشرده بسیار مهم است.

سرعت هوای فشرده بایستی تا حد امکان کم باشد تا اینکه افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده کاهش یابد این کاهش سرعت خصوصاً برای تأسیساتی توصیه می‌شود که لوله‌کشی سیستم توزیع در آن طولانی است. از طریق کاهش یا کم کردن نرخ جریان جرمی (دبی جرمی) مورد نیاز (دربار مصرف نهایی)، پائین آوردن دمای هوای فشرده، یا افزایش قطر لوله‌کشی می‌توان سرعت جریان هوای فشرده را کاهش داد.

شکل (۶) نمودار تعیین اندازه سائز لوله‌ها را در سیستم‌های هوای فشرده نشان می‌دهد.

ذکر این نکته لازم است که افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده به منزله تلف شدن انرژی است. در واقع فشار تخلیه باید افزایش یابد تا افت فشار جریان جبران شود. معادلات (۳) و (۴) دلالت بر این دارند که افزایش نسبت تراکم (P_0/P_i) سبب افزایش توان مکانیکی تأمین شونده از یک محرک (مانند الکتروموتور) برای کمپرسور می‌گردد. بعنوان مثال، یک افت فشار 50 Kpa در یک کمپرسور طراحی شده برای افزایش فشار از 100 Kpa (1 atm) تا 700 Kpa (7 atm) متناظر با ۳٪ تلف در توان مکانیکی یا الکتریکی است که سیستم هوای فشرده را تغذیه می‌کند. مسائل افت فشار در سیستم توزیع که از مقاومت جریان ناشی می‌شوند، عموماً مسائل ذاتی بوده و طبیعتاً وابسته به طراحی و ساختار (Layout) لوله‌کشی هستند و بنابراین هنگام ممیزی انرژی سیستم هوای فشرده نباید مورد توجه قرار گیرند. مگر اینکه تعویض شود. بجای آن شخصی که ممیزی انرژی را انجام می‌دهد بایستی روی شناسایی پتانسیل و عوامل کاهش دهنده اتلاف انرژی در سیستم توزیع موجود کار کند یا تمرکز کند.

۷ - نشتی‌های هوا Air Leaks

در تأسیسات هوای فشرده صنعتی، تلفات انرژی ناشی از نشتی‌ها غالباً مقدار بزرگی دارند. تخمین زده می‌شود که نشتی هوای فشرده می‌تواند تا ۲۵ درصد هوای فشرده تولیدی در تأسیسات هوای فشرده صنعتی باشد. عموماً نشتی‌ها بدلیل خرابی شیرها، اتصالات ضعیف و سوراخهای کوچک در سیستم لوله‌کشی خصوصاً لوله‌های لاستیکی هوای فشرده می‌باشد. تجهیزات مصرف کننده هوای فشرده در صورتیکه تولیدی نداشته باشند ولی شیر هوای فشرده در آنها باز باشد می‌تواند یکی از اساسی‌ترین منابع نشت هوای فشرده باشند. برای شناسایی نشت هوای فشرده چندین روش در چهارچوب ممیزی گذری (Walk-Through-Audit) می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این روش‌ها در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف - روشهای ساده

دو روش ارزان برای شناسایی محل نشت هوای فشرده وجود دارد.

I (روش شنیدن - از طریق شنود در امتداد سیستم توزیع، نشتی‌های هوا از طریق تغییر در صدای سیستم قابل شناسایی هستند البته این روش زمانی سودمند است که صدای زمینه بسیار ضعیف باشد.

II (روش حباب صابون - روش ساده و ارزان قیمت دیگر برای شناسایی محل‌های نشت هوای فشرده استفاده از آب و صابون در محل‌های انتخاب شده سیستم توزیع

هوای فشرده، خصوصاً در محل زانویی‌ها و اتصالات و شیرها می‌باشد که تشکیل حبابهای صابون در یک محل خاص مبین نشت در آن محل است.

ب- روشهای اندازه‌گیری

شناسایی نشت هوای فشرده با استفاده از تجهیزات آشکار ساز اولتراسونیک نیز میسر می‌گردد. با استفاده از این آشکارسازهای اولتراسونیک می‌توان محل نشتی‌های موجود در سیستم توزیع هوای فشرده را تعیین نمود.

افرادی که مسئول تعمیر و نگهداری در یک تأسیسات صنعتی هستند می‌توانند کاربرد سیستم‌های آشکارساز را آموزش دیده و نشتی‌ها را در سیستم توزیع هوای فشرده بویژه در ایامی که فعالیت تولیدی محدود بوده یا تعطیل است (آخر هفته‌ها و پرونده‌های خاص برنامه‌ریزی شده)، آشکار نمایند. با کمی سرمایه‌گذاری در یک برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای آشکارسازی نشتی‌ها، دیده شده که صرفه‌جویی‌های اقتصادی قابل توجهی در هزینه عملیاتی سیستم‌های تولید هوای فشرده حاصل گردیده است.

در صورتیکه نشتی‌ها شناسایی شوند، با محاسبات ساده می‌توان میزان اتلاف

هوای فشرده را تخمین زد. در واقع، میزان تلفات دبی هوای فشرده \dot{m}_a (دبی جرمی) از میان یک حفره از روی معادله زیر قابل تخمین است:

$$\dot{m}_a = \sqrt{\frac{2}{R_a}} \cdot C_L \cdot A_L \cdot P_o \cdot T_o^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

\dot{m}_a : میزان دبی جرمی هوای فشرده اتلافی از طریق نشتی (Kg/s)

P_0 : فشار هوای فشرده‌ای که از محل نشتی بیرون می‌آید (P_a)

T_0 : دمای هوای فشرده‌ای که از محل نشتی بیرون می‌آید ($^{\circ}K$)

C_L : ضریب جریان سوراخ، این ضریب وابسته به شکل و اندازه سوراخ است. برای

سوراخهای گرد، C_L حدود ۰/۶۵ است.

A_L : مساحت سوراخ (m^2)

۸- بهره‌برداری از هوای فشرده

هوای فشرده چندین کاربرد دارد. عموماً، تجهیزات انتهایی مصرف‌کننده هوای فشرده به گروه‌هایی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

I (مصرف‌کننده‌های نهایی ایستا - شامل تجهیزات کنترل پنوماتیک مانند

تحریک‌ها (Actuators) یا تنظیم‌کننده‌های فشار (Pressure Regulators) .

عملکرد این مصرف‌کننده‌ها فقط وابسته به وجود یا عدم وجود هوای فشرده است. این مصرف‌کننده‌ها را می‌توان هم در تأسیسات تجاری و هم در تأسیسات صنعتی یافت.

II (مصرف‌کننده‌های نهایی پویا یا دینامیک - شامل ابزار مونتاز (مانند پیچ

گوشتی‌ها و آچارها)، موتورهای هوا (مانند ابزارهایی برای سوراخ‌کاری و خردایش).

عملکرد این مصرف‌کننده‌ها وابسته به جریان و فشار هوای فشرده است.

عمده مصرف‌کننده‌های فشرده در صنعت در همین مصرف‌کننده‌های دینامیک

است.

برای کاهش تلف انرژی، فشار تخلیه در سیستم هوای فشرده بایستی متناظر با بالاترین

فشار مورد نیاز توسط مصرف‌کننده‌های انتهایی باشد (برای اطمینان و در نظر گرفتن

فاکتور ایمنی در قبال افت فشار جریان که قبلاً بحث شد). اگر فشار موجود بزرگتر از

فشار مصرفی توسط تجهیزات مصرف‌کننده انتهایی باشد، انرژی بدلیل افزایش توان

مکانیکی مورد نیاز کمپرسور در اثر فشار اضافی و مازاد غیر لازم تلف خواهد شد (به

معادلات (۳) و (۴) مراجعه نمایید).

عموماً، از استفاده از هوای فشرده برای کاربردهایی که در آنها می‌توان از منابع

دیگر استفاده نمود بپرهیزید. به عنوان مثال، ابزارهایی که با برق کار می‌کنند بهتر است

جایگزین ابزارهایی شوند که با هوای فشرده کار می‌کنند. همچنین در مواردی که

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

نیازهایی مانند خشک‌کردن، تبخیر کردن از یک سطح، و تمیز کردن وجود دارد و بهتر است از دمنده‌ها بجای هوای فشرده استفاده شود. تخمین زده می‌شود که اگر فشار مورد نیاز کمتر از 2 atm (200 Kpa) باشد، استفاده از یک دمنده، صرفه‌جویی معادل ۵۰ درصد یا بیشتر را برای انرژی مصرفی بدنبال خواهد داشت (دمنده بجای هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرد).

۱۰-۱ - ۹ - پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جویی انرژی سیستم‌های

تولید هوای فشرده

یکی از وظایف متمایز انرژی جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط به طراحی، بهره‌برداری و تعمیرات سیستم‌های گوناگون است. در مورد سیستم‌های هوای فشرده، برخی از اطلاعات می‌تواند از طریق مصاحبه با اپراتورها، مهندسين فرآیند، یا پرسنل تعمیر و نگهداری بدست آید. بویژه اطلاعات و داده‌های ریز می‌توانند از طریق مصاحبه با پرسنل بهره‌برداری جمع‌آوری شوند.

الف) کنترل‌های جاری و موجود روی سیستم هوای فشرده تأسیسات، که با این کنترل‌ها سیستم هوای فشرده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

ب) مشکلات موجود درباره کیفیت، کمیت و فشار هوای فشرده.

ج) اطلاعات طراحی و نقشه‌ها و هرگونه یادداشت در مورد تعمیرات شامل اطلاعات بهره‌برداری کمپرسور و برنامه تعمیر نشستی‌ها.

کلیه تجهیزات موجود در سیستم هوای فشرده (Name Plate data) د) اطلاعات روی پلاک

ه) طرح‌های آتی برای ارتقاء سیستم هوای فشرده شامل جایگزینی کمپرسور، تغییرات در مصرف هوای فشرده، و نصب سیستم‌های ابزار دقیق.

جمع‌آوری داده‌ها بر حسب پیچیدگی تأسیسات و سیستم هوای فشرده می‌تواند زمان بر هم باشد. ولی برای یک ممیز انرژی حصول اطلاعات کافی جهت فهم جزئیات طراحی موجود، روش‌های بهره‌برداری و نگهداری جاری و طرح‌های آتی بسیار مهم است تا بتواند پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی را نه تنها برای صرفه‌جویی انرژی و هزینه بلکه برای تأمین یک سیستم هوای فشرده مطمئن پیشنهاد دهد.

در ادامه این مبحث برخی از راه‌های صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های هوای فشرده که خیلی رایج هستند انتخاب شده و به همراه روش‌های محاسباتی خاص و مثال‌های تشریحی توضیح داده شده‌اند.

۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی

۱۱-۱

در بعضی از تأسیسات هوای فشرده، کمپرسور، هوای ورودی را از داخل اتاق (کمپرسورخانه) می‌کشد. این هوای ورودی به کمپرسور تحت این شرایط دارای دمای بالایی 30° خواهد بود که می‌تواند بیش از این مقدار نیز باشد. C تا حدود

این دمای داخل بسیار بالاتر از دمای بیرون است و مطابق معادله (۳) و (۴) دمای هوای ورودی بالاتر، توان مکانیکی یا الکتریکی و در نتیجه انرژی مصرفی بالاتری را در پی خواهد داشت. یک راه بسیار ساده برای کاهش دمای هوا ورودی، نصب لوله‌کشی برای اتصال کمپرسور به بیرون است که کمپرسور هوای ورودیش را از محیط بیرون از کمپرسورخانه بکشد.

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

، حاصل از کاهش دمای هوای ورودی ΔKWh_{Comp} صرفه‌جویی انرژی الکتریکی به کمپرسور از روی رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{W}_m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot (T_{i,e} - T_{i,r})}{\eta_{M-Ti,e}} \quad (8)$$

که :

$T_{i,e} = \text{°K}$ = دمای متوسط سالیانه مربوط به هوای کمپرسور قبل از بهبود

$T_{i,r} = \text{°K}$ = دمای متوسط سالیانه مربوط به هوای ورودی کمپرسور پس از بهبود و اصلاح
را می‌توان مساوی با متوسط سالیانه دمای هوای بیرون فرض نمود. مثال $T_{i,r}$ (۳) عموماً، کاربرد رابطه (۸) را در محاسبه صرفه‌جویی انرژی حاصل از کاهش دمای هوای ورودی نشان می‌دهد.

۱۰۰ دارد و KW مثال (۳) - یک سیستم تولید هوای فشرده نیاز به توان مکانیکی معادل راندمان موتور آن ۸۷٪ است. هوای ورودی کمپرسور از داخل کمپرسورخانه که کمپرسور ۳۵۰ است مکیده می‌شود. زمان بازگشت سرمایه C در آن واقع شده و دمای میانگین سالیانه آن را برای نصب یک لوله‌کشی عایق شده جهت اتصال ورودی کمپرسور به محیط بیرون با استفاده از اطلاعات زیر بیابید:

الف - کل هزینه سیستم لوله‌کشی ۸۵۰ دلار

ب ۱۲°C - دمای میانگین سالیانه محیط بیرون

ج - کمپرسور ۵۰۰۰ ساعت در سال کار می‌کند که ضریب بار میانگین آن ۸۰٪ است.

د ۰/۰۵ است \$/KWh - هزینه الکتریسیته

حل - از معادله (۸) استفاده می‌کنیم. صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در اثر کاهش دمای هوای ورودی از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\text{KWh/yr } \Delta \text{KWhComp} = \frac{100 \times 0.18 \times 5000 \times (35 - 12)}{0.187 \times (273 + 35)} = 34330$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده برای نصب سیستم لوله‌کشی جهت اتصال ورودی کمپرسور به هوای بیرون برابر است با:

$$\text{Months } \frac{850}{34330 \times 0.05} = 0.5 = 6 = \text{زمان بازگشت سرمایه ساده}$$

جدول (۲) درصد انرژی صرفه‌جویی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها را نشان می‌دهد.

۹-۲- کاهش فشار تخلیه

هنگامیکه ماکزیم فشار مورد نیاز توسط کلیه تجهیزات مصرف کننده انتهایی در یک تأسیسات بطور چشمگیر پائین تر از فشار تحویلی توسط سیستم هوای فشرده باشد، کاهش فشار تخلیه به منظور کاهش مصرف انرژی کمپرسور توصیه می‌گردد. تخمین زده شده که به ۱۵ اضافه فشار تحویلی، ۱٪ انرژی بیشتر توسط کمپرسور لازم است. Kpa ازای هر افزایش فشار تحویلی بیش از میزان مورد نیاز اثرات سوء دیگری را در سیستم هوای فشرده بجا می‌گذارد. بویژه، اضافه فشار تلف هوای فشرده را از محل‌های نشتی افزایش می‌دهد.

ناشی از کاهش فشار تخلیه ΔKWh_{Comp} میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی هوای فشرده تولیدی توسط کمپرسور از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(۹)

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\%W_m \cdot W_m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M}$$

% درصد کاهش توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور است. با استفاده از W_m که % می‌تواند تخمین زده شود. W_m معادلات (۳) و (۴)، درصد کاهش توان ورودی کمپرسور ۵۰ بوده و یک موتور با KW مثال ۴- یک سیستم هوای فشرده توان مکانیکی مورد نیازش ۸۰۰ به Kpa راندمان ۹۰% را دارد هزینه صرفه‌جویی شده را در اثر کاهش فشار تخلیه از ۷۰۰ با فرضیات زیر بیابید: Kpa

کمپرسور ۴۰۰۰ ساعت در سال با میانگین ضریب بار ۷۰% کار می‌کند.

هزینه الکتریسیته \$/KWh ۰/۰۵ می‌باشد.

(۱۰۰ است، Kpa ۱) atm – فرض کنید که فشار هوای ورودی به کمپرسور مساوی با

از ۸ به ۷ است. درصد $\frac{P_o}{P_i}$ میزان کاهش در فشار تخلیه متناظر با کاهش در نسبت فشار

% می‌تواند از روی یکی از معادلات (۳) با W_m کاهش در توان مکانیکی مورد نیاز، حساب شود:

– برای یک تراکم ایزوترمال:

$$\%W = \frac{Ln^{(\lambda)} - Ln^{(\gamma)}}{Ln^{(\lambda)}} = ۶/۴ \%$$

از معادله (۸) میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$KWh/year \Delta KWh_{Comp} = \frac{۰/۰۶۴ \times ۵۰ \times ۴۰۰۰ \times ۰/۷}{۰/۹} = ۹۹۵۰$$

\$/year بنابراین میزان صرفه‌جویی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود ۵۰۰ خواهد بود.

– برای یک تراکم آدیاباتیک:

$$\%W_m = \frac{\frac{1/4-1}{(8)} - \frac{1/4-1}{(7)}}{\frac{1/4-1}{(8)}} = 5/7 \%$$

از معادله (۸) میزان صرفه‌جویی انرژی الکتریکی بدست می‌آید:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{0.057 \times 50 \times 4000 \times 0.7}{0.9} = 8870 \text{ KWh/year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جویی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود

\$/year ۴۵۰ خواهد بود.

۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا

۱۲-۱-

همانطور که در قبل نیز بحث شد، نشت هوای فشرده به منزله اتلاف هوای

فشرده و اتلاف در انرژی مصرفی توسط سیستم تولید هوای فشرده است. زمانیکه

محل‌های نشت و ابعاد آنها شناسایی شدند توصیه می‌گردد که نسبت به تعمیر آنها اقدام

عاجل بعمل آید. انرژی قابل صرفه‌جویی توسط تعمیر محل‌های نشت هوای فشرده با

استفاده از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

– برای تراکم ایزوترمال:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{\Delta m}_a \cdot L F_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot R_a \cdot T_i \cdot \ln\left(\frac{P_o}{P_i}\right)}{\eta_M} \quad (10)$$

برای تراکم‌های آدیاباتیک یا پلی‌تروپیک:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\dot{\Delta m}_a \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot Ra \cdot T_i \cdot \gamma}{(\gamma - 1) \cdot \eta_M} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (11)$$

که $\dot{\Delta m}_a$ ، مبین دبی جرمی هوای فشرده اتلافی از نشتی شناسایی شده در سیستم توزیع است و می‌تواند از روی معادله (۷) تخمین زده شود. مثال ۵ - نشان دهنده اهمیت اتلاف انرژی از یک نشت نمونه در سیستم توزیع هوای فشرده است همانطور که در مثال ۵ - نشان داده شده زمان بازگشت سرمایه برای تعمیر نشت بسیار کوتاه است. بایستی متذکر شد که هوای فشرده حتی در زمانهایی که مصرف کننده انتهایی در حال کار نیست نیز می‌تواند از محل نشتی‌ها تلف شود چون هوای فشرده در داخل سیستم توزیع وجود دارد. بعلاوه فشار اضافی برای هوای فشرده علاوه بر صرف توان مکانیکی یا الکتریکی بیشتر که به منزله تلف انرژی است، سبب تلف بیشتر هوای فشرده از نشتی‌ها می‌گردد.

جدول (۳) تلف توان الکتریکی با توجه به سائز نشتی‌ها را نشان می‌دهد.

مثال ۵ - یک نشتی ۵mm در سیستم توزیع هوای فشرده مشخص شده است. پرپود بازگشت سرمایه را برای تعمیر نشتی حساب کنید تراکم را بصورت ایزوترمال فرض کنید. اطلاعات زیر را استفاده کنید:

الف) کل هزینه تعمیر نشتی ۱۵۰ دلار است.

ب) میانگین دمای سالیانه هوای فشرده و فشار مطلق آن $20^{\circ}C$ و 900 Kpa می‌باشند.

ج) کمپرسور ۳۰۰۰ ساعت در سال با ضریب بار متوسط ۷۰٪ کار می‌کند.

د) میانگین دمای سالیانه و فشار مطلق هوای محیط به ترتیب $15^{\circ}C$ و 100 Kpa هستند.

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

هـ) راندمان موتور الکتریکی ۹۰٪ است.

و) قیمت الکتریسیته \$/KWh ۰/۰۵ است.

حل - از معادله (۷) استفاده می‌کنیم تا تلف هوای فشرده از طریق نشتی را محاسبه

کنیم:

$$\dot{\Delta m}_a = \sqrt{\frac{2}{287}} \times 0.165 \times 0.10000 \times 196 \times 800000 \times (273 + 20)^{-\frac{1}{2}} = 0.105 \text{ Kg/sec}$$

برای یک تراکم ایزوترمال، انرژی الکتریکی اتلافی سالیانه از طریق نشت با استفاده از معادله (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{KWh/year } \Delta KWh_{Comp} = \frac{0.105 \times 3000 \times 0.7 \times 287 \times (273 + 15) \times L_n\left(\frac{800}{100}\right)}{0.9} = 20050$$

بنابراین، زمان بازگشت سرمایه ساده جهت تخصیص هزینه برای تعمیر نشتی برابر

خواهد بود با:

$$\text{months } \frac{150}{20050 \times 0.105} = 0.115 \text{ year} = 2 \text{ years}$$

جدول (۴) میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی‌ها را نشان می‌دهد.

۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی

سایر پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده بشرح زیر می‌باشند:

جایگزینی کمپرسورهای با بازدهی پائین با کمپرسورهای نو و کارآتر

انجام برخی تغییرات در فرآیند تولید به منظور کاهش میزان مصرف هوای فشرده و

کاهش میزان فشار مورد نیاز

بکارگیری سیستم بازیافت حرارت شکل (۷) و (۸) از گرمای تراکم جهت گرمایش آب و

گرمایش فضای ساختمان

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

نصب سیستم‌های کنترل اتوماتیک به منظور بهینه‌سازی عملکرد چند کمپرسور با کاهش زمان‌های کارکرد بی‌بار و کم بار (Part Load) استفاده از کمپرسورهای کمکی برای تأمین فشار تخلیه بالاتر. بدون کمپرسور کمکی، کمپرسور اولیه بایستی کل مقدار هوا را در ماکزیمم فشار مورد نظر فشرده سازد.

۱۰- موارد تکمیلی در مورد شناسایی میزان نشت هوای فشرده

I) روش استفاده از عطر در تشخیص محل نشت

در این روش در محل ورودی هوا به کمپرسور یک عطر با بوی مشخص را قرار می‌دهیم. بوی عطر در نواحی که دارای نشت در سیستم توزیع هستند به خوبی قابل تشخیص خواهد بود.

II) روش تخمین محاسباتی در تعیین میزان نشت هوای فشرده و تعیین تلف انرژی ناشی از آن

به منظور شناسایی نشتی هوا در سیستم توزیع می‌توان کمپرسور را با قطع هوای فشرده ورودی به تجهیزات مصرف کننده آن بکار انداخت. کمپرسور تا رسیدن فشار هوای موجود در سیستم توزیع به یک حد خاصی کار خواهد کرد. زمان کارکرد کمپرسور را تا پس از رسیدن فشار به ماکزیمم میزان تنظیم (T) رسیدن فشار به آن حد خاص ثبت می‌کنیم. شده کمپرسور خاموش خواهد شد یا بصورت خلاص کار خواهد کرد. زمان کارکرد کمپرسور ثبت (t) بصورت بی بار یا زمان خاموشی کمپرسور را نیز تحت عنوان زمان بی‌باری می‌کنیم. این آزمونهایی ثبت زمانهای کارکرد تحت بار و بی‌باری را حداقل چهار بار تکرار می‌کنیم تا میانگین قابل قبولی از زمانها به دست آید. میزان نشت هوا از روی رابطه زیر بدست می‌آید.

$$L = \frac{Q \times T}{T + t}$$

$$PowerConsumption \approx \frac{L}{3} KW$$

: پریرود کارکرد تحت بار (ثانیه) T

: پریرود کارکرد بی‌باری t

(Lit/sec): ظرفیت کمپرسور Q

(Lit/sec): میزان نشت هوا L

۱۱- بازیافت حرارت از کمپرسورها (Heat Recovery)

عمل فشرده‌سازی هوا انرژی زیادی مصرف می‌کند. اما مقدار خیلی کمی از این انرژی بصورت حرارت همراه هوای فشرده به خروجی منتقل می‌گردد. بیش از ۹۰٪ این انرژی توسط عملیات خنک‌سازی خارج شده و یا توسط تشعشع تلف می‌شود (شکل ۹).

۸۰٪ می‌باشد و همین موضوع استفاده از آن C این حرارت دارای درجه کم در حدود را مشکل می‌سازد. با این حال توسط سیستم‌های خاص در حدود ۸۰٪ آن قابل بازیابی است. اگر از سیستم کانال‌کشی برای انتقال هوا استفاده شود، باید اطمینان یافت که هیچ مانعی در برابر جریان آزاد هوای خنک ایجاد نکند که باعث کاهش بازده کمپرسور می‌گردد.

سازندگان کمپرسور معمولاً حداکثر طول مشخصی را برای کانال‌کشی مجاز می‌دانند که می‌تواند برای عملیات بازیافت حرارت مورد استفاده قرار گیرد. اگر طول‌های بلندتری لازم باشد باید از فن‌های کمکی جهت به حرکت در آوردن هوا استفاده نمود.

از هوای گرم داخل کانال‌کشی جهت گرمایش فضا و فرآیندهای تولید استفاده می‌گردد. صرفه‌جویی‌های مشابهی نیز می‌تواند از ماشین‌های خنک‌شونده توسط آب بدست آید. از حرارت موجود در آب خروجی از خنک‌کن استفاده‌هایی چون تأمین آب گرم مصرفی و افزایش دمای آب تغذیه دیگ بخار و آب مصرفی فرآیندها ممکن می‌باشد.

۷۰ فرض کنید. میزان ظرفیت کمپرسور KWمثال – توان مصرفی یک کمپرسور را (خروجی هوای فشرده) ۱۶۵ لیتر در ثانیه است. کمپرسور مدت زمان ۸ ساعت در روز با ضریب بار ۷۵٪ کار می‌کند. میزان مصرف انرژی الکتریکی کمپرسور به طریق زیر حساب می‌شود:

$$۷۰ = \text{انرژی الکتریکی مصرفی KW} \times ۰.۷۵ \times ۸ = ۴۲۰ \text{ KWh/day}$$

عمده انرژی الکتریکی مصرفی (۹۰٪) که توسط کمپرسور مصرف می‌شود به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. این حرارت توسط آب خنک‌کن از کمپرسور خارج می‌شود تا کمپرسور دچار اضافه حرارت و نهایتاً آسیب نگردد.

$$\text{مقدار حرارت قابل بازیابی KWh/day} = ۴۲۰ \times ۰.۹ = ۳۷۸$$

۹۰۰۰ آب گرم را Lit/day با این مقدار انرژی و با استفاده از یک مبدل حرارتی می‌توان $۱/۴۲ \times ۱۰^۶$ KJ/day ۵۳° تولید نمود. معادل انرژی این مقدار آب گرم C با درجه حرارت است که با احتساب راندمان ۷۵٪ برای بویلر، انرژی ورودی بویلر بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$\text{انرژی ورودی بویلر} = \frac{۱/۴۲ \times ۱۰^۶}{۰.۷۵} = ۱/۸۹ \times ۱۰^۶ \text{ (KJ/day)}$$

($۱۰^۶ \times ۴۱$) در نظر بگیریم: اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی را)

$$= \text{میزان سوخت ورودی} = \frac{۱/۸۹ \times ۱۰^۶}{۴۱ \times ۱۰^۳} \text{ (Lit/day)}$$

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۳۵۰ فرض کنیم. میزان سوخت ورودی day/year اگر تعداد روز کارکرد در سال را سالیانه (سوخت صرفه‌جویی شده سالیانه) برابر خواهد بود با:

$$\text{مقدار مصرف سالیانه (Lit/year)} = 46 \times 350 = 16100$$

فصل ۳ – صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱- فن‌ها

از جمله تجهیزات مصرف‌کننده انرژی الکتریکی در بخش صنعت و ساختمان فن‌ها می‌باشند. از جمله موارد مهم مصرف این تجهیزات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
کاربرد فن‌ها در سیستم‌های احتراق جهت تأمین هوای احتراق و خروج گازهای

احتراق

کاربرد فن‌ها در کندانسورهای هوا خنک در صنایع نیروگاهی و فرآیندی

کاربرد فن‌ها در برج‌های خنک‌کن جهت خنک‌سازی آب

کاربرد فن‌ها در سیستم‌های تهویه در کارخانجات و ساختمان‌ها

۱-۱- انواع فن‌ها

اگر بخواهیم تقسیم‌بندی کلی از فن‌ها را داشته باشیم می‌توان فن‌ها را به دو گروه

اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱-۱-۱-۱ - فن‌های نوع توربو (Turbo Type)

در این فن‌ها هوا از يك جهت مکیده شده و از جهت دیگر با شتاب خارج می‌شود. این نوع از فن‌ها خود به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند.

۱-۱-۱-۱-۱ - فن‌های محوری (Axial) (شکل (۱)) - دارای ظرفیت هوا دهی بالا

برای کاربردهای تهویه دارند و بسته به نوع پروانه به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱-۱-۱-۱-۱-۱ - فن‌های نوع (Propeller) - راندمان و فشار استاتیکی در این

فن‌ها پائین است ولی حجم هوادهی بالایی دارند. پروانه آنها دارای دو یا چند تیغه از جنس سبک می‌باشد.

۱-۱-۱-۱-۱-۲ - فن‌های نوع (Tube axial) - این فن‌ها از نظر کارایی بهتر از فن‌های

نوع Propeller بوده و عموماً دارای ۴ تا ۸ تیغه می‌باشند. فشار استاتیکی در آنها بین کم تا متوسط بوده و در صورت استفاده در محل‌هایی که آلاینده‌های کربن‌دار در محیط آنها وجود دارد نیاز به تمیز کردن پریودیک تیغه‌ها وجود دارد .

۱-۱-۱-۱-۱-۳ - فن‌های نوع (Vane axial) - این فن‌ها دارای تیغه‌های کوتاه ثابت

یا قابل تنظیم هستند. بین فن‌های نوع محوری از همه کارآتر می‌باشند. فشار استاتیکی بین کم تا زیاد را دارند و در سیستم‌های HVAC و سیستم‌های تهویه صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مشخصات فن‌های محوری **Propeller** ، **Tube axial** و **Vane axial** در شکل‌های (۲) و (۳) و (۴) ارائه گردیده‌اند.

۱-۱-۱-۲ - فن‌های سانتریفوژ (شکل (۵)) - دارای ظرفیت تأمین فشار بالا هستند و در مواردی نظیر بویلرها کاربرد دارند. بسته به نوع پروانه که معمولاً بیش از ۱۰ تیغه دارند به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

۱-۱-۱-۲-۱ - فن‌های نوع (Airfoil) - این نوع از فن‌های سانتریفوژ کارآترین نوع اما در عین حال گرانترین نوع از این فن‌ها هستند. راندمان این نوع از فن‌های سانتریفوژ تقریباً ۹۰٪ است. کاربرد آنها در سیستم‌های HVAC و صنایع با هوای تمیز در صورت اهمیت داشتن صرفه‌جویی انرژی در این صنایع و سیستم‌ها نمود پیدا می‌کند. در مواردیکه نیاز به تأمین حجم بالای هوای با فشار استاتیک بین کم تا متوسط باشد از این نوع فن‌ها می‌توان استفاده کرد.

۱-۱-۱-۲-۲ - فن‌های نوع (Backward-inclined) - کارآیی این فن‌ها کمتر از فن‌های نوع **Airfoil** بوده و حدوداً ۸۰٪ می‌باشد. در سیستم‌هایی که نیاز به فشار استاتیک بین کم تا زیاد در آنها وجود دارد و سیستم‌های HVAC با حجم هوای متوسط کاربرد دارند. همچنین در صنایعی که دارای محیط‌های خورنده هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۱-۱-۳ - فن‌های نوع (Radial) - در سرعت متوسط کار می‌کنند و کمترین راندمان را دارند که حدوداً ۵۰٪ تا ۶۰٪ است. در صنایع با محیط‌های خورنده کاربرد دارند.

۱-۱-۱-۴ - فن‌های نوع (Forward-Curved) - سرعت این فن‌ها به نسبت سایر فن‌های سانتریفوژ کمترین بوده ولی از نظر ابعاد نیز کوچک‌ترین نوع فن سانتریفوژ محسوب می‌شود. راندمان این نوع از فن‌های سانتریفوژ کمتر از راندمان نوع اول و دوم بوده و به حدود ۷۰٪ می‌رسد.

در سیستم‌های HVAC تجاری و مسکونی کاربرد دارند و در مواردیکه نیاز به حجم پائین هوا با فشار استاتیک کم تا متوسط است مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشخصات فن‌های سانتریفوژ نوع Airfoil ، Backward-inclined و Radial در شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) ارائه گردیده‌اند.

۱-۱-۲ - فن‌های نوع جابجایی (Displacement Type) - در این نوع از فن‌ها هوا به داخل یک محفظه با یک حجم مشخص مکیده می‌شود. ورودی بسته شده و هوا از سمت خروجی با فشار بیرون رانده می‌شود. این عمل توسط جابجایی یک پیستون می‌تواند صورت بگیرد.

از دیدگاه کارایی نسبت فشار بین ۲/۵-۱/۲ و حجم گاز بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر مکعب بر دقیقه است. این نوع از فن‌ها برای سیستم‌های خلاء و گازهای با جرم حجمی پائین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مشخصات عملکردی انواع فن‌ها در جدول (۱) بطور مفصل ارائه گردیده است.

۱-۲- مقاومت و منحنی‌های مقاومت در فن‌ها

هنگامی که هوا از طریق یک کانال یا یک سیستم لوله‌کشی بوسیله یک فن تأمین می‌شود در صورتیکه فن فشار مشخصی را نتواند تأمین کند هوا نمی‌تواند در مجرا (کانال) جریان یابد، چون فشار هوا بایستی بر مقاومت مسیر لوله‌کشی یا کانال غلبه نماید. مقاومت مسیر لوله‌کشی یا کانال با منحنی تحت عنوان منحنی سیستم مشخص می‌گردد. در کنار منحنی سیستم منحنی دیگری تحت عنوان منحنی فن وجود دارد که شکل آن تابعی از طراحی، اندازه و سرعت فن است. تلاقی دو منحنی سیستم و فن نقطه کار فن را مشخص می‌سازد.

منحنی مقاومت سیستم شامل دو جزء است:

R_d - مقاومت دینامیکی که متناسب با توان دوم سرعت سیال (باد) است.

R_s - مقاومت استاتیکی که هیچ رابطه‌ای با سرعت باد ندارد.

مجموع این دو مقاومت تحت عنوان مقاومت کل ($R_C = R_d + R_s$) نامیده می‌شود.

در اکثر موارد به جز مواردی که در آن هوا به داخل یک مخزن با فشار بالا دمیده می‌شود منظور از مقاومت، مقاومت دینامیکی است. در مورد دمش هوا به داخل یک سیستم با فشار بالا یا مکش هوا از یک سیستم با فشار پائین منظور از مقاومت، مقاومت استاتیکی است.

شکل (۹) نشان دهنده منحنی‌های سیستم و فن می‌باشد.

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱-۳- توان لازم برای فن‌ها

در تعیین توان لازم برای کارکرد يك فن بایستی توان لازم مصرفی به تفکیک زیر مد نظر قرار گیرد.

۱-۳-۱- قدرت هوا (Air Power) L_T - انرژی مؤثری که توسط یک فن در واحد

زمان به هوا داده می‌شود.

$$L_T = \frac{K}{K-1} \times \frac{P_{t1} \times Q}{6120} \left\{ \left(\frac{P_{t2}}{P_{t1}} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right\} (KW) \quad (1)$$

P_{t1} : فشار مطلق در سمت مکش (Kg/m^2)

P_{t2} : فشار مطلق در سمت دمش (Kg/m^2)

Q : جریان هوا (m^3/min)

K : ثابت (برای هوا $K = 1/4$)

اگر نسبت فشار $1/0.3$ یا کمتر باشد رابطه بصورت زیر خواهد بود:

$$L_T = \frac{P_T \times Q}{6120} (KW) \quad (2)$$

P_T : کل فشار فن ($mm H_2O$)

۱-۳-۲- توان محوری L (Axial Power) - تقسیم L_T (air power) به راندمان

فن

$$L = \frac{L_T}{\eta_F} (KW) \quad (3)$$

راندمان معمولاً بر حسب میزان جریان هوای نامی بیان می‌شود.

۱-۳-۳- توان خروجی موتور - LM

به دلیل ساختار ساده و هزینه کم معمولاً از موتورهای القایی برای فن‌ها استفاده می‌شود. برای فن‌های با ظرفیت پائین از موتورهای القایی قفس سنجابی استفاده می‌گردد.

$$LM = L \times \Phi \times \frac{1}{\eta_t} (KW) \quad (4)$$

Φ : ثابت (Allowance rate)

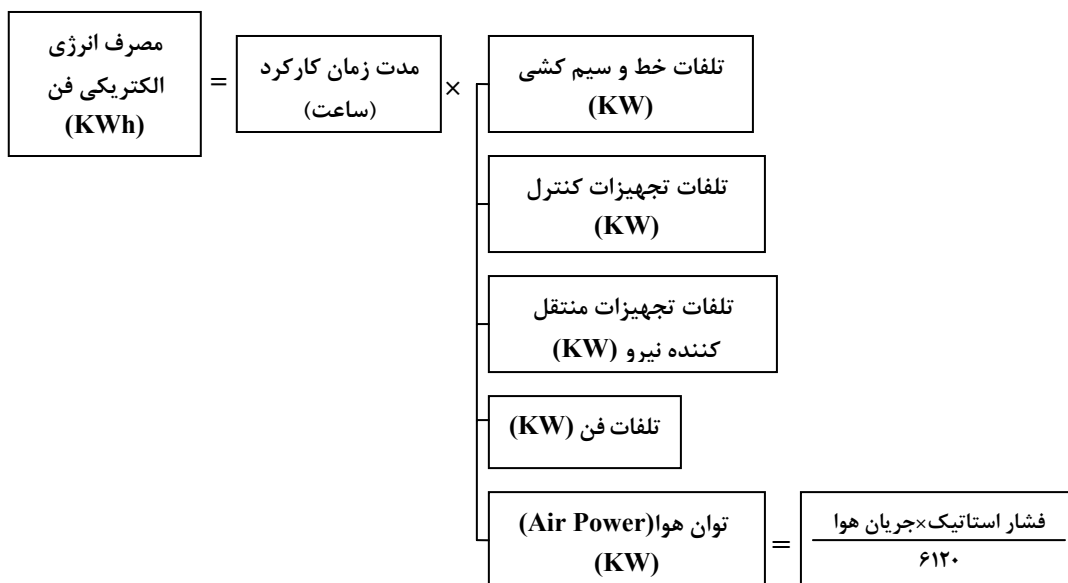
η_t : راندمان انتقال

۱-۲- جدول (۲) و (۳) به ترتیب نشانگر مقادیر Φ و η_t می‌باشند.

۱-۴- صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها

عوامل اثرگذار در صرفه‌جویی انرژی الکتریکی مصرفی در فن‌ها از روی دیاگرام

زیر قابل استخراج می‌باشند:



از روی این عوامل اثر گذار روی مصرف انرژی می‌توان راهکارهای کاهش مصرف

انرژی را به شرح زیر معرفی نمود:

۱-۴-۱- کاهش زمان کارکرد (کاهش زمان کارکرد غیر مفید)

این راهکار صرفه‌جویی انرژی می‌تواند بطرق زیر صورت پذیرد:

- I – اجتناب از راه‌اندازی فن‌ها قبل از شروع بکار کارخانه
- II – اجتناب از کارکرد فن‌ها پس از خاتمه کار کارخانه
- III – قطع کارکرد فن‌ها در مدت زمانی که کارخانه در اثر حوادث و مشکلات غیر مترقبه و ناخواسته متوقف می‌شود.

IV – استفاده از سیستم کنترل On/Off برای کاهش زمان کارکرد غیر مفید فن‌ها ،
بدلیل اینرسی بالای فن‌ها باید ملاحظات زیر برای بهره‌گیری از سیستم کنترل On-Off
مد نظر قرار گیرد.

الف – بررسی طول عمر مکانیکی و الکتریکی موتور – مقاومت مکانیکی و گرمایش و
غیره در اثر راه‌اندازی‌های مکرر بررسی می‌شوند.

ب – افت ولتاژ در منبع تغذیه – گرچه ماشین‌های الکتریکی قابلیت کارکرد با ۱۰٪ – ولتاژ
نامی را نیز دارند، لیکن ضرورت استفاده از راه‌انداز نرم باید بررسی شود.

ج – طول عمر تجهیزات راه‌اندازی – در صورت تکرار راه‌اندازی مسئله افزایش دما در
راکتورها و جبران‌سازها که برای راه‌اندازی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بررسی شود.

د – گرمای ایجاد شده در کابل تغذیه و بررسی طول عمر کلیدها – جدول (۴) و (۵) به
ترتیب نشانگر مقایسه روی سیستم‌های مختلف راه‌اندازی و عمر کلید می‌باشند.

۱-۴-۲- کنار هم گذاشتن تجهیزات با راندمان بالا

نکات قابل توجه در این راهکار عبارتند از :

I – راندمان فن‌ها – انتخاب بهترین گزینه برای فن، بهبود شکل تیغه‌ها و ...

II – راندمان تجهیزات انتقال قدرت

III – راندمان موتورها

۱-۴-۳ - کاهش در توان هوا (Air Power) - کاهش در توان مصرفی فن با کاهش

در میزان جریان هوا (Air Flow) نتیجه می‌شود. در مورد جریان هوا قبل از پرداختن به

هر بحثی بایستی به سه سوال اساسی پاسخ داد:

میزان جریان هوای مناسب چقدر است؟

- برای داشتن این میزان هوا، کدام روش کارا باید مورد استفاده قرار گیرد؟

آیا نشت هوا در سیستم لوله‌کشی و محل استفاده وجود ندارد؟

پس از اینکه به سؤالات فوق پاسخ مناسب دادیم به بیان سیستم‌هایی می‌پردازیم که

برای کاهش جریان هوا وجود دارند که این سیستمها عبارتند از :

الف - سیستم ثابت

ب - سیستم متغیر

روش‌های خلاصه شده برای دو سیستم فوق‌الذکر به منظور کاهش ظرفیت هوای دمیده شده و کاهش جریان هوا در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه گردیده‌اند. روش‌های مطرح در تعدیل جریان هوا در سیستم ثابت عبارتند از :

روش‌های کاهش تعداد، تعویض پره‌ها و تغییر در سرعت چرخش از طریق تغییر موتور یا قطر پولي.

تکنیک‌های مطرح در سیستم متغیر نیز عبارتند از:

کنترل دمپر در خروجی، کنترل دریچه ورودی، کنترل فرکانس، تغییر در تعداد قطب‌های

الکتروموتور، کنترل مقاومتی در ثانویه موتور و ...

پس از معرفی تکنیک‌های هر سیستم به بررسی اجمالی برخی از آنها می‌پردازیم.

I - کاهش تعداد - مطابق شکل (۱۰) دو فن شماره (۱) و (۲) با مشخصات یکسان بصورت

موازی کار می‌کنند. جریان هوای لازم از Q_1 به Q_1 به میزان $1/2$ کاهش پیدا می‌کند.

منحنی مقاومت سیستم که

شامل دمپر نیز است از نقطه (۳) به نقطه (۵) تغییر می‌کند. توان لازم در این نقطه متناسب با $P_2 \times Q_2$ است. همین میزان هوای لازم $Q_2 = \frac{1}{2} Q_1$ را می‌توان توسط یک فن با منحنی مقاومت (۴) تأمین نمود. توان لازم در این شرایط متناسب با $P_1 \times Q_2$ است. اختلاف توان در دو حالت معادل:

$$P_2 \times Q_2 - P_1 \times Q_2 = (P_2 - P_1) \times Q_2$$

می‌باشد که این مقدار حداقل صرفه‌جویی توان حاصله در بکارگیری یک فن، بجای استفاده از دو فن با دمپر می‌باشد. اختلاف در راندمان دو روش نیز به مقدار بالا اضافه می‌شود.

II - جایگزینی پره‌ها (Replacement of Impellers) - در صورتیکه ظرفیت فن

بالاتر از میزان هوای مورد نیاز تعیین شده باشد راهکار جایگزینی پره‌ها مطرح می‌شود. این مورد (اضافه ظرفیت) اگر با افزایش وزن مخصوص هوا یا گاز همراه شود سبب افزایش فشار باد به میزان زیاد گردیده و این مسئله موجب افزایش بار الکتروموتور متصل به فن می‌شود.

روابط حاکم بین جریان، فشار، توان مصرفی و قطر پره حاکی از آن است که تغییر قطر پره می‌تواند به میزان قابل توجهی روی مصرف توان الکتریکی فن اثر بگذارد.

اگر Q مبین جریان، P مبین فشار، L مبین توان محوری و D مبین قطر پره باشد.

روابط زیر را داریم:

$$Q \equiv D^2 \text{ (جریان با توان دوم قطر متناسب است)}$$

$$P \equiv D^2 \text{ (فشار با توان دوم قطر متناسب است)}$$

(توان مصرفی با توان چهارم قطر متناسب است) $L \equiv D^4$

لذا کاملاً مشخص است که با کاهش قطر پره به میزان لازم صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در فن‌ها حاصل می‌گردد. انجام بالانس مجدد فن پس از کاهش قطر پره الزامی است.

III – استفاده از دمپر و پره راهنما – دمپر وسیله‌ای است که بصورت عمودی در مسیر

جریان هوا قرار می‌گیرد و بوسیله آن سطح مقطع مفیدی که برای عبور جریان لازم است تنظیم می‌شود. اگر دمپر در ورودی فن نصب شود تغییر آن سبب تغییر منحنی فشار استاتیکی می‌شود و اگر دمپر در خروجی فن نصب شود و تغییر آن سبب تغییر منحنی مقاومت می‌شود.

پره راهنما (Vane) یک تیغه متحرک است که در ورودی فن نصب می‌شود و سبب چرخش هوای ورودی به فن در جهت چرخش فن می‌شود. تغییر در آن سبب تغییر در فشار بار و منحنی جریان هوا می‌شود.

جدول (۸) اصول و مشخصات عملکردی دمپر، پره راهنما و تغییر سرعت را در فن‌ها مقایسه می‌کند.

IV – تغییر سرعت چرخش (تغییر موتور یا تغییر قطر پولی) – در بارهای از نوع

سانتریفوژمانند فن‌ها و پمپها تغییرات جریان، فشار و توان با دور مطابق روابط معروف زیر است :

$Q \equiv n$	جریان : Q
$P \equiv n^2$	فشار : P
$L \equiv n^3$	توان : L
	n : دور

یعنی جریان متناسب با دور، فشار متناسب با توان دوم دور و توان مصرفی متناسب با توان سوم دور می‌باشد.

در صورتیکه جریان مورد نیاز کمتر از ظرفیت فن باشد، با جایگزینی الکتروموتور با یک الکتروموتور سرعت پائین‌تر میتوان از انرژی مصرفی کاست.

در صورت استفاده از تسمه، یکی از روشهای کاهش دور تغییر قطر پولی است. این دو روش، روش‌های منعطفی نیستند چون برگشت به حالت اول به آسانی امکان‌پذیر نیست.

V – استفاده از سیستم‌های کنترل سرعت در فن‌ها

تا پیدایش سیستم‌های کنترل سرعت (VSD) مدرن و اینورترها، از موتورهای القایی روتور سیم‌بندی شده و موتورهای DC برای کنترل سرعت استفاده می‌شد. ولی پیدایش این سیستم‌های پیشرفته سبب شده که موتورهای القایی قفس سنجابی نیز از نظر قابلیت کنترل دور با دو موتور فوق‌الذکر بتوانند رقابت کنند.

فقط در استفاده از این سیستم‌های کنترل سرعت باید به نکات زیر توجه داشت:

الف – توان ورودی الکتروموتور بسادگی رابطه ارائه شده با توان سوم دور کاهش نمی‌یابد. این مسئله به دلیل بدتر شدن راندمان الکتروموتور فن اتفاق می‌افتد.

راندمان کلی سیستم‌های محرک مجموعه (الکتروموتور – فن) در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند.

ب – مبدلهای الکترونیک قدرت مولد هارمونیک‌های بالا هستند. لذا در استفاده از سیستم‌های VSD بایستی ملاحظات حذف هارمونیک‌های مزاحم در نظر گرفته شود.

در شکل (۱۱) مقایسه‌ای روی عملکرد انواع سیستم‌های کنترل جریان (دبی) هوا به عمل آمده است، همانطور که از شکل پیداست کارآترین سیستم محرک‌های دور متغیر VVVF (ولتاژ متغیر- فرکانس متغیر) می‌باشد.

۲- پمپ‌ها

۲-۱- طبقه‌بندی پمپ‌ها

۲-۱-۱- نوع توربو (Turbo Type)

۲-۱-۱-۱- پمپ گریز از مرکز (Centrifugal Pumps) - فشار آب و سرعت آن

اساساً توسط نیروی گریز از مرکز پروانه تأمین می‌شود. جریان آب در جهت عمود یا مایل بر محور پروانه وارد شده و در جهت شعاعی خارج می‌شود.

در این پمپ‌ها که بیشترین کاربرد را در صنعت دارا هستند انرژی جنبشی سیال با افزایش سرعت سیال افزایش پیدا می‌کند و در نهایت انرژی جنبشی ایجاد شده فشار آب را تأمین می‌کند.

۲-۱-۱-۲- پمپ جریان مرکب (Mixed Flow Pump) - ورود و خروج جریان آب

در پمپ به صورت مایل بر محور پروانه صورت می‌گیرد. در این پمپ فشار و سرعت آب توسط نیروی گریز از مرکز پروانه و تغییر پره (Vane) تأمین می‌شود.

۲-۱-۱-۳- پمپ جریان محوری (Axial Flow Pump) - جریان ورودی و خروجی

آب در جهت محور پروانه می‌باشد. در این پمپ فشار و سرعت آب توسط تغییر در پره (Vane) صورت می‌گیرد.

در شکل (۱) پمپ‌های نوع توربو نشان داده شده است و در جدول (۱) طبقه‌بندی و

انواع مختلف پمپ‌های توربو ارائه گردیده‌اند.

۲-۱-۲- پمپ‌های از نوع جابجایی مثبت (Positive Displacement type) – این

نوع از پمپ‌ها برای جریانهای با نرخ پائین ولی فشار نسبتاً بالا مناسب بوده و به دو نوع پمپ رفت و برگشتی و چرخان تقسیم می‌شوند.

۲-۱-۲-۱- پمپ رفت و برگشتی (Reciprocating Pump) – با یک پیستون رفت

و برگشتی داخل یک سیلندر، آب تحت فشار توسط باز و بسته کردن مرحله‌ای شیرها به بیرون ارسال می‌شود. یک محفظه هوا بنام مخزن هوا یا جمع‌کننده (accumulator) جهت جلوگیری از ضربه (Pulsation) در محل تحویل آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۲) نشانگر پمپ رفت و برگشتی و مخزن هوا است.

۲-۱-۲-۲- پمپ چرخان (Rotary Pump) – این نوع از پمپ‌ها بطور وسیع در

پمپاژ سیالات با ویسکوزیته نسبتاً بالا (مانند روغن)، فشرده سازی و روغن کاری استفاده می‌شود. شکل (۳) پمپ‌های نوع چرخان را نشان می‌دهد.

شکل (۴) و (۵) و (۶) و (۷) و (۸) به ترتیب نشانگر ساختار یک پمپ سانتریفوژ

کوچک، یک پمپ سانتریفوژ چند مرحله‌ای، یک پمپ سانتریفوژ با مکش دوپل، یک پمپ جریان مرکب و یک پمپ جریان محوری هستند.

شکل (۹) نشان دهنده گستره کاربرد انواع پمپ‌هاست.

۲-۲- مشخصات پمپ‌ها

در انتقال و پمپاژ مایعات، گردش پروانه یا نیروی جابجایی ایجاد یک هد (افزایش فشار) می‌کند. این افزایش فشار مایع را از نقاط پر مقاومت پمپ یا سیستم حرکت می‌دهد. قدرت هیدرولیکی با گذشتن از این نقاط پر مقاومت افت می‌کند و انرژی پمپاژ به حرارت تبدیل می‌شود.

شکل (۱۰) نشان دهنده منحنی تغییرات (هد - ظرفیت) برای سیستم و پمپ است. منحنی سیستم وضعیت فرآیند را نشان می‌دهد. هد در هر نقطه مجموع هدهای استاتیک و هد ناشی از اصطکاک است. هد استاتیک با سرعت جریان تغییر نمی‌کند و تنها تابعی از ارتفاع و فشار پشت پمپ است.

هد ناشی از اصطکاک با توان دوم جریان متناسب بوده و بیانگر مقاومت ناشی از اصطکاک لوله است.

از تلاقی منحنی سیستم و منحنی پمپ نقطه کار پمپ در سیستم موجود مشخص می‌گردد.

۲-۳- توان مصرفی و راندمان پمپ‌ها

زمانی که حجم آب و هد مشخص هستند، توان مکانیکی مورد نیاز توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$L = \frac{Q.H.\gamma}{102 \times 60 \times \eta_P} = \frac{0.163QH}{\eta_P} (KW) \quad (1)$$

توان مکانیکی مورد نیاز

که :

Q : مقدار آب (m^3/min)

H : هد کل (m)

γ : وزن مخصوص (Kg/m^3)

η_P : راندمان پمپ

اگر راندمان موتور η_M و ضریب رزرو پمپ ϕ نیز به حساب آورده شود رابطه (۱) به

رابطه

صورت

(۲) در می‌آید.

$$L = \frac{0.163QH}{\eta_P \cdot \eta_M} \times \phi (KW) \quad (2)$$

۲-۴- کارکردهای مختلف یک پمپ

۲-۴-۱- تغییر نقطه کار پمپ زمانی که مقاومت سیستم تغییر می‌کند.

به مرور زمان به دلیل زنگ زدگی و برآمدگی‌های ایجاد شده در داخل لوله، منحنی

مقاومت خطوط لوله (سیستم) از R به R' مطابق شکل (۱۲) تغییر می‌کند. بنابراین

نقطه کار از نقطه تلاقی a به نقطه تلاقی b شیف‌ت پیدا کرده و میزان جریان تخلیه شونده

کاهش پیدا می‌کند.

۲-۴-۲- تغییر نقطه کار پمپ هنگامی که هد واقعی تغییر می‌کند.

اگر ارتفاعی (take-in level) که آب به آن ارتفاع پمپ می‌شود یا عمقی (Discharge level) که آب از آن عمق پمپ می‌شود تغییر کند، یا فشارها تغییر کند، منحنی مقاومت خط لوله (سیستم) بطور موازی و متناظر با R_1 ، R_2 و R_3 به بالا یا پایین شیفت پیدا می‌کند. بنابراین نقطه کار هم مطابق شکل (۱۳) از نقطه a به نقطه b یا c حرکت می‌کند.

در مواردی که هد واقعی تغییر می‌کند بایستی به این مسئله توجه داشت که با تغییر نقطه کار راندمان پمپ تغییر پیدا می‌کند. بنابراین با ملاحظه گستره تغییرات و دفعات تغییرات هد واقعی، انتخاب پمپ چنان باید صورت گیرد که بیشترین راندمان حاصل شود.

۲-۵- کارکرد موازی پمپ‌ها

۲-۵-۱- کارکرد موازی دو پمپ با مشخصات یکسان

هنگامی که چند پمپ به صورت موازی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، یک منحنی هد مرکب برای کل پمپ‌ها از روی ترکیب میزان جریان تخلیه شونده از هر پمپ متناظر با یک هد یکسان مطابق شکل (۱۴) می‌تواند بدست آید.

نقطه کار هر پمپ در نقطه b با هدی مساوی با هد نقطه a در نظر گرفته می‌شود. نقطه a در واقع نقطه کار پمپی فرضی است که منحنی مشخصه این پمپ همان منحنی هد مرکب بوده و از تلاقی این منحنی با منحنی مقاومت خط لوله R این نقطه بدست می‌آید. نقطه کار در دو حالت دو پمپ یا تک پمپ با فرض منحنی مقاومت یکسان به ترتیب b' یا b'' هستند. همانطور که به وضوح از شکل پیدا است نقطه کار بسته به تعداد

پمپ‌های مورد بهره‌برداری و با فرض منحنی مقاومت (سیستم) ثابت از b به b' یا b'' تغییر می‌کند.

۲-۵-۲- کارکرد موازی دو پمپ با مشخصات مختلف

منحنی هد مرکب برای کارکرد موازی پمپ‌های با مشخصات مختلف مطابق شکل (۱۵) از طریق جمع جریان تخلیه شونده از هر پمپ در هد یکسان به دست می‌آید. از روی نقطه تلاقی a بین منحنی هد مرکب و منحنی مقاومت خط لوله R_1 نقطه کار برای هر پمپ روی نقاط b و c می‌افتد. در صورتیکه در شرایط کارکرد موازی پمپ‌ها منحنی مقاومت خط لوله به R_2 تغییر یابد، تلاقی آن با منحنی هد مرکب P نقطه a' را به ما می‌دهد. چنانچه از روی شکل نیز پیداست هد بدست آمده بالاتر از هد محدود کننده مربوط به پمپ کوچکتر (P_1) است و بنابراین پمپ P_1 نمی‌تواند در تغذیه آب شرکت کند. تحت این شرایط تنها پمپ با ظرفیت بالاتر یعنی P_2 می‌تواند کار کند.

۲-۶-۲- کارکرد سری پمپ‌ها

۲-۶-۱- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات یکسان

همانطور که در شکل (۱۶) نشان داده شده، منحنی هد مرکب P از روی حاصل ضرب مقدار هد در جریان یکسان تخلیه شونده از تعدادی پمپ سری به دست می‌آید. نرخ جریان در محل تلاقی منحنی مقاومت خط لوله R و منحنی هد مرکب P معادل مقدار آب قابل پمپاژ توسط مجموعه پمپ‌های سری است. نقطه کار برای هر پمپ در این شرایط روی نقطه b می‌افتد.

۲-۶-۲- کارکرد سری پمپ‌ها با مشخصات مختلف

در شکل (۱۷) از تلاقی بین منحنی هد مرکب P و منحنی مقاومت خط R_1 میزان آب قابل پمپاژ مشخص شده و نقطه کار برای هر پمپ روی نقاط b و c افتاده است. در حالتی که پمپ‌های با منحنی مشخصات متفاوت بصورت سری کار کنند اگر منحنی مقاومت مسیر R_2 از زیر نقطه K عبور کند، بدلیل شرایط مکش پمپ بایستی مراقب وقوع پدیده کاویتاسیون باشیم.

در صورتیکه پمپ با ظرفیت کوچک‌تر P_1 در ابتدا نصب شود، شرایط مکش پمپ با ظرفیت بزرگتر P_2 بدتر خواهد شد. همچنین در صورتیکه آرایش عکس را داشته باشیم یعنی پمپ با ظرفیت بزرگتر را در ابتدا نصب کنیم هد پمپ با ظرفیت بزرگتر P_2 که در ابتدا نصب شده کاهش خواهد یافت. بنابراین باید چنان طراحی انجام شود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K عبور ننماید.

۲-۷- شرایط انتخاب کارکرد سری یا موازی

اگر بخواهیم میزان جریان آب را با استفاده از دو پمپ افزایش دهیم از روی شکل منحنی مقاومت مسیر خط لوله مشخص می‌شود که کدام یک از روش‌های کارکرد موازی و یا سری پمپ‌ها سودمندتر است.

در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود که نقطه تلاقی منحنی هد مرکب حالت سری با منحنی هد مرکب حالت موازی نقطه K بوده و به منزله یک مرز می‌باشد. بهره‌برداری حالت موازی زمانی سودمند خواهد بود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از زیر نقطه K

عبور کند (مانند منحنی R_1). بهره‌برداری حالت سری نیز زمانی سودمند خواهد بود که منحنی مقاومت مسیر خط لوله از بالای نقطه K عبور کند (مانند منحنی R_2).

۲-۸- راهکارهای صرفه‌جویی انرژی در پمپ‌ها

۲-۸-۱- تغییر قطر پروانه

اگر جریان تخلیه شونده از پمپ و هد کل پمپ در هنگام استفاده از آن بدلیل تخمین ناصحیح در زمان طراحی بیش از میزان مورد نیاز باشد قسمتی از توان مکانیکی پمپ تلف خواهد شد.

در چنین شرایطی کاهش قطر خارجی پروانه پمپ و تطبیق عملکرد پمپ با

شرایط جریان و هد مورد نیاز می‌تواند در کاهش مصرف انرژی مؤثر باشد.

عملکرد پمپ پس از برش قطر خارجی پروانه مطابق روابط زیر تغییر می‌کند:

$$Q_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times Q_1$$

جریان تخلیه شونده (دبی)

$$H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1$$

هد پمپ

$$P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \times P_1$$

توان مکانیکی

D_1 : قطر خارجی اولیه

D_2 : قطر خارجی بعد از برش

Q_1 : جریان تخلیه شونده (دبی) اولیه

H_1 : هد پمپ اولیه

L_1 : توان مکانیکی اولیه

همانطور که از روابط پیداست توان مکانیکی پمپ با تغییر قطر خارجی پروانه به شدت تغییر می‌کند.

هنگامی که برش قطر خارجی پروانه یک پمپ به میزان زیاد باشد راندمان پمپ کاهش خواهد یافت. البته باید توجه داشت که در برخی از انواع پمپ‌ها برش قطر پروانه غیر ممکن است.

شکل (۱۹) - تغییر در عملکرد پمپ در اثر برش قطر پروانه را نشان می‌دهد.

جدول (۲) مثالی از مقایسه مصرف انرژی الکتریکی قبل و بعد از برش قطر پروانه را نشان می‌دهد.

۲-۸-۲- انتخاب پمپ‌ها و اثرات صرفه‌جویی انرژی

در نظر گرفتن حاشیه اضافی برای مقدار جریان و هد در هنگام طراحی و در نظر گرفتن آنها در تعیین مشخصات پمپ سبب انتخاب یک پمپ با ظرفیت بالاتر از حد نیاز می‌گردد.

تحت این شرایط بخشی از انرژی ورودی به سیستم پمپ تلف می‌شود و دلیل این امر این است که بخشی از توان مکانیکی نیز همانند میزان جریان آب که اضافی در نظر گرفته شده اضافه بر میزان مورد نیاز می‌باشد.

۲-۸-۳- تغییر سرعت

می‌دانیم که توان مکانیکی یک پمپ با توان سوم سرعت متناسب است.

$$Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) \times Q_1 \quad \text{جریان (دبی)}$$

$$H_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \times H_1$$

$$L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \times L_1$$

قبل از تغییر سرعت: L_1, H_1, Q_1, N_1

بعد از تغییر سرعت: L_2, H_2, Q_2, N_2

بنابراین کاهش سرعت در پمپ‌ها یکی از روش‌های بسیار اساسی در کاهش مصرف انرژی در آنهاست. یکی از رهیافت‌ها بدین منظور استفاده از الکتروپمپ‌های چند سرعتی می‌باشد. شکل (۲۰) نشان دهنده تغییر عملکرد یک پمپ با تغییرات سرعت در آن است.

۲-۸-۴- سیستم‌های کنترل

در کل، منظور اصلی از کنترل سرعت کنترل فشار است. کنترل فشار بدو دسته تقسیم‌بندی می‌شود.

الف - کنترل فشار با جریان تخلیه (دبی) ثابت

(Piping) ب - تثبیت فشار ترمینال به منظور

الف – کنترل فشار با جریان تخلیه (دبی) ثابت

این سیستم سرعت گردش پمپ را با فیدبک از فشار تخلیه و ثابت نگهداشتن آن تغییر می‌دهد. از آنجایی که گستره تغییرات سرعت کوچک است میزان صرفه‌جویی انرژی حاصل از این سیستم نیز در مقایسه با سیستم کنترل فشار ترمینال ثابت که به آن خواهیم پرداخت کمتر است.

شکل‌های (۲۱) و (۲۲) به ترتیب نشانگر اثر تغییر سرعت روی توان مکانیکی و نشانگر دیاگرام سیستم کنترل برای دو حالت فوق می‌باشند.

ب – تثبیت فشار ترمینال

حتی اگر مقدار آب مصرفی نیز تغییر کند، این سیستم با کنترل سرعت پمپ و فیدبک از دبی خروجی از پمپ و فشار یا فیدبک از فشار ترمینال بدنبال آن است که فشار آب در ترمینال ورودی به تأسیسات همواره ثابت نگه داشته شود (در این حالت نقطه کار پمپ چنان کنترل می‌شود که این نقطه به موازات منحنی مشخصه مقاومت سیستم حرکت کند).

فصل ۴ – صرفه‌جویی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها

و سیستم‌های تهویه مطبوع

۱ – بهینه‌سازی انرژی در ترانسفورمرها

۱-۱- مقدمه

ترانسفورمرهای توزیع وسایلی هستند که برای تغییر سطح ولتاژ بکار می‌روند. برای انتقال قدرت به منظور کاهش تلفات انتقال از ترانسفورمرهایی استفاده می‌شود که ولتاژ را افزایش می‌دهد. به این ترانسفورمرها افزاینده می‌گویند. قدرت الکتریکی حاصل ضرب جریان در ولتاژ می‌باشد و تلفات خط متناسب توان دوم جریان، به همین دلیل برای انتقال یک مقدار مشخص قدرت الکتریکی با افزایش ولتاژ جریان مورد نیاز کاهش یافته و به دنبال آن تلفات انتقال کاهش می‌یابد.

در سمت دیگر خط انتقال، جایی که مصرف‌کننده‌های نهایی قرار دارند، مجدداً از ترانسفورمر برای کاهش ولتاژ به سطحی که برای تجهیزات مناسب باشد، استفاده می‌شود. این ترانسفورمرها کاهنده نامیده می‌شوند. در صنایع بزرگ سعی می‌شود تا در سیستم توزیع داخلی تا جایی که ممکن است ولتاژ را از پست ورودی کارخانه (پست پاساژ) تا نزدیکی مصرف‌کننده بالا نگه دارند که موجب ایجاد پست‌های فرعی و کاهش تلفات توزیع در داخل کارخانه می‌شود.

۲-۱- تلفات ترانسفورمرها

نمودار درختی زیر انواع تلفات ترانسفورمرها را نمایش می‌دهد.

تلفات هسترزیس	تلفات آهنن	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
تلفات جریان گردابی	تلفات هسته	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
تلفات دبی	تلفات مقاومتی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
الکتريک در عایقها	جریان تحریک	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۲-۲۶-۱	تلفات دبی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۲-۲۷	الکتريک در عایقها	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۲-۳۱	تلفات مقاومتی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۳-۳۱	تلفات جریان	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۳-۳۹	گردابی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۳-۴۳	تلفات جریان	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۴-۴۲-۱	سرگردان	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۴-۴۸	مصرف انرژی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۴-۵۱	الکتريکی برای فن خنک کن	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
۴-۵۲	مصرف انرژی	تلفات بی باری	تلفات ترانسها
	الکتريکی پمپ روغن ترانس	تلفات بی باری	تلفات ترانسها

۳-۱- تلفات هسته و مس

۱-۳-۱- تلفات هسته (تلفات بی باری)

این تلفات مقدار آن در بارهای مختلف ثابت می‌باشد و رابطه آن به صورت زیر است:

صرفه‌جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

وزن هسته \times (تلفات جریان گردابی + تلفات هیستریزیس) $\times m =$ تلفات بی‌باری

m : ضریب ساختمان ترانسفورمر می‌باشد.

۱-۳-۲- تلفات مس (تلفات بار)

این تلفات از نوع مقاومتی بوده و با توان دوم بار متناسب است .

۴-۱- ضریب تلفات

به نسبت تلفات بار به تلفات بی باری ضریب تلفات گویند.

$$\text{تلفات بار} = \text{ضریب تلفات (r)}$$

تلفات بی باری

از آنجائی که حداکثر راندمان ترانسفورمر زمانی رخ می‌دهد که تلفات بار با

تلفات بی باری مساوی باشد. نتیجه می‌گیریم هر چه مقدار ضریب تلفات بزرگتر باشد حداکثر راندمان ترانسفورمر در ضریب بار پائین تر رخ می‌دهد.

شکل ۱ رابطه بین راندمان ترانسفورمرهای (نوع معمولی) و تلفات بی باری (Wi) و تلفات بار (WC) را برای چند ترانسفورمر با ضریب تلفات متفاوت نشان می‌دهد. در این شکل با افزایش بار تلفات بار افزایش یافته در صورتیکه تلفات بی باری ثابت می‌ماند و زمانی که تلفات بار و تلفای بی باری با هم برابر می‌شود راندمان ترانسفورمر به مقدار حداکثر می‌رسد.

۵-۱- راندمان ترانسفورمرها

راندمان ترانسفورمر بر اساس تلفات آن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$100 \times \text{توان خروجی} = 100 \times \text{توان خروجی} = \text{راندمان}$$

$$\text{توان تلفات} + \text{توان خروجی} = \text{توان ورودی}$$

می‌توان با استفاده از روابط ریاضی ثابت نمود که حداکثر راندمان زمانی اتفاق می‌افتد

که تلفات بی باری با تلفات بار برابر باشد.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

جدول شماره ۱ مشخصات ترانسفورمرهای مختلف را نشان می‌دهد. در این

جدول‌ها راندمان در بار نامی و با فرض ضریب توان برابر ۱ محاسبه شده است. راندمان

حداکثر از راندمان داده شده در جدول بیشتر می‌باشد و می‌توان آن را برای یک

ترانسفورمر خاص از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\eta_{MAX} = \frac{P_n}{P_n - 2 \times T \times \sqrt{\alpha}} \times 100 \quad (\text{راندمان حداکثر})$$

به عنوان مثال برای ترانسفورمر ۵۰۰ KVA سه فاز در جدول ترانسفورمرها راندمان

در بار نامی برای فرکانس ۵۰ HZ ، ۹۸/۵۹ ذکر شده در صورتیکه حداکثر راندمان آن

عبارتست از :

$$r = \frac{6150}{990} = 6/21$$

$$\eta_{MAX} = \frac{500}{500 + 2 \times 0/99 \times \sqrt{6/21}} \times 100 = 99/02$$

جدول ۲ خواص ترانسفورمرهای تکفاز و ۳ فاز بطور نسبی نشان داده شده است.

چون بار ترانسفورمرها در طول شبانه‌روز تغییر می‌کند (بسته به منحنی بار مصرف

کننده) برای محاسبه راندمان متوسط در بارهای مختلف در طول شبانه‌روز از راندمان

شبانه‌روزی استفاده می‌شود. راندمان شبانه‌روزی ترانسفورمر از رابطه زیر محاسبه

می‌شود:

انرژی الکتریکی مصرفی روزانه = راندمان شبانه‌روزی

تلفات انرژی الکتریکی روزانه + انرژی الکتریکی مصرفی روزانه

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

مثال :

فرض کنید منحنی مصرف شبانه‌روزی یک ترانسفورمر با تلفات بی باری W_i و تلفات بارداری W_C مطابق شکل ۲ باشد. آنگاه تلفات انرژی الکتریکی شبانه‌روزی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$W = W_i \times 24 + W_C \times (0.8^2 \times 5 + 0.6^2 \times 2 + 0.5^2 \times 1 + 0.4^2 \times 4 + 0.2^2 \times 12) \\ = W_i \times 24 + 5/0.5 W_C$$

۶-۱- رابطه بین ظرفیت ترانسفورمرها و راندمان آنها

وقتی که ضریب تلفات ثابت باشد آنگاه افزایش ظرفیت ترانسفورمرها ما افزایش راندمان را بدنال خواهد داشت. شکل ۳ منحنی تغییرات راندمان به ازای ضریب بار را برای ۳ ترانسفورمر نمونه ۵ و ۱۰ و ۲۰ مگاوات آمپری نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده با افزایش ظرفیت، منحنی به بالا شیفت پیدا کرده و حداکثر راندمان آن افزایش می‌یابد ولی به علت برابر بودن ضریب تلفات نقطه حداکثر راندمان برای همه آنها در یک نقطه اتفاق می‌افتد.

۷-۱- رابطه بین ضریب توان بار و راندمان ترانسفورمرها

با کاهش ضریب توان، جریان برای تأمین یک مقدار مشخص توان افزایش می‌یابد. و افزایش جریان به معنی افزایش تلفات مس (یا تلفات بار) در ترانسفورمرها و همچنین سیستم توزیع می‌باشد، به همین دلیل افزایش ضریب توان موجب افزایش راندمان ترانسفورمر می‌گردد.

شکل ۴ تغییرات منحنی‌های راندمان بازای تغییرات ضریب توان را برای یک

ترانسفورمر ۱۰ MVA نمایش می‌دهد.

۸-۱- ترانسفورمرهای با راندمان بالا

ترانسفورمرهای راندمان بالا به ترانسفورمرهایی گفته می‌شود که در ساخت آنها از موادی استفاده شده که منجر به تلفات کمتر هسته و مس گشته و نتیجتاً راندمان ترانسفورمر افزایش یافته است. قیمت این ترانسفورمرها نسبت به نوع معمولی آن، بیشتر بوده و افزایش ۱ درصد راندمان باید بیش از ۱۰ الی ۱۵ درصد افزایش قیمت ترانسفورمر را توجیه کند. احتمالاً در آینده با کاهش تلفات و اختلاف قیمت ترانسفورمرهای راندمان بالا نسبت به نوع معمولی و افزایش بهای انرژی استفاده از ترانسفورمرهای راندمان بالا توجیه پذیرتر گردد.

جدول ۳ ترانسفورمرهای معمولی و راندمان بالا را در ظرفیت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌کند.

۹-۱- تلفات مختلف با تغییر تعداد ترانسفورمرها

این کار را با طرح یک مثال انجام می‌دهیم. فرض کنید یک بار 120 KVA را با

سه ترکیب متفاوت از ترانسفورمرها می‌خواهیم تأمین کنیم (شکل ۵)

۱۵۰ تأمین شود، اطلاعات ترانسفورمرها KVA : حالتی که تنها با یک ترانسفورمر A حالت از جداول مربوطه قابل استخراج است. در این حالت تلفات کل عبارت است:

$$KW = 0.45 + 2/25 \times 0.8^2 = 1/89 \quad W_C + W_i = W$$

: حالتی که با یک ترانسفورمر ۵۰ و ۱۰۰ کیلوولت آمپری تغذیه شود: B حالت

$$KW = (0.3 + 2/25) + (1/61 + 0.81) \times 0.8^2 = 2/1 \quad W_{C2} + W_{C1} + W_{i2} + W_{i1} = W$$

۵۰ تغذیه شود: KVA : حالتی که با ۳ ترانسفورمر C حالت

$$KW = 3 \times 0.25 + (3 \times 0.81) \times 0.8^2 = 2/3 \quad W_C + 3 W_i = 3 W$$

کمترین تلفات را در بر خواهد داشت. A همانطور که مشاهده می‌کنید، حالت

۱۰-۱ - کنترل ترانسفورمرها با تعداد آنها

شکل ۶ دو حالت را برای ایجاد یک ظرفیت ترانسفورمر را نشان می‌دهد.

شکل ۷ منحنی کل تلفات را برای این دو حالت نشان می‌دهد. همانطور که در شکل

مشاهده می‌شود این دو منحنی در یک نقطه باهم تلاقی داشته، که در آن نقطه تلفات

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

برای دو حالت برابر است و در طرف چپ نقطه یا بارگذاری پائین‌تر، استفاده از ۲ ترانسفورمر با ظرفیت L بهتر است و در سمت راست نقطه تلاقی یا ضریب بار بالاتر استفاده از یک ترانسفورمر با ظرفیت ۲L بهتر است.

بطور مثال برای دو ضریب بار ۸۰ و ۳۰ درصد میزان تلفات عبارتند از :

	دو ترانسفورمر با ظرفیت L		دو ترانسفورمر با ظرفیت 2L
تلفات در ۸۰ درصد ضریب بار	۵۳	>	۷۶
تلفات در ۲۰ درصد ضریب بار	۲۵	<	۲۰

۲- بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی

۲-۱- مقدمه

زمانی انسان برای مطالعه کتاب از نور یک شمع استفاده می‌کرد اما امروز با پیشرفت تکنولوژی و فراهم آوردن منابع مختلف روشنایی، نوری که برای این فعالیت استفاده می‌شود شاید چند صد برابر شده باشد. این روند همچنان با پیشرفت فن‌آوری و اتوماسیون ادامه دارد. بعنوان مثال مصرف برق در ساختمانهای اداری در اروپا از ۵۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال به مقدار ۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع افزایش یافته است و یا در آمریکا رشد مصرف انرژی در دو دهه اخیر بطور متوسط رشد سالیانه ۴ درصدی داشته در صورتیکه رشد مصرف الکتریسیته تقریباً دو برابر یعنی حدود ۷ درصد بوده است، و در همین کشور حدود ۱۷ درصد الکتریسیته فروخته شده جهت روشنایی بوده است.

در ساختمانهای اداری و تجاری بین ۲۰ تا ۵۰ درصد از کل مصرف مربوط به روشنایی می‌باشد. در بقیه ساختمانها ۱۰ درصد و یا کمتر و در صنایع نیز مصرف روشنایی بطور معمول درصد کمی از کل مصرف را تشکیل می‌دهد ولی بطور مطلق مقدار قابل توجهی را در بردارد.

سیستم روشنایی در یک ساختمان نه تنها یک مصرف کننده عمده انرژی می‌باشد بلکه مهم‌ترین سهم در تولید بار حرارتی داخل ساختمان را دارد بنابراین بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش روشنایی به دو صورت مستقیم و یا غیر مستقیم بر مصرف برق ساختمان مؤثر است. مستقیم به علت کاهش بار مصرف سیستم روشنایی و غیرمستقیم به علت کاهش بار سیستم تهویه مطبوع به همین علت بهینه‌سازی در این

بخش

از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲-۲- چگونگی تولید نور

زمانیکه یک الکترون در یک مدار اتم در یک سطح انرژی در حال گردش با دریافت انرژی به سطح بالاتر رفته و در برگشت به سطح قبلی انرژی این انرژی بصورت یک فوتون ساطع می‌شود و این فرآیند اساسی انواع منابع نور هستند. بطور خلاصه، برای ساخت یک منبع نور، ما باید یک مقدار زیادی الکترون در یک محل داشته باشیم و آنها به سطح انرژی بالاتر تحریک کنیم، و اجازه دهیم به سطح انرژی قبلی (پائین تر) برگردد.

در صورتیکه طول موج فوتون در یک محدوده خاص باشد، چشم انسان توانایی دیدن آن را دارد. یک منبع نور خوب تعداد زیادی فوتون را در این محدوده ساطع می‌کند مانند لامپ سدیم کم فشار، بعضی از منابع نور تنها کسری جزئی از فوتون‌های ساطع شده در محدود بینایی است مانند لامپهای رشته‌ایی

شکل ۱ ورودی و خروجی انرژی به یک منبع نور را نمایش می‌دهد.

۲-۳- تعریف

۲-۳-۱- نور خروجی لامپ

میزان شار نوری خروجی از یک منبع نورانی را با واحدی بنام لومن بیان می‌کنند. کل شاری که از یک کره شفاف که منبع نور را احاطه کرده عبور می‌کند با لومن اندازه‌گیری می‌شود. لومن نرخ جریان انرژی را نمایش می‌دهد. در نتیجه یک واحد انرژی است نظیر وات یا اسب بخار.

لامپ‌های برای مصارف داخلی بطور نوعی از ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ لومن محدوده نور خروجی آن است. لومن برای سفارش لامپ‌ها، مقایسه آنها، و محاسبه راندمان انرژی (که بر حسب لومن بر وات بیان می‌شود) استفاده می‌شود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

باید توجه داشت که لومن اطلاعاتی راجع به پخش نور لامپ نمی‌دهد. و ممکن است سهم بزرگی از روشنایی خروجی یک لامپ در صورتیکه به جهت اشتباه ورود بلا استفاده باشد.

۲-۳-۲- شدت نور

میزان نوری که به واحد سطح می‌رسد شدت نور نامیده می‌شود و با واحد لوکس یا فوت کندل بیان می‌شود. لوکس، لومن برای متر مربع و فوت کندل، لومن برای فوت مربع می‌باشد. (یک فوت کندل برابر $10/76$ لوکس می‌باشد) روشنایی داخلی در محدوده 100 تا 1000 لوکس و متوسط روشنایی خورشید در فضای خارج حدود 50000 لوکس می‌باشد.

۲-۳-۳- بازده

بازده قسمتی از توان ورودی منبع نور که به نور مرئی تبدیل می‌شود را مشخص می‌کند و به درصد بیان می‌شود و برای قسمتی از سیستم روشنایی یا کل سیستم روشنایی تعریف می‌شود.

۲-۳-۴- بهره‌وری

بهره‌وری رابطه نور خروجی منبع نور را با توان مصرفی آن بیان می‌کند و می‌توان آن را برای کل یا قسمتی از سیستم روشنایی تعریف نمود و واحد آن Lm/w می‌باشد.

۲-۳-۵- چگالی توان روشنایی

چگالی توان روشنایی، توان بکار رفته برای سیستم روشنایی در واحد سطح می‌باشد که واحد آن (W/m^2) بوده و بعنوان یک معیار جهت ارزیابی هر نقشه جانمایی روشنایی استفاده شده و عامل مهمی در مطالعات گرمادهی و سرمادهی ساختمانها نیز محسوب می‌شود.

۲-۳-۶- تظاهر رنگ

تظاهر رنگ در کمیته بین المللی روشنایی (CIE) بصورت تغییر رنگ یک سطح هنگامیکه منبع نور مرجع، جایگزین منبع نور مورد آزمایش شود، تعریف شده است. این شاخص برای اجسام سیاه برابر با ۱۰۰ د رحالیکه برای لامپ فلورسنت با نور سفید گرم حدود ۵۰ است.

۲-۳-۷- دمای رنگ منبع نور

دمای رنگ، بر اساس رنگ تابیده شده از جسمی سیاه در دمای معین تعریف شده است و برحسب درجه کلوین (K) بیان می‌شود. دمای رنگ بیشتر از چهار هزار درجه کلوین به عنوان نور سرد و دمای رنگ پائین تر از سه هزار درجه کلوین به عنوان نور گرم در نظر گرفته می‌شود لامپ‌های التهابی معمولی دمای رنگی حدود ۲۷۰۰ درجه کلوین دارد.

۲-۴- انواع منابع روشنایی (لامپ)

منابع مختلف برای تأمین نور مصنوعی وجود دارد که می‌توان آنها را به دو دسته کلی التهابی و تخلیه تقسیم نمود. البته دسته سومی هم برای روشنایی وجود دارد که کاربرد عمومی ندارد و آن روشنایی بوسیله نیمه هادی‌های نوری (LED) می‌باشد که از بحث در مورد آن صرف نظر شده است.

شکل ۲ دسته‌بندی منابع مختلف روشنایی را نشان می‌دهد.

۲-۴-۱- لامپ‌های التهابی

روشنایی التهابی ناشی از تشعشع یک جسم داغ ملتهب است. حرارت منبع روشنایی التهابی است منبع این حرارت در خورشید انرژی هسته‌ای، در شمع انرژی شیمیایی و در لامپ‌های التهابی جریان عبوری از یک سیم پیچ و یا فیلامان که مثل یک مقاومت عمل نموده و در اثر عبور جریان به اندازه کافی گرم شده مانند یک منبع نور عمل می‌کند.

شکل ۳ یک لامپ رشته‌ای (التهابی) را نشان می‌دهد.

هر منبع نور خواصی برای الگوی شکل موج تولیدی دارد که اسپکتروم نامیده می‌شود. اسپکتروم یک لامپ رشته‌ای نوعی مطابق شکل ۴ می‌باشد که نور مرئی تنها قسمت کوچکی از پائین نمودار ناقوسی را تشکیل می‌دهد که نشان دهنده راندمان پائین لامپ‌های التهابی می‌باشد. هر چه دمای رشته ملتهب بالاتر برود قسمت بیشتری از این نمودار در محدوده نور مرئی قرار گرفته ولی این باعث کاهش طول عمر لامپ می‌شود. شکل ۵ اسپکتروم نور خورشید در زمان ظهر و یک لامپ التهابی را نشان می‌دهد. تظاهر رنگ لامپ‌های التهابی خوب بوده و در حدود ۱۰۰ می‌باشد و علت آن پیوستگی اسپکتروم آن می‌باشد نه به علت توزیع خوب آن. شکل ۶ تغییرات مشخصات لامپ با تغییرات ولتاژ را نشان می‌دهد. یکی از راههای بالا بردن راندمان لامپ‌های رشته‌ای پر کردن حباب با گازهای سنگین است که از تبخیر فیلامان جلوگیری می‌کند. بهترین گاز جهت این کار کریپتون می‌باشد که به علت گرانی تنها برای لامپ‌های هالوژن به علت حباب کوچک مناسب می‌باشد. (شکل ۷) این کار موجب افزایش راندمان بین ۵ تا ۱۵ درصد می‌شود. لامپ‌های هالوژن تنگستن نیز که با گازهای خانواده هالوژن پر شده‌اند از راندمان و طول عمر طولانی‌تری برخوردارند. در شکل ۸ کاهش نور خروجی لامپ التهابی معمولی و هالوژن تنگستن آمده است.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

لامپ فلورسنت یک تیوپ شیشه‌ای با الکتروود در هر انتهای آن می‌باشد. داخل تیوپ از یک یا چند مواد فسفری پوشانده شده است. بخار جیوه با فشار خیلی پائین همراه با یک یا بیشتر گاز اصلاح کننده (Buffer) پر شده است. شکل ۹ لامپ‌های فلورسنت متعارف را نشان می‌دهد.

برای ایجاد نور نیاز به قوس الکتریکی است که بوسیله گاز یا بخاری که بار الکتریکی دارند صورت می‌پذیرد. ابتدا الکترون از الکتروودها جدا شده و در میدان برق بین دو الکتروود شروع به حرکت می‌کنند با برخورد الکترون‌ها به اتم‌های جیوه الکترون از جیوه کنده شده تولید یون می‌نماید. یونها و الکترون‌ها خلاف جهت یک دیگر حرکت نموده و قوس الکتریکی را بین دو الکتروود برقرار می‌نماید.

جریان باید مهار شوند چرا که در صورت زیاد شدن الکترون‌ها ضربه‌های پیاپی به اتم جیوه وارد کرده و باعث تحریک الکترون‌ها به مدارهای بالاتر انرژی شده و موجب می‌شود که نور با طول موج‌های بالاتر تولید کنند که بلااستفاده می‌باشد. همچنین عمل جدا شدن الکترون‌های اولیه از الکتروودها به وسیله ایجاد ولتاژ بالا بین الکتروودها یا گرم کردن الکتروودها انجام می‌شود.

لامپ‌های مهتابی جدید با استفاده از چند نوع فسفر موفق به بالا بردن راندمان از حدود ۷۵ به ۹۰ لومن بروات شده‌اند و تظاهر رنگ آنها نیز بهبود یافته و افت نور آن در مقابل طول عمر آن از ۲۰ درصد به ۷ درصد کاهش یافته است.

لامپ‌های فلورسنت بر خلاف لامپ‌های التهابی و تخلیه‌ای فشار بالا به درجه حرارت محیط حساسند و باید دما در حدود 40°C باشد. شکل ۱۰ تغییرات راندمان را با درجه حرارت محیط برای لامپ‌های فلورسنت نشان می‌دهد.

لامپ‌های فلورسنت در جریان‌های بالا طول عمر کوتاه‌تری دارند به همین دلیل زمان روشن بودن به ازای هر کلید زدن یک عامل مهم است که در شکل ۱۱ آمده است و سازندگان معمولاً برای زیر ۳ ساعت عددی ارائه نمی‌دهند.

۲-۴-۳- لامپ‌های فلورسنت فشرده

با پیشرفت فن‌آوری، امکان تولید لامپ‌های فلورسنت فشرده در دهه ۱۹۷۰ بوجود آمد و امکان رقابت لامپ‌های فلورسنت با لامپ‌های التهابی از نظر فشرده بودن مهیا شد. امروزه دو نوع لامپ‌های مهتابی فشرده در بازار وجود دارند:

– لامپ‌های مهتابی فشرده یکپارچه با بالاست که امکان نصب در سر پیچ لامپ‌های التهابی را دارند.

– لامپ‌های مهتابی که تیوپ آنها جدا بوده و با یک آداپتور که حاوی بالاست است به سر پیچ لامپ التهابی متصل می‌شود.

شکل ۱۳ انواع فلورسنت و فلورسنت فشرده را نشان می‌دهد.

جدول ۱ لامپ‌های فلورسنت فشرده را با لامپ التهابی مقایسه می‌کند.

۲-۴-۴- لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا

لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا (HID) به ۳ دسته عمده تقسیم می‌شوند:

– لامپ‌های بخار جیوه با علامت اختصاری (MV)

– لامپ‌های متال هالاید (MH)

– لامپ‌های سدیم فشار بالا (HPS)

در این دسته از لامپ‌ها راندمان‌ها و تظاهر رنگ بسیار متفاوتی داریم. داشتن علت

این تفاوت‌ها جهت انتخاب لوازم جانبی الزامی است. این لامپ‌ها همانند فلورسنت به

همراه بالاست بکار برده می‌شوند.

لامپ‌های سدیم فشار پائین (LPS) خواصی مشابه HID دارند و آنها بوسیله سازندگان HID ساخته می‌شوند و معمولاً در کاتالوگ‌ها به همراه HID می‌باشند.

۲-۴-۵- لامپ‌های HID چگونه کار می‌کنند؟

این لامپ‌ها همانند لامپ‌های فلورسنت، از تحریک بخار فلزات به عنوان منبع اصلی نور استفاده می‌کنند. اما علی‌رغم تشابه، تفاوت‌هایی هم وجود دارد که یکی از آنها فشار گاز داخل تیوپ می‌باشد که در لامپ‌های HID چند هزار برابر فشار گاز داخل لامپ فلورسنت است. قوس الکتریکی و جریان بالا موجب افزایش دما و فشار گاز در یک تیوپ کوچک شده و نور بسیار قوی تولید می‌کند بر خلاف لامپ‌های فلورسنت که به علت سطح بزرگشان قدرت نورشان کم است. محدوده منبع نور به قدری کوچک است که می‌توانند در چراغ‌های متمرکز کننده مانند لامپ‌های التهابی قرار گیرند. شکل ۱۴ شکل‌های چهار نوع لامپ‌های HID و سدیم کم فشار را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ اسپکتروم طول موج‌های لامپ‌های جیوه‌ای شفاف، متال هالاید شفاف و سدیم پر فشار را نشان می‌دهد.

همانطور که از شکل ۱۴ مشخص است لامپ‌های تخلیه‌ای فشار بالا دارای گسترده‌گی طیف بیشتری نسبت به لامپ سدیم فشار پائین می‌باشند در صورتیکه راندمان نوری آنها پائین‌تر می‌باشد جدول ۲ محدوده راندمان نوری لامپ‌های تخلیه‌ای را نشان می‌دهد.

شکل ۱۵ کاهش نور لامپ‌های HID را در طول عمرشان نشان می‌دهد.

بعضی از لامپ‌ها HID نسبت به وضعیت نصب حساسند شکل ۱۶ تغییر نور یک نوع لامپ متال هالاید را با تغییر زاویه محور آن نسبت به خط عمود نشان می‌دهد.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

جدول ۳ بهره نوری انواع لامپ‌های HID را در توان‌های مختلف نشان می‌دهد.
جدول ۴ تلفات بالاست‌های مغناطیسی به عنوان درصدی از مصرف لامپ نشان داده شده است.

۲-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف

در جدول ۵ منابع نور مختلف با هم مقایسه شده است.

۲-۶- بالاست‌ها

همانطور که قبلاً گفته شده لامپ‌های تخلیه جهت راه‌اندازی و ادامه کار به بالاست نیاز دارند. وظیفه بالاست ابتدا ایجاد ولتاژ بالا برای راه‌اندازی لامپ و سپس محدود کردن جریان هنگام کار دائم لامپ می‌باشد. برای لامپ‌های مهتابی بالاست‌ها درصد قابل ملاحظه‌ای نسبت به مصرف لامپ برخوردارند. دو نوع عمده بالاست وجود دارند:

الف - بالاست‌های مغناطیسی

ب - بالاست‌های الکترونیکی

ج - نوع ترکیبی

شکل ۱۶ انواع بالاست‌های لامپ مهتابی را نشان می‌دهد.

الف - بالاست‌های مغناطیسی

بالاست‌های مغناطیسی از یک هسته و سیم پیچ تشکیل شده‌اند که خاصیت سلفی داشته و معمولاً با یک خازن جهت اصلاح ضریب توان بکار می‌روند تلفات بالاست مغناطیسی به عنوان مثال به ازای یک لامپ ۴۰ وات حدود ۱۰ وات می‌باشد به عنوان مثال توان مصرفی یک چراغ که دارای دو مهتابی ۴۰ وات عبارت است از :

$$\text{وات } 100 = (40+10) \times 2$$

ب- بالاست‌های الکترونیکی

این بالاست برای بکار انداختن لامپ‌ها از راکتور الکترونیکی استفاده می‌کنند. امتیاز اصلی این بالاست‌ها کاهش تلفات بالاست و همچنین افزایش راندمان لامپ به علت ایجاد فرکانس بالا می‌باشد. به عنوان مثال تلفات بالاست به ازای یک لامپ ۳۶ وات به ۴ وات کاهش می‌یابد.

۲۰ را به ازای تغییرات ۴۰W و شکل ۱۸ تغییرات نور خروجی لامپ مهتابی فرکانس خروجی بالاست نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است لامپ مهتابی در ۲۰، بهره‌وری بین ۱۰-۱۵ درصد افزایش می‌یابد. بوسیله این بالاست KHZ فرکانس بالایی ۱۰۰ افزایش یافته است. Lm/w و مهتابی‌های خاص راندمان لامپ‌های مهتابی تا

سازندگان زیادی بالاست‌های الکترونیکی عرضه می‌کنند که مشخصه‌های متفاوتی ۴۰ انجام W دارد. بر اساس یک آزمایش که بوسیله بالاست‌های الکترونیکی بر روی یک لامپ شده است بهره‌هایی از ۶۸ تا ۷۹ لومن بر وات بدست آمده است.

دیگر مشخصه‌های بالاست‌های الکترونیکی

- افزایش بازده مدار، یعنی کاهش تلفات بالاست
- کاهش وزن، به ویژه برای لامپ‌های بزرگ
- افزایش بازده نور
- محو سو زدن
- ایجاد ضریب توان ۱ بدون نیاز به خازن‌گذاری
- وسیله تسهیل کنترل دقیق توان با جریان لامپ
- راه‌اندازی کنترل شده بهتر و شرایط کاری مطلوب‌تر، در نتیجه افزایش عمر لامپ

۲-۷- چراغ‌ها

نور افکن‌ها یا چراغ‌ها جزئی از سیستم روشنایی‌اند که جهت هدایت بهینه نور طراحی شدند و راحتی دیداری را در سطح بالایی تأمین کنند. شکل ۱۹ اجزاء مختلف یک چراغ را بطور نمونه نشان می‌دهد.

جدا از لامپ‌ها که تأثیر بسزایی در راندمان کل مجموعه سیستم دارند. انعکاس دهنده‌ها و حفاظها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. حفاظها می‌توانند به صورت عدسی‌ها (لنزها) کرکره‌های فلزی و پلاستیکی و باشند.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

راندمان چراغ به صورت زیر تعریف می‌شود:

کل روشنایی منتشر شده چراغ = راندمان چراغ

کل روشنایی خروجی لامپ‌ها

به طور معمول، چراغ‌هایی بیشترین راندمان را دارند، که کمترین آسایش دیداری را تأمین می‌کنند و متقابلاً لامپ‌هایی که خیرگی را به بهترین وجه کنترل می‌کنند از کمترین راندمان برخوردارند.

جدول ۶ تأثیر انعکاس دهنده‌ها را بر راندمان چراغ نشان می‌دهد که در آن اهمیت تمیز نگه داشتن چراغ‌ها نیز آمده است.

جدول ۷ تأثیر حفاظها را بر روی راندمان چراغ نمایش می‌دهد منظور از VCP (visual comfort probability) یک شاخص است که نشان دهنده درصد افرادی است که در یک مکان مشخص شده میزان درخشندگی را قابل قبول می‌دانند، است.

۲-۸- کنترل‌های سیستم روشنایی

کنترل کننده‌های روشنایی را می‌توان به دو دسته کلی دستی و خودکار تقسیم نمود. سیستم‌های تمام خودکار معمولاً امکان کنترل دستی هم دارند که به نوعی سیستم کنترل مرکب را بوجود می‌آورند. شکل ۲۱ طرز کار سیستم‌های کنترل را نشان می‌دهد.

کنترل‌های خودکار را نیز می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم نمود:

الف - کنترل‌هایی که بر پایه زمانند

این کنترل‌ها برای مکان‌هایی مناسبند که نیاز مندی‌های روشنایی‌شان قابل پیش بینی و از قبل تعیین شده است. این کنترل‌ها برای روشنایی داخلی و خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد روشنایی خارجی بر اساس زمان طلوع و غروب خورشید تنظیم می‌شوند و برای روشنایی داخلی با استفاده از جدول زمانی کار تنظیم می‌شود. این کنترل‌ها باید امکان کنترل دستی برای استفاده روشنایی در خارج از جدول زمانی نیز داشته باشد.

ب - کنترل‌هایی که بر پایه حضور افرادند

این کنترل‌کننده‌ها برای مکان‌هایی مناسب هستند که دارای الگوی غیر قابل پیش‌بینی و متغیر برای حضور افراد می‌باشد نظیر دستشویی‌ها و انبارها. این کنترل‌کننده‌ها با استفاده از سنسورهای مافوق صوت یا مادون قرمز حضور افراد را در می‌یابند.

شکل‌های ۲۲ و ۲۳ چگونگی کار این سنسورها را نشان می‌دهد و جدول ۸ موارد کاربرد سنسورها را نشان می‌دهد.

ج - کنترل‌هایی که بر پایه سطح روشنایی‌اند

فایده این نوع کنترل استفاده حداکثر از روشنایی طبیعی و استفاده حداقل از روشنایی الکتریکی جهت تأمین سطح روشنایی مورد نظر است. این روش علاوه بر صرفه‌جویی انرژی، کاهش اضافه روشنایی و درخشندگی و دیماندمصرفی کلی را نیز به همراه دارد، این سیستم‌ها دارای وسیله تضعیف نوراند، و سنسورها میزان تضعیف نور را مشخص کرده که بستگی به میزان روشنایی روز دارد. به این وسیله اغلب « جبران‌کننده روشنایی با استفاده از نور روز » نیز می‌نامند.

۲-۹- تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی

روشنایی اولیه نصب شده به مرور زمان به دلایل زیر کاهش می‌یابد:

— کاهش نور لامپ‌ها در طول عمر آنها که برای هر لامپ در مبحث مربوطه آمده است.

— کثیف شدن و نشستن گرد و غبار بر روی لامپ

— کثیف شدن چراغ‌ها

— کثیف شدن سطوح انعکاس دهنده نور از قبیل دیوارها و سقف و

— سوختن بعضی از لامپ‌ها

این عوامل موجب می‌شوند تا راندمان سیستم روشنایی تا ۶۰ درصد افت کند. این امر در شکل ۲۲ نشان داده شده است.

شکل ۲۵ افت نور چراغ ناشی از کثیفی آن نشان داده شده است که در آن کاهش نور اولیه لامپ در نظر گرفته نشده است و می‌توان فرض کرد با تمیز کردن چراغ دوباره به حدود ۱۰۰ درصد برگردد مگر بعضی از اجزا نظیر لنزها طوری تغییر رنگ داده یا کدر شوند که قابل تمیز کردن نباشند.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

یکی از روش‌های مؤثر تعویض گروهی لامپ‌ها به همراه تمیز کردن چراغ‌ها می‌باشد. این کار بدو صورت موجب صرفه‌جویی می‌شود یکی اینکه مجبور نیستیم نور اولیه را در طراحی بعثت افت زیاد نور در طول زمان خیلی زیادتر از میزان مورد نیاز در نظر بگیریم که این خود موجب کاهش هزینه اولیه و هزینه جاری انرژی سالانه می‌گردد. دوم اینکه هزینه دستمزد کارگر بازای تعویض هر لامپ کاهش یافته (چیزی حدود ۲۵ درصد) قیمت لامپ‌ها به علت خرید عمده کاهش یافته و نیازی به اشغال فضایی از انبار جهت لامپ‌ها نمی‌باشد. زمان اقتصادی برای تعویض لامپ‌ها معمولاً ۷۰ درصد تقویم عمر آنها می‌باشد.

طرح ریزی کرد (D & M) جهت این کار باید یک برنامه بهره‌برداري و نگهداري که شامل بندهای زیر باشد:

- اوزالید نقشه تأسیسات
- جداول چراغ‌ها و کنترل‌ها
- مشخصات وسایل و محصولات
- تأمین کننده‌های تجهیزات و خدمات و شماره تماس‌های آنها
- جداول تمیز کردن چراغ‌ها و تعویض لامپ‌ها با گزارش‌های انجام خدمات
- روش‌های تعویض لامپ، بالاست و تمیز کردن چراغ‌ها
- روش‌های تنظیم سنسورهای نوری و حضور افراد
- روش‌های درس معدوم کردن چراغ‌ها و بالاست‌ها

۲-۱۰ - محاسبات اقتصادی روشی

برای محاسبه اقتصادی روشی ۲ راه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۱۰-۱ - مدل باز پرداخت ساده

این مدل بر اساس محاسبه مبلغ سرمایه گذاری شده و هزینه صرفه‌جویی شده می‌باشد و با تقسیم این دو مقدار «دوره باز پرداخت ساده» را محاسبه می‌کند و ساده‌ترین مدل اقتصادی می‌باشد.

فوائد آن عبارتند از :

- به آسانی قابل فهم است.
- نتایج مبنای سال داده می‌شوند که به معنای آن است که این نتایج مستقل هستند و به طور مثال با تغییرات پولی وابستگی ندارند.

ایرادها عبارتند از :

- میزان سودآوری را به علت در نظر نگرفتن طول عمر سیستم محاسبه نمی کند.
- نرخ بهره یا هرگونه سرمایه گذاری مجدد را در طول عمر سیستم در نظر نمی گیرد.

۲-۱۰-۲ مدل ارزش کنونی خالص

این روش هزینه ها را در طول عمر سیستم روشنایی که واقعاً پیش می آید در نظر گرفته و با استفاده از نرخ بهره (تغییر ارزش پول در واحد زمان را در نظر می گیرد) به زمان حال بر می گرداند که موجب افزایش کیفیت آن به عنوان ابزار تصمیم گیری گشته و گسترش روز افزونی یافته است.

معادله زیر چگونگی استفاده از این مدل را نشان می دهد:

$$C_{tot} = I_{in} + \sum I_1 R_{1L} + E \times R_E + M \times R_M + \sum C \times R_{1C} - SV \times R_{1SV}$$

در این معادل علائم عبارتند از :

I_{in} : کل سرمایه گذاری اولیه شامل چراغ ها، لامپ ها، بالاست ها، نصب و ...

I_1 : سرمایه گذاری در قسمت های با عمر کوتاه (لامپ ها)

E : هزینه سالانه الکتریسیته

M : هزینه نگهداری

C : هزینه تمیز کردن

R : ضریب ارزش کنونی که برای هر هزینه متناظر آن با اندیس مربوط مشخص شده

i : نرخ بهره

h : تعداد سال

SV : ارزش اسقاط

$$R_1 = \frac{1}{(1+i)^n} \quad , \quad R_{E,M} = \frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n}$$

با استفاده از جداول ۹ و ۱۰ را می‌توان R های متناظر برای n و i های مختلف را

بدست آورد.

۲-۱۱- جانمایی مؤثر روشنایی

تنظیم مؤثر تجهیزات روشنایی و میزهای تحریر کار نسبتاً مشکلی است. وقتی که میزهای تحریر را منظم می‌کنیم، موقعیت تجهیزات اداری، شکل سازمان. حرکت پرسنل و غیره را مجبوریم در نظر بگیریم بعبارت دیگر، تنظیم روشنایی معمولاً تنها برای مقدار متوسط مقدار روشنایی طراحی می‌گردد. در این حالت که در رابطه با تنظیم موقعیت روشنایی و میزهای تحریر ملاحظه‌ای صورت نمی‌پذیرد، ممکن است مشکلاتی را از نقطه نظر مؤثر بودن روشنایی ناشی شود.

مثال ۱:

وقتی که راستای میز تحریر با راستای روشنایی بر هم عمود باشد، همچنانکه در شکل ۲۶ روشنایی روی میز غیر یکنواخت می‌باشد، و زمانیکه شخصی روی میز خم می‌شود یک سایه رو به جلو ایجاد می‌شود.

مثال ۲:

حرکت یک شخص ممکن است بر روی میز تحریر اشخاص دیگر سایه ایجاد کند. این ممکن است جزئی به نظر برسد، اما باید در سیستم روشنایی از آن اجتناب شود.

شکل ۲۷ نشان می‌دهد که امتداد خط تولید بر امتداد روشنایی عمود است. چنین حالتی، یک مقدار زیادی تلفات روشنایی به همراه خواهد داشت. به روشنایی در مکانهایی که هیچ کس در آنجا مشغول کار نیستند توجه فرمایند.

وقتی که راستای روشنایی را عوض می‌کنیم، همچنانکه در شکل ۲۳ نشان داده

شده، شما از فوائد زیر بهره‌مند خواهید شد:

- تعداد کمتر تجهیزات
- یکنواختی روشنایی در محل کار
- تعمیر و نگهداری آسان تجهیزات الکتریکی

• نقاط کلیدی برای تنظیم روشنایی عبارتند از :

- ۱- تجهیزات روشنایی در ابتدا نباید کاملاً جایشان تثبیت شود.
- ۲- تعمیر و نگهداری سیستم روشنایی باید در نظر گرفته شود. بخصوص ارتفاع روشنایی باید به اندازه کافی پائین باشد که در محدود کار آسان قرار گیرد.
- ۳- حتی زمانی که یک لامپ می‌سوزد، حرکت پرسنل و موقعیت لامپ‌ها باید به خوبی دقت شود تا عدم یکنواختی روشنایی کمترین مقدار ممکن را دارا باشد.

۳ - بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های HVAC

۳-۱- تعریف

تهویه مطبوع فرآیندی است که شرایط هوای موجود را با تنظیم دما، رطوبت، پاکیزگی، گازها موجود در هوا، تشعشع و فشار، جهت ارضاء یک شرایط مورد نیاز تغییر می‌دهد.

هدف از تهویه مطبوع ساختمانی، حفظ محیط آسایش و سلامت برای جسم افراد می‌باشد.

هدف از تهویه مطبوع صنعتی حفظ شرایط هوایی مطلوب جهت تولید، تسهیلات تجارتي و حفظ مواد انبار شده می‌باشد.

بعنوان مثال، در صنایع نساجی برای اینکه در سالن‌های ریسندگی و بافندگی ایاف دچار پارگی نشوند باید دما و رطوبت هوا در یک محدود خاص کنترل شود و یا در انبار صنایع شیر باید دما در محدوده باشد تا از فاسد شدن محصولات جلوگیری کند.

۳-۲ - شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان

آسایش انسان در ساختمان به دمای هوا، سرعت جریان هوا، دمای متوسط تشعشع سطوح محیط (MRT)، رطوبت نسبی و کنترل بو و غبار بستگی دارد. شرایط دقیق آسایش به تناسب افراد، سنین مختلف، نوع و تعداد لباس و نوع فعالیت آنها تغییر می‌کند.

با توجه به اینکه نمی‌توان تمام این متغیرها را بطور دقیق برای هر ساختمان مشخص نمود. یا تعداد افراد را دقیقاً تعیین نمود، در نتیجه سیستم‌های تهویه مطبوع

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

برای ایجاد محدوده‌ایی از شرایط آسایش قابل انتظار طراحی می‌شود که برای بیشتر ساکنین و در بیشتر مواقع مناسب باشند.

شکل ۱ منطقه تقریبی آسایش و همچنین حد گسترش را متناسب با سطح فعالیت و نوع لباس نشان می‌دهد.

۳-۳- معرفی سیستم‌های نمونه

شکل ۲ عناصر یک سیستم نمونه تهویه مطبوع HVAC را نشان می‌دهد. سیستم را می‌توان بر اساس اندازه، نوع عملیات، منبع حرارت یا منبع برودت طبقه‌بندی نمود. گرمایش می‌تواند به وسیله هوای داغ، یا جریان نیروی جاذبه (انتقال طبیعی گرما) یا کوران اجباری ایجاد شود، که این معمولاً تأسیسات کوچکتري از قبیل ساختمانهای مسکونی است. در مورد ساختمانهای تجاری، بیشتر سیستم‌های آب داغ یا بخار به کار می‌روند. در این سیستم‌ها، (نوعی است که در شکل ۲ ترسیم شده است)، آب داغ یا بخار به کویل مبدل حرارت باریک شده واقع در کانالها از طریق خط لوله منتقل شده است. هوای در زمانی که از بالای این مبدل گرما عبور می‌نماید، گرم شده و سپس به فضاهای اشغال شده است. هوا در زمانی که از بالای این مبدل گرما عبور می‌نماید، گرم شده و سپس به فضاهای اشغال شده هدایت می‌شود. یک شیر کنترل شده ترموستاتی حرارت‌های مناسب را در داخل فضای حرارت داده شده ایجاد می‌نماید. یک نوع دیگر منبع حرارت که بعضی از اوقات با آن برخورد می‌شود، یک واحد مولد حرارت است. این مولد ممکن است سوخت یا دستگاه برقی، معمولاً با یک پنکه کوچک باشد و یک محوطه موضعی را پوشش می‌دهد. انواع دیگر مولدهای حرارت موضعی شامل اجزاء حرارتی

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

مقاومت الکتریکی که می‌توانند در کانالهای سیستم تهویه مطبوع یا در اطاقها (کف ، سقف) قرار داده شوند. پمپهای حرارتی هنوز هم یک نوع مهم دیگر سیستم حرارتی می‌باشند.

سیستم‌های سرمایشی شامل واحدهای قابل نصب در پنجره تا واحدهای در بست کوچک و واحدهای مرکزی می‌باشند که دارای دو نوع اصلی سیستم‌های سردسازی و سیستم‌های بخارسازی هستند.

در سیستم‌های سردسازی (یخچالها) برای متراکم کردن مایع مبرد از کمپرسورهای رفت و برگشتی یا محرک الکتریکی از نوع پیچی یا گریز از مرکز استفاده می‌شود. (هنگامیکه منبع حرارتی مناسبی در دسترس باشد از خنک کنهای (چیلرهای) جذبی استفاده می‌شود) . سپس ماده مبرد در مبدل حرارتی منبسط شده و سرما ایجاد می‌نماید. در سیستم‌های خنک کن آبی ، آب از میان مبدل حرارتی (تبخیر کننده) پمپ شده و از طریق خطوط لوله به کویل‌های خنک کن سیستم تهویه هوا منتقل می‌شود. این رویه‌ای است که در شکل ۲ طرح شده است . روش ممکن دیگر یعنی سیستم تبخیر مستقیم (DX) هنگامی مناسب است که بتوان کویل‌های خنک کن را در نزدیکی کمپرسورها جای داد. مبرد در کویلها تبخیر می‌شود و در موقع عبور از کویلها هوا را خنک می‌نماید.

هر دوی این سیستم‌ها نیازمند وسیله‌ای برای چگالش و خنک کردن مبرد می‌باشند. این امر یا توسط چگالنده‌های با هوای خنک (در واحدهای کوچک) یا چگالنده‌های با آب خنک در سیستم‌های بزرگ صورت می‌گیرد. برای خنک کردن آب چگالنده اغلب از یک برج خنک کن (مطابق شکل ۲) استفاده می‌شود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

در سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC) دو وسیله انرژی بر مهم دیگر وجود دارند که همانا پمپها (برای انتقال آب سرد و گرم) و پروانه‌ها (فنها) برای ایجاد جریان هوا در ساختمان هستند.

توان پمپاژ بر اساس افت‌های فشار در سیستم محاسبه می‌گردد. پروانه‌ها (فنها) را می‌توان یا در کانالها و یا در مواضع مرکزی نصب نمود. معمولاً از پروانه‌های مجزایی برای خط تغذیه و تخلیه استفاده می‌شود.

۳-۳-۱- سیستم مجاری دوگانه

هم هوای گرم و هم هوای سرد از طریق کانالهای مجزا به هر منطقه تغذیه می‌شوند. هوای گرم و سرد بسته به دمای مورد نیاز ناحیه به نسبت‌های متفاوت مخلوط می‌شوند. هنگامی که درجه حرارت متوسط است مشکلاتی به وجود می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که در این حالت به محض اختلاط هوای گرم و سرد برای دستیابی به درجه حرارت مطلوب، گرمایش و سرمایش همزمان روی می‌دهد. شکل ۳ طرحی از این سیستم است. ترموستات‌های موجود در هر ناحیه میزان هوای گرم و سرد تغذیه شده برای دستیابی به درجه حرارت مطلوب را کنترل می‌کنند.

۳-۳-۲- سیستم‌های چند ناحیه‌ای

سیستم چند ناحیه‌ای مشابه سیستم مجرای دوگانه است با این تفاوت که واحدهای (جعبه‌های) اختلاط به جای آنکه در سرتاسر ساختمان پخش شده باشند، در پروانه قرار گرفته‌اند. دریچه‌های هر ناحیه مخلوط هوای گرم و سرد لازم برای رسیدن به درجه حرارت مطلوب را کنترل می‌کنند. بدین ترتیب واحد تهویه قادر است به طور همزمان هوای گرم را به يك ناحیه و هوای سرد را به ناحیه دیگر تغذیه کند (شکل ۴ را ملاحظه کنید) دریچه‌ها توسط ترموستات‌های واقع در هر ناحیه کنترل می‌شوند.

۳-۳-۳- سیستم حجم متغیر هوا

در این سیستم از گرمایش و سرمایش همزمان اجتناب می‌شود و جریان هوا به حداقل لازم برای سرمایش مناسب تقلیل می‌یابد. به ویژه در

این سیستم زمانی که به سرمایش نیاز است می‌توان جریان هوا را کم کرد و در نتیجه توان لازم برای فن راکاهش داد. هوای خنک فشار بالا به هر ناحیه تغذیه می‌شود. ترموستات موجود در هر ناحیه یک شیر را کنترل می‌کند که این شیر حجم کافی هوای لازم برای سرمایش را تغذیه می‌کند (شکل ۵). در ساختمانهای بزرگ واحدها (جعبه‌های) VAV نواحی داخلی دارای عملکرد ونتوری هستند که مقداری هوای بازگشتی (از پوشش سقف) را به جریان هوا القاء می‌کنند. این حالت در نواحی پیرامونی که نوعاً دارای منبع حرارتی خارجی هستند از بین می‌رود. بارهای روشنایی و ساکنین معمولاً می‌توانند نواحی داخلی را کاملاً گرم کنند. سیستم‌های حجم متغیر هوا در مورد ساختمانهای کوچکتر نیز قابل اجرا هستند.

۳-۳-۴- سیستم باز گرمایش پایانه‌ای

در این سیستم‌ها هوای خنک شده به تمام نواحی تغذیه می‌شود. سپس هوای بسته به میزان دمای لازم برای ناحیه مجدداً گرم می‌شود. نواحی‌ای که دارای منابع حرارتی زیاد در (روشنایی، ساکنین و تجهیزات) هستند به گرمایش اضافی کمی نیاز دارند. سایر نواحی ممکن است به گرمایش اضافی قابل توجهی احتیاج داشته باشند. چون ابتدا تمام هوای خنک می‌شود مصرف انرژی مشابهی صورت می‌گیرد (شکل ۶ را ملاحظه کنید).

۳-۳-۵- سیستم خنک کاری تبخیری

خنک‌کننده‌های تبخیری در اماکن مسکونی و سیستم‌های کوچکتر با آب و هوای گرم و خشک به کار می‌روند. این سیستم‌ها با تبخیر آب به هوا و در نتیجه خنک کردن $2/3$ MJ/Kg آن کار می‌کنند. هوا، گرما (گرماي نهان تبخیر) را با نرخ تقریبی 1000 (از آب تبخیر شده (بسته به دمای تبخیر) از دست می‌دهد. این فرآیند در Btu/lb امتداد خط دمای ثابت حباب مرطوب صورت می‌گیرد و در نتیجه دمای حباب مرطوب محیط، حد پائین سرمایه‌ش قابل حصول است. در عمل از شرایط اشباع پرهیز می‌شود. مصرف انرژی سیستم‌های تبخیری از سیستم‌های تبرید کمتر است ولی این سیستم‌ها برای ایجاد سرمایه‌ش کافی به جریان‌های بیشتری از هوای بیرون نیاز دارند زیرا درجه حرارت‌های هوای خنک تمایل به افزایش دارند، یک ابتکار جدید خنک کاری غیر مستقیم توسط سیکل تبخیر است (شکل ۷ را ملاحظه کنید).

۳-۳-۶- واحدهای سقفی - پنجره‌ای یا (سیستم‌های تک منطقه‌ای)

این واحدها دارای محدوده‌ای از 0.3 KW تا 30 KW (0.5 p تا 40 hp) و مستقل هستند. اصول کار آنها مشابه سیستم کلی تشریح شده قبلی (شکل ۲) است با این تفاوت که تمام تجهیزات آن به صورت جمع و جور در یک واحد نصب شده‌اند. چگالنده با هوا خنک می‌شود و گرما را به هوای خارج پس می‌دهد.

در این واحدها گردش پنکه (فن) چگالنده و فن کویل خنک کاری اغلب توسط یک موتور واحد تأمین می‌شود. خنک کاری از طریق یک کویل خنک کاری انبساط مستقیم (DX) صورت می‌گیرد (شکل ۸).

نیازمندیهای تصفیه هوا توسط ASHRAE توصیه شده و استاندارد ۹۰-۷۵ آنها را اصلاح نموده است. جدول شماره ۱، فهرست سایر ارزشهای پیشنهادی تهویه هوا را ارائه می‌نماید. کمیت هوای خارج به هیچ عنوان نباید از 0.14 متر مکعب در دقیقه (۵ فوت مکعب در دقیقه) کمتر باشد، اگر چه باید تشخیص داده شود که این می‌تواند شامل توزیع حاصل از تصفیه باشد.

۳-۴- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان

شکل ۸ ورودی‌ها و خروجی‌های حرارت را برای يك خانه که تحت تهویه مطبوع قرار دارد را نشان می‌دهد.

شکل ۹ مراحل محاسبه بار تهویه مطبوع را نشان می‌دهد.

۳-۴-۱- محاسبه بار سرمایش ساختمان

۳-۴-۱-۱- گرمای انتقالی از دیوار

گرمای منتقل شده از دیوار (q_w [Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_w = A_w * K_w * \Delta t_e$$

$$\Delta t_e = t_o + I/\alpha_o - t_r$$

علائم بکار رفته عبارتند از :

A_w : سطح دیوار (m^2)

K_w : ضریب انتقال حرارت کلی دیوار ($Kcal/m^2.h.^{\circ}C$)

Δt_e : اختلاف دمای مؤثر در دو طرف دیوار ($^{\circ}C$)

t_o : هوای خارج (C°)

انرژی نور خورشید که بوسیله سطح دیوار جذب می‌شود : I

ضریب انتقال حرارت هوا در سطح خارجی دیوار : α_o

جدول ۲ انتقال حرارت از ترکیب‌های نمونه دیوار را نشان می‌دهد.

۳-۴-۱-۲- انتقال حرارت

اختلاف دما بین سطح جامد و مایع در تماس با آن موجب منتقل شدن گرما می‌شود که انتقال حرارت نامیده می‌شود. زمانیکه دمای مایع جاری و سطح جامد ($t(^{\circ}\text{C})$) و ($t_w(^{\circ}\text{C})$) نسبت به هم ثابت نگهداشته شود (شکل ۱۰)، شار حرارتی منتقل شده از سطح جامد به مایع در زمانیکه t از t_w بالاتر است متناسب اختلاف دما بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = \alpha A(t - t_w)$$

که در آن α عبارتست از ضریب انتقال حرارت ($\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$) و مساحت A سطح جامد (m^2) می‌باشد. جدول شماره ۳ ضریب انتقال حرارت را برای مواد نمونه را نشان می‌دهد و شکل ضریب انتقال حرارت یک تیوب آب نمونه در مجاورت هوا را نشان می‌دهد.

۳-۴-۱-۳- شار گرما از طریق شیشه

شار گرمایی از طریق شیشه پنجره ($q_G[\text{Kcal/h}]$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_G = q_{GR} + q_{GC}$$

$$q_{GR} = A_G \times C_s \times q_{SG}$$

$$q_{GC} = A_G \times q_{CG}$$

علائم بکار رفته در فرمول بالا عبارتند از:

q_{GR} (Kcal/h) شار حرارتی تشعشی :

q_{GC} (Kcal/h) شار حرارتی هدایتی :

A_G (m^2) سطح شیشه :

ضریب شفافیت سطح شیشه و غیره : C_S

q_{SG} (Kcal/m².h) استاندارد بار تشعشعی خورشید :

q_{CG} (Kcal/m².h) ضریب انتقال حرارت هدایتی :

جدول ۴ ضریب شفافیت را برای شیشه پنجره با پرده داخلی نمایش می‌دهد.

جدول ۵ حرارت دریافتی از تشعشع استاندارد خورشید از طریق شیشه پنجره

که در توکیو اندازه‌گیری شده آمده است .

۳-۴-۱-۴- شار حرارتی بوسیله تخلیه هوا

برای تخمین شار حرارتی بواسطه تخلیه هوا (q_v [Kcal/h]) از فرمول زیر

استفاده می‌شود:

$V_s =$ (ساعت / دفعه) دفعات تهویه \times (m^3) حجم اتاق

$$q_v = q_{vs} + q_{vl}$$

$$q_{vs} = 0.29(t_o - t_r) \times V_s$$

$$q_{vs} = 720(x_o - x_r) \times V_s$$

علائم عبارتند از :

q_{vs} (Kcal/h) بار حرارت محسوس بوسیله تخلیه :

q_{vl} (Kcal/h) بار حرارت نهان بوسیله تخلیه :

V_s مقدار تخلیه (m^3/h)

t_o (°C) درجه حرارت خارج :

t_r (°C) درجه حرارت داخل :

x_o (Kg/Kg-dry) رطوبت مطلق هوای خارج :

x_r (Kg/Kg-dry) رطوبت مطلق هوای داخل :

$0/24$ (Kcal/Kg.°C) حرارت ویژه \times $1/2$ (Kg/m³) وزن مخصوص هوا = $0/29$ (Kcal/m³.°C)

600 (Kcal/Kg) حرارت نهان بخار \times $1/2$ (Kg/m³) وزن مخصوص هوا = 720 (Kcal/m³)

۳-۴-۱-۵- بار هوای تازه

بار حرارتی هوای تازه (q_{OA} [Kcal/h]) از طریق فرمول زیر محاسبه می شود :

$$q_{OA} = 1.2V_o \times (h_o - h_r)$$

این معادله می تواند به صورت مشابه قسمت ۴ نوشته شود.

علائم بکار رفته عبارتند از :

V_o (m³/h) حجم هوای تازه مورد استفاده :

h_o (Kcal/Kg-day) آنتالپی هوای خارج :

h_r (Kcal/Kg-day) آنتالپی هوای داخل :

جدول شماره ۶ تعداد تهویه لازم را در موقعیت های مختلف و در زمان های سرمایش و گرمایش نشان می دهد.

۳-۴-۱-۶-سایر

الف) حرارت تولید شده توسط تجهیزات روشنایی

$$۱ (W) = ۰/۸۶ (Kcal/h)$$

ب) حرارت تولید شده توسط تجهیزات اداری

$$۱ (KW) = ۸۶۰ (Kcal/h)$$

جدول شماره ۷ حرارت تولید شده بوسیله انواع لوازم خانگی آمده است.
توجه: در جدول ذکر شده در بالا، وقتی که لوازم خانگی با هود (فن تخلیه) خارجی مجهز باشند، مقادیر حرارت تولید شده باید نصف در نظر گرفته شود. اینها مقادیر مرجع هستند و از یک تولید کننده به تولید کننده دیگر ممکن است تغییر جزئی داشته باشند.

ج) حرارت تولید شده توسط بدن انسان

بدن افرادی که در محیطهای تحت تهویه مطبوع قرار دارند بعنوان یک منبع حرارتی $۳۷^{\circ}C$ بار حرارتی تولید می کنند که ناشی از فعالیت های متابولیسمی آنها می باشد. جدول شماره ۸ حرارت محسوس و نهان تولید شده افراد بازای فعالیت های مختلف داده شده است .

۳-۴-۱-۷-بار فن ها

بار حرارتی تولید شده توسط فن ها از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$q_F = 860 \times L_F$$

$$L_F = \frac{P_T \times Q}{6120 \times \eta_F}$$

L_F : قدرت شفت فن (KW)

P_T : فشار کلی فن (mm H₂O)

Q = حجم هوا (دقیقه / m³)

η_f : راندمان فن

کل بار حرارتی موتور فن از رابطه زیر بدست آمده است.

$$q'_F = \frac{q_F}{\eta_M}$$

بار حرارتی کل

η_M : راندمان مقدار

جدول شماره ۹ و شماره ۱۰ راندمان نوعی فن‌ها و موتورها را نشان می‌دهد.

۳-۴-۱-۸ - یک ضریب اضافی برای ظرفیت تهویه وارد محاسبه شود، حدود ۸ تا ۲۰

درصد بار محاسبه شده می‌باشد.

۳-۴-۲ - محاسبه بار گرمایش

۳-۴-۲-۱ - شار حرارتی منتقل شده از دیوار

شار حرارتی منتقل شده از دیوار (q_w [Kcal/h]) از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$q_w = A_w \times K_w \times (t_r - t_o)$$

۳-۴-۲-۲- شار حرارتی بوسیله تخلیه هوا

شار حرارتی منتقل شده از تخلیه هوا (q_r [Kcal/h]) از رابطه زیر محاسبه

می شود:

$V_s =$ (ساعت / دفعه) تعداد دفعات تهویه \times حجم اتاق (m^3)

$$q_v = q_{vs} + q_{vl}$$

$$q_{vs} = 0.29 \times (t_r - t_o) \times V_s$$

$$q_{vl} = 720 \times (x_r - x_o) \times V_s$$

۳-۴-۲-۳- بار حرارتی هوای تازه

بار حرارتی منتقل شده توسط هوای تازه از طریق زیر محاسبه می شود:

$$q_{oA} = 1.2 \times V_o \times (h_r - h_o)$$

این معادله می تواند از قسمت ۲ نیز بدست آید.

علائمی که در ۳ قسمت بالا آمده است در قسمت محاسبه بار سرمایش آمده است.

۳-۴-۲-۴- سایر

معمولاً عناصر تشعشع ناشی از بار تشعشعی خورشید، گرمای تولید شده توسط بدن افراد، روشنایی و لوازم اداری بطور مستقیم موجب گرم شدن اتاق نمی شوند و در محاسبات وارد نمی شوند.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۳-۵- استفاده از کامپیوتر جهت محاسبه بار سرمایش و گرمایش

با توجه به اهمیت سیستم تهویه مطبوع (HVAC) و مصرف زیاد آن در ساختمانها و همچنین امکان صرفه‌جویی بالا، در بسیاری از موارد لازم است مصرف انرژی این بخش در ساختمانها را به عنوان بخشی از برنامه مدیریت انرژی مدل‌سازی کنیم.

برای ساختمانهای کوچک از روش محاسبات دستی می‌توان استفاده نمود، بدین ترتیب که اتلافات حرارتی از طریق پوشش ساختمان (دیوارها، پنجره‌ها، سقف و غیره) محاسبه شده و مقادیر انرژی جذب یا دفع شده توسط نفوذ هوا و نیز انرژی حاصل از بارهای خورشید به منظور طراحی شرایط آب و هوایی به آن افزوده می‌شوند سپس این اتلافات برای کل ساختمان با هم جمع می‌شود اگر قرار باشد که حالت دیگری مورد مطالعه گیرد این روند باید تکرار شود.

روش ساده تقریبی دیگر، روش درجه - روز می‌باشد که برای ساختمانهای کوچک مورد استفاده قرار گرفته و از دمای هوای بیرون تبعیت می‌کند. مقادیر درجه روز گرمایش با تعیین 18° و دمای متوسط ۲۴ ساعته محاسبه می‌شود و اختلاف بین یک دمای مرجع (معمولاً برای روزهای گرمایش در هر سال با هم جمع گردیده و برای کل سال بدست می‌آید. این روش منابع حرارتی داخل ساختمان را به حساب نمی‌آورد به همین دلیل دمای مرجع را بالاتر در نظر می‌گیرند چرا که می‌توان فرض نمود چراغ‌ها، تجهیزات و افراد حرارت کافی برای دقت این روش را در ASHRAE افزایش دما بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد تولید می‌کنند. حدود ۲۰ درصد تخمین زده است.

روش دوم استفاده از یکی از چندین شبیه‌سازی کامپیوتری موجود است. روش کار و پیچیدگی این برنامه‌ها با یکدیگر متفاوت است اما اساس کار همه آنها استفاده از الگوریتم‌هایی و HVAC برای مدل‌سازی اتلافات و جذب حرارت ساختمانها، مشخصات کاری تجهیزات الگوهای برای آب و هوای خارجی می‌باشد.

بسیاری از این برنامه‌ها را می‌توان برای مقایسه سرمایه سیستم و هزینه‌های کاری مورد استفاده قرار داد و لذا در تحلیل‌های اقتصادی مفید واقع می‌شوند. دقت این قبیل نرم افزارها تقریباً بین ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد.

۳-۶- فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی در تهویه مطبوع

۳-۶-۱- کنترل‌ها را بهینه کنید

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

کنترل‌ها را بهینه کنید طوری که سرمایه‌ش و گرمایش تنها در مواقع لزوم صورت پذیرد. اولین گام بهبود کارایی سیستم تهویه مطبوع بررسی مواردی است که با تغییرات سر راست و مستقیم قابل اجرا هستند. بعنوان نمونه بسیاری از صرفه‌جویی‌ها از طریق استفاده از سیستم‌های کنترلی پیچیده (نظیر کامپیوترها و میکرو کامپیوترها) و سیستم‌های کنترلی ساده در دسترس هستند. (Time Clock) مانند

بعنوان مثال بسیاری از چیلرها برای حداکثر بار طراحی انتخاب می‌شوند و اغلب زیر ظرفیت کار می‌کنند و یکی از زمینه‌های مهم جهت بررسی، کارکرد در بارهای کم است. استفاده دقیق از تجهیزات در شرایط بار جزئی می‌تواند به صرفه‌جویی‌های عمده‌ای در مصرف انرژی منتهی شود. می‌توان وسایل کنترل را طوری تنظیم نمود تا بجای اینکه چند چیلر در بار جزئی کار کنند یک چیلر با بار کامل کار کند یا بجای اینکه یک چیلر بطور دائم در بار جزئی کار کند بصورت قطع و وصل در بار کامل کار کند که این خود ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی به همراه دارد یا کنترل جهت خاموش کردن فن‌ها در حالتی که نیاز به تهویه نیست و یا کنترل پمپها، زمانی که چند پمپ دربار جزئی در حال کارند و ...

۳-۶-۲ - ظرفیت سیستم را بهینه کنید

کاهش ظرفیت سیستم به پائین‌ترین سطح قابل قبول (بر اساس استانداردها و آئین‌نامه‌های محلی) بطور مثال نسبت تصفیه هوا تنها باید به اندازه‌ای باشد که در یک روز که نیاز به حداکثر سرمایه‌ش است تأمین نماید. در صورت وجود ظرفیت اضافی ممکن است توان در پنکه تلف شود و یا موجب سرمایه‌ش و گرمایش بیش از حد شود. در صورتیکه بتوانیم ۲۰ درصد از حجم تصفیه هوا را کم کنیم آنگاه در صورت استفاده از کنترل دور بجای دمپر انرژی مصرفی پنکه‌ها به نصف کاهش می‌یابد. چرا؟

۳-۶-۳ - کاهش بار ساختمان

تصفیه، بارهای حرارتی خورشیدی، حرارت تجهیزات. بارها یا تلفات حرارتی هدایت یا تشعشع همگی می‌توانند به راز منبع حرارتی ساختمان اضافه یا کم شوند. روش‌های قابل اجرا عایق‌کاری، درزبندی، پوشش‌های انعکاسی پنجره‌ها و ایجاد سایه، تخلیه حرارت خروجی و تلف شده تجهیزات و بهینه‌سازی سیستم روشنایی می‌باشد.

عایق‌کاری جهت جلوگیری از انتقال حرارت از طریق هدایت می‌باشد که تأثیر U-بسیزایی در کاهش بار تهویه دارد. مقدار تأثیر عایق حرارتی با پارامترهای بنام عدد آمده است و Kw با نام U بیان می‌شود. در قسمت قبل عدد (R-value) و عدد (U-value) بر ساعت بر فوت مربع بر اختلاف درجه بر حسب Btu واحد آن مقدار در واحد انگلیسی، فارینهایت می‌باشد و معادله انتقال حرارت بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Q = U (\text{اختلاف درجه حرارت}) \times (\text{سطح}) \times$$

است و در واقع حسن کار با آن این است که در U در واقع عکس عدد R عدد کلی می‌توان R صورتیکه لایه‌های مختلفی در کنار هم قرار گیرند برای بدست آوردن عدد را بدست آورد یا U تک تک آنها را با هم جمع نموده و سپس با محاسبه معکوس آن عدد R عدد مستقیماً از معادله زیرگرماي انتقال را محاسبه نمود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

$$Q = \frac{1}{R} \times (\text{اختلاف درجه حرارت}) \times (\text{سطح})$$

برای چند عایق حرارتی جهت انتخاب عایق حرارتی نمونه R جدول ۱۱ مقادیر عدد برای مصالح ساختمانی نیز آمده است. R آمده است و در قسمت پائین جهت مقایسه عدد

توجه شود، بلکه بسته به R جهت انتخاب عایق حرارتی مناسب تنها نباید به عدد مورد استفاده باید به خواص دیگر آن، نظیر قابلیت اشتعال، هزینه نصب، قیمت و برخی خواص دیگر توجه شود.

مثال برای نصب عایق :

هر چه ضخامت عایق بیشتر باشد، صرفه‌جویی انرژی نیز بیشتر می‌باشد. اما سرمایه‌گذاری یک عامل محدود کننده می‌باشد و باید میزان صرفه‌جویی به اندازه‌ای باشد که مقدار سرمایه‌گذاری انجام شده را توجیه کند. هدف از این مثال نشان دادن بهترین ضخامت عایق کاری برای یک عایق مشخص می‌باشد. می‌خواهیم یک دیوار مرسوم عایق نشده را عایق کاری کنیم، شرایط عبارتند از :

- عدد R برای دیوار بدون عایق ۳ می‌باشد.
- اختلاف دمای متوسط سالیانه 30°F می‌باشد.
- هزینه تلفات انرژی \$ ۱۰ برای هر میلیون Btu می‌باشد.
- هزینه بالاسری مقدار ثابت \$ ۰/۱۲ برای فوت مربع می‌باشد.
- هزینه دستمزد کارگر \$ ۰/۲ برای فوت مربع می‌باشد.
- هزینه اضافی دستمزد کارگر بازی افزایش واحد R \$ ۰/۰۱ بر فوت مربع می‌باشد.
- هزینه مواد \$ ۰/۰۹ برای فوت مربع می‌باشد.

برای اعداد داده شده بالا محاسبات اقتصادی در حدود ۱۲ داده شده است. همچنانکه در جدول بالا دیده می‌شود بهترین و اقتصادی‌ترین مقدار عایق کاری برای عدد R برابر ۶ می‌باشد.

۳-۶-۴ - مشخص نمودن و بررسی مکانهایی که نیاز به تهویه دارند

منظور از سیستم تهویه مطبوع گرم و سرد کردن افراد است نه ساختمان. تشخیص این واقعیت ساده می‌تواند به تغییراتی در الگوهای اجرایی منجر شود که حاصل آن صرفه‌جویی‌های عظیم باشد.

بجای راهروها، فضاهای ارتباطی، فضاهای خالی و ... مکان‌هایی را که در آن افراد مشغول کارند را باید تهویه کنیم. جهت انجام چنین کاری بهتر است ساختمان را از دیدگاه حرارتی بصورت افقی و عمودی بصورت زیر تقسیم‌بندی کنیم.

الف) فضاها را از دیدگاه نیاز و یا عدم نیاز به تهویه مطبوع مرتب کنید. اتاق‌هایی که نیاز به تهویه مطبوع ندارد نزدیک دیوار بیرونی قرار دهید (بدین ترتیب یک دیوار دو جداره برای قسمت تهویه شوند ایجاد کرده‌اند)

ب) اتاق‌ها بر اساس نیازمندیشان (نوع کار و شغل) دسته‌بندی بهینه کنید.

- جداول زمان کاری

- حرکت پرسنل و اثاثیه

- اتاق‌هایی که تولید بار حرارتی بالایی دارند نزدیک دیوار بیرونی قرار دهید.

ج) از یک صفحه کمکی برای جداسازی ناحیه‌های مختلف حرارتی می‌تواند استفاده شود.

د) ورودها باید به سمت محیط‌های بسته یا حفاظت شده در مقابل باد باشند.

۳-۶-۵ - انتخاب کارآمدترین فرآیند گرمایش و سرمایش است

در ساختمان‌سازی جدید، ترکیب ساختمان‌هایی با عایق‌بندی مناسب و جنبه‌های طراحی انفعالی می‌تواند انرژی گرمایشی را به مقدار زیادی کاهش دهد.

در شرایط آب و هوایی خاص مصرف انرژی سرمایش تبخیری و تر یا خشک از مصرف انرژی تبرید کمتر است بررسی استفاده از سرمایش موضعی و یا مرکزی نیز می‌تواند در مواقعی مفید باشد.

- در مورد گرمایش نیز می‌توان استفاده از بویلرها و مشعل‌های راندمان بالا، استفاده از اکونومایزر و ... را پیشنهاد نمود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

برای یک اندازه خاص موتور ، محدوده نسبتاً وسیعی از راندمان (کارایی) موتور الکتریکی وجود دارد. بطور مشابه در محرکهای موتوری یا پمپهای سرعت متغیر امکان صرفهجویی وجود دارد.

۳-۶-۶- بکارگیری کارآمدترین تجهیزات

به عنوان مثال ۳ نوع چیلرهای فشرده سازی مکانیکی وجود دارد. گریز از مرکز، پیچشی و رفت و برگشتی (پیستونی) معمولاً چیلرهای قدیمی از ۰/۸ تا ۱ کیلووات ساعت $0/49 \text{ kWh/ton}$ بر تن راندمان دارند در صورتیکه چیلرهای جدید راندمان نشان تا مقدار افزایش یافته و مصرف انرژی شان نصف گردیده است.

۳-۶-۷- بکارگیری مؤثر تجهیزات

استفاده از موتورهای دو بارگذاری مناسب، تعمیر و نگهداری مناسب تجهیزات، تنظیم مناسب کنترلها میتواند از این دست باشد.

۳-۶-۸- استفاده از مفاهیم طراحی انفعالی

طرح ساختمان (یا بار سازی مجدد آن) به طریقی باشد که جریان انرژی به محیط و از محیط را بهینه سازد و از انرژی خورشید و روشنایی روز و دمای هوای خارج حداکثر استفاده گردد.

۳-۶-۹- بازیافت حرارت

این موضوع خاصه در هوای سرد مهم و دارای ارزش اقتصادی است. در واقع حتی اگر تفاوت درجه حرارت های کم و توجیه اقتصادی فرآیند دشوارتر باشد باز هم میتوان «سردی» را بازیافت نمود.

۳-۶-۱۰- امکان ذخیره انرژی

ذخیره سازی سرمایه به معنی استفاده از انرژی الکتریکی در ساعات غیر پیک برای ایجاد سرمایه و استفاده از سرمایه ذخیره شده در ساعات پیک می باشد. این کار می تواند با ذخیره سازی آب سرد، یخ باشد. ذخیره سازی یخ نیاز به حجم کمتری دارد. این کار می تواند موجب کوچک شدن اندازه چیلر در مرحله طراحی و یا نیاز به خرید چیلر یا ظرفیت جدید برای سیستم که نیاز به افزایش ظرفیت دارند گردد. شکل ۱۳ کاهش ظرفیت چیلر در صورت امکان ذخیره سازی انرژی را نشان می دهد.

فصل ۵- مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱- هارمونیک‌ها

۱-۱- مقدمه

تکرار می‌شود را می‌توان با مجموعه از موج‌های f هر موج پریودیک که با فرکانس f و بیان نمود که فرمول زیر: f ، $2f$ ، $3f$ ، سینوسی با فرکانس

$$f(\alpha) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \sin(2\pi i f t + \phi_i)$$

می‌باشد موجی اصلی و بقیه f به موج سینوسی که فرکانس آن برابر فرکانس موج اصلی موج‌ها را هارمونیک‌های موج اصلی نامند.

بعضی از موج‌ها ممکن است تنها ترکیبی محدود از چند موج سینوسی باشد. مانند شکل ۱ که موجی را نشان می‌دهد که ترکیبی از موج‌های اصلی و هارمونیک‌های ۳ و ۵ و ۷ می‌باشد. همچنین باید توجه داشت در صورتیکه موج کاملاً سینوسی باشد آنگاه یک موج بدون هارمونیک خواهد بود.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

با این مقدمه می‌خواهیم نتیجه بگیریم، در صورتیکه به هر دلیل شکل موج سینوسی ولتاژ و یا جریان برق دچار اعوجاج و تغییر شکل شوند به معنی وجود هارمونیک‌ها در موج اصلی سینوسی بوده و می‌تواند مشکلاتی را در شبکه توزیع و مصرف کنندگان بوجود آورد.

- علت ایجاد اعوجاج (هارمونیک) در شکل موج ولتاژ و جریان

کوره‌های القایی، کوره قوس الکتریکی، سیستم‌های الکترونیک قدرت، لامپ‌های کم مصرف، کنترل کننده‌های دور متغیر، لوازم خانگی مانند تلویزیون و کامپیوتر، شارژرها، دستگاه‌های جوشکاری و بارهای غیر خطی و جهت بیان میزان اعوجاج شکل موج سینوسی که از رابطه زیر محاسبه می‌شود: (THD) از معیاری بنام خرابی کلی هارمونیک

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n ai^2}}{a_1} \times 100$$

علائم عبارتند از :

: دامنه هر موج سینوسی می‌باشد. a

۱-۲- اثر هارمونیک‌ها روی تجهیزات برقی

۱-۲-۱- اثر روی هادی‌ها

در اثر عبور جریان‌های غیر سینوسی از هادی‌ها دو اثر تحت عناوین:

۱ - اثر پوستی

۲ - اثر پوستی مغناطیسی

روی می‌دهد. اثر پوستی به دلیل توزیع غیر یکنواخت جریان‌های متناوب در هادی‌هاست که راکتانس مغز هادی نسبت به پوسته آن جریان کمتری را عبور می‌دهد و در نتیجه تلفات و افت ولتاژ افزایش می‌یابد.

اثر پوستی مغناطیسی به دلیل ایجاد جریان‌های گردابی در هادی‌ها می‌باشد که هم باعث افزایش تلفات می‌گردد و هم اینکه باعث توزیع غیر همگن جریان می‌شود و افزایش فرکانس هارمونیک‌ها این مسائل را تشدید می‌کند.

افزایش تلفات در هادی‌ها باعث داغ شدن و کاهش عمر، همچنین اثرات مکانیکی نظیر افزایش شکم هادی و کاهش استقامت آنها می‌شود.

اثر دیگری که ناشی از هارمونیک‌های مضرب ۳ است، عبور جریان از سیم نول می‌باشد. مجموع هارمونیک‌های مضرب ۳ از جنس مؤلفه صفر و مقدار آن سه برابر هر کدام است. لذا موجب تلفات و نیز برقرار شدن سیم نول می‌گردد که مشکل ایمنی و کم شدن سطح مؤثر ولتاژ را به همراه دارد.

جریان‌های خازنی بیشتر در کابل‌ها مطرح می‌باشد که در اثر ولتاژهای هارمونیک، نوسانات ولتاژ و بیشبودهای ولتاژ ایجاد می‌شود. یکی از مشکلاتی که شرکت‌های برق با آن

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

روبرو هستند ترکیب سر کابل‌ها و خود کابل‌ها می‌باشد که در اثر عوامل بالا می‌باشد و در محیط‌های هارمونیکی باید کابل و دیگر وسایل را در مقادیری کمتر از مقدار نامی نمود. *derate* بهره‌برداری کرد یا اصطلاحاً باید آنرا را

۱-۲-۲- اثر روی کلیدها و فیوزها

وقتی جریان هارمونیکی با دامنه زیاد از مدار عبور می‌کند باعث عملکرد غیر صحیح کلیدها و فیوزها خواهد شد.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

- در کنتاکتورهایی که با کوئل تحریک می‌گردند عبور جریان هارمونیک باعث افزایش درجه حرارت و باعث عملکرد رله‌های بی‌متال در جریانی پائین‌تر از جریان قطع می‌گردد.
- در فیوزها جریان هارمونیک ممکن است باعث شیفت منحنی عملکرد فیوز شود. و در نتیجه باعث عملکرد اشتباه فیوز شود. همچنین در فیوزها مخصوصاً فیوزهای کاردی که المان مشبک دارند، در فرکانس‌های بالا افزایش مقاومت و در نتیجه عملکرد در جریان پائین‌تر را سبب می‌شود.

۱-۲-۳- اثر روی ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها به عنوان بخش مهمی از سیستم قدرت محسوب می‌شوند و عملکرد صحیح آنها بسیار مهم می‌باشد لذا اثرات آلودگی‌های توان روی آنها را در زیر بررسی می‌نمائیم.

موج هارمونیک در ترانسفورماتورها باعث ایجاد مسأله رزونانس احتمالی بین سیم‌پیچ‌های ترانس‌ها و خازن‌های شبکه، ایجاد لرزش در هسته و سیم‌پیچ‌ها شود.

با افزایش تلفات هسته حرارت اضافی در ترانس تولید می‌شود لذا باید آن را در B^2 قدرت کمتری بکار گرفت بخش مهم تلفات هسته بخاطر جریان گردابی می‌باشد چون با متناسب است و اگر هارمونیک و یا عدم تعادل ولتاژ وجود داشته باشد خیلی بیشتر از تلفات هیستریزس اثر می‌گذارد به همین منظور یک ضریب برای کاهش توان در محیط‌های آلوده به فرم زیر تعریف می‌شود:

$$K_1 = \frac{\sum_{h=2}^n I_h^2 h^2}{\sum I_h^2}$$

این ضریب معرف این است که چقدر باید ظرفیت ترانس را کاهش دهیم.

$$P_T = \frac{P_n}{K_f} \dots \dots \dots K_f \rangle 1$$

در محیط‌هایی که آلودگی هارمونیک دارند باید از ترانس‌های مخصوص استفاده نمود که معمولاً حجم و وزن آنها نسبت به نوع معمولی ۱۵ درصد بیشتر می‌باشد و قیمت آنها معمولاً ۲ برابر نوع معمولی آنها می‌باشد. معمولاً خنک‌کنندگی سه مرحله‌ای دارند : (روغن - آب - هوا) .

- شکست عایقی (حالت‌های گذرا)

تعداد دور ترانس بر حسب اینکه چقدر می‌توانند ولتاژ بین هر دو را تحمل کنند تعیین می‌شود و در حالت پایدار، توزیع ولتاژ یکنواخت بین دورها خواهیم داشت، اگر اضافه ولتاژهای گذرا پیش آید، توزیع ولتاژ یکنواخت نبوده و ممکن است که ولتاژ اعمالی به بعضی

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

از دوره‌های ابتدایی از ولتاژ شکست آنها هم بیشتر شود و بدون نیاز به حرارت بیشتر یا اضافه ولتاژهای بیشتر شکست عایقی حاصل شود. لذا کلید زنی و برق آسمان می‌توانند باعث سوختن ترانس‌ها شوند.

- پدیده فرو رزونانس

ترانس تغییر می‌کند لذا ممکن است در بعضی λ در ولتاژهای هارمونیک مقدار هارمونیک‌ها رزونانس بین سلف معادل ترانس و خازن‌های شبکه حاصل شود که باعث تقویت ولتاژ و کمک به شکست عایقی می‌شود.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

• نوسانات ورقه‌ها و سیم‌ها

در اثر عبور جریان‌ها و شارهای هارمونیک ممکن است تنش‌های اعمالی به ورقه‌ها و سیم‌ها باعث ایجاد نوسان شود که این لرزش‌ها باعث ایجاد نویز و سر و صدا و ازدیاد تلفات مکانیکی و در نتیجه ازدیاد حرارت ترانس می‌شوند.

• مؤلفه‌های صفر و هارمونیک سوم در ترانس سه فاز

اگر اتصال ترانس به گونه‌ای باشد که جریان هارمونی سوم نتواند عبور کند، (مثل اتصال ایزوله) آنگاه شار مؤلفه هارمونی سوم پیدا می‌کند و در نتیجه ولتاژ مؤلفه هارمونی سوم Y پیدا می‌کند. عدم عبور مؤلفه صفر جریان باعث شیفت خنثی در ترانس می‌شود، لذا ولتاژهای فاز ترانس تغییر می‌کنند و ممکن است در چنین شرایطی رله‌های زیر ولتاژ نامی ترانس عمل کنند و باعث خاموشی و قطعی ولتاژ مصرف کننده شوند.

اگر يك طرف ترانس هم مثلث باشد باعث حذف مؤلفه سوم ولتاژ در ولتاژ خط خواهد شد ولي جریان هارمونی سوم شدیدی در اتصال مثلث عبور خواهد کرد که باعث ازدیاد تلفات شود. $Derate$ شده و ظرفیت سیم‌پیچ را کم می‌کند و لذا ترانس باید

• مؤلفه dc در ترانس

مثل يك dc گردد در این صورت ترانس برای جریان dc اگر جریان به دلیلی دارای مؤلفه پیدا می‌کند و لذا باعث به اشباع رفتن ترانس و حرارت dc فیلتر عمل می‌کند و لذا شار مؤلفه اضافی و کاهش عمر ترانس و ... می‌گردد ولي مهم‌تر از همه باعث غیر سینوسی شدن ولتاژ این حالت می‌تواند عملکرد VT و CT هم می‌گردد بخصوص در ترانس‌های خاص مثل یکی از بدترین پدیده‌های کیفیت توان و بخصوص dc ترانس را به شدت مختل کند. لذا مؤلفه برای ترانس‌ها که جزء مهمی از شبکه هستند، می‌باشد.

مثالی از اثرات هارمونیک بر تلفات و راندمان ترانسفورماتورها

همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود در شرایطی که بار يك ترانسفورماتور تنها شامل هارمونیک فرکانس اصلی باشد تنها ۲/۵ درصد تلفات مسی و ۲/۵ درصد تلفات آهنی وجود دارد درحالی‌که با افزایش هارمونیک بودن جریان به علت آنکه تلفات آهن شامل تلفات هیستریزس و تلفات جریان گردابی تقریباً با مجذور فرکانس متناسب است، این تلفات به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. در اینجا فرض شده است که تلفات مسی ثابت باقی می‌ماند. البته مقاومت سیم پیچی‌ها نیز به علت اثرات پوستی افزایش می‌یابد که به معنای افزایش تلفات مسی است. در هر صورت می‌بینیم که در صورتی که تمام جریان هارمونیک باشد راندمان ترانسفورماتور تا ۶۷ درصد کاهش می‌یابد.

در منحنی صفحه بعد کاهش راندمان يك ترانسفورماتور وقتی که بار آن يك منبع تغذیه سوئیچینگ باشد دیده می‌شود. همانطور که می‌بینیم اگر تمام بار این ترانس منبع تغذیه سوئیچینگ باشد راندمان ترانس به ۴۰ درصد نیز می‌رسد که با توجه به افزایش تلفات آهنی قابل توجهی است.

۱-۲-۴- اثر بر روی ماشین‌های الکتریکی

تمام پدیده‌های مطرح شده در ترانس‌ها برای موتورها نیز صادق می‌باشند به علاوه اینکه در موتورها متناسب با درجه هارمونیک، راکتانس ناشی افزایش می‌یابد.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

اگر موتور با يك منبع ولتاژ هارمونيكي تغذيه شود براي کاهش جريان هارمونيكي بهتر است كه موتور داراي امپدانس نشتي بالاتري باشد و اگر موتور از يك منبع جريان هارمونيكي تغذيه شود، بايد جهت کاهش هارمونيك ولتاژ از موتور با راکتانس نشتي کمتر استفاده شود.

امواج غير سينوسي هارمونيكي در ماشين‌هاي الكتريكي تلفات اضافي با گشتاورهاي ضرباني لرزش و صداي زياد توليد مي‌کنند و تلفات ايجاد شده در موتور هم ايجاد مي‌کنند كه باعث داغ شدن موتور مي‌شوند. لذا موتور بايد در ظرفيتي کمتر از مقدار نامي بكار رود.

۱-۲-۵- اثر روی خازن‌ها

در بسياري از موارد براي بهبود عملکرد شبکه جبران توان راکتيو و اصلاح ضريب توان در بارهاي مختلف در قسمت‌هايي از شبکه خازن‌گذاري مي‌گردد، طراحي اين خازن‌ها براي انجام مي‌شود. خازن‌ها به فرکانس بسيار حساس ($f=50$ Hz) فرکانس مؤلفه اصلي شبکه در اثر تغيير فرکانس، خازن‌ها در فرکانس‌هاي بالا مثل چاه C مي‌باشند و با فرض ثابت بودن عمل مي‌کنند و لذا با وجود مؤلفه‌هاي هارمونيكي ولتاژ با دامنه کم ولي فرکانس بالا جريان عبوري از خازن حتي از مقدار نامي هم مي‌تواند بيشتري شود و باعث سوختن خازن و يا فيوز آن گردد. رابطه مربوطه:

$$I_n = n(V_n) \text{ و } X_c = \frac{1}{Cw} = K \frac{1}{f}$$

يعني اگر هارمونيك هفتم ولتاژ داراي ۱۵% دامنه مقدار نامي باشد، مقدار جريان ناشي از اين هارمونيك دامنه ۱۰۵% دارد كه اين امر باعث سوختن فيوز خازن مي‌شود. در برخي از فرکانس‌ها ممكن است بين خازن و سلف شبکه رزونانس پديد آيد كه در نتيجه آن ولتاژ و جريان زيادي ممكن است توليد شده و باعث سوختن خازن شود. در اثر پديده‌هاي گذراي ولتاژ، چون پديده‌هاي فرکانس بالا مي‌باشند لذا خازن مثل اتصال کوتاه عمل مي‌نماید و سريعاً از بين مي‌رود.

۱-۲-۶- اثر روی لامپ‌ها

۱- لامپ‌هاي رشته‌اي، كه شديداً در اثر تغييرات ولتاژ بخصوص اضافه ولتاژ، کاهش عمر پيدا مي‌نماید. زيرا در اثر افزايش ولتاژ جريان لامپ و دماي آن افزايش يافته و باعث تبخير سطحي رشته سيم و در نتيجه کاهش شديد عمر لامپ مي‌گردد. نور لامپ نيز در اثر نوسانات ولتاژ تغيير مي‌نماید و پديده‌اي به نام فيليكر يا چشمک زني بوجود مي‌آيد كه مي‌تواند آزار دهنده باشد.

۲- لامپ‌هاي تخليه‌اي (گازي)، لامپ‌هاي تخليه‌اي هم جزء آلوده کننده‌ها هستند و هم شديداً به آلودگي حساس مي‌باشند. اگر دامنه ولتاژ از حدي کمتر شود ممكن است كه اصلاً لامپ روشن نشود. هارمونيك‌هاي ولتاژ روي خازن و بالاست لامپ اثرات منفي مي‌گذارند.

۱-۲-۷- اثر روی دستگاه‌های اندازه‌گیری

کمیت‌های مورد سنجش در وسایل اندازه‌گیری ممکن است بیک موج، متوسط موج و یا مقدار مؤثر موج باشند از نظر ساختمانی نیز یا الکترومکانیکی (عقربه‌ای) و یا استاتیکی (الکترونیکی، دیجیتالی) می‌باشد.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

بر اساس موج سینوسی ولتاژ و ac تنظیم یا کالیبراسیون وسایل اندازه‌گیری در حالت صاف می‌باشد لذا dc بر اساس موج dc جریان با فرکانس مشخصی انجام می‌شود و در حالت میزان و جهت خطای ایجاد شده در دستگاه‌های اندازه‌گیری و بویژه کنتورها به نوع دستگاه، روش کار، جهت فلوی هارمونیک و دامنه هارمونیک بستگی دارد.

برای ایجاد یک مؤلفه توان باید هم مؤلفه جریان و هم مؤلفه ولتاژ آن موجود باشند:

$$P_{total} = V_{dc} I_{dc} + V_1 I_1 \cos \varphi_1 + \sum_{h=2}^{\infty} V_h I_h \cos \varphi_h$$

لذا اثرات آلودگی روی وسایل، نیاز به شناخت کامل دستگاه‌ها و نوع پدیده‌ها دارد.

ضرب می‌نمایند تا مقدار مؤثر $1/\sqrt{2}$ وسایلی که پیک شکل موج را می‌سازند آن را در موج بدست آید و وسایلی که مقدار میانگین را می‌سازند آنرا در $1/11$ ضرب می‌نمایند تا مقدار مؤثر موج بدست آید و در هر دوی اینها این محاسبات برای سینوسی کامل می‌باشد در حالیکه اگر شکل موج تغییر کند خطای این اندازه‌گیریها در جدول ۲ برای شکل موج‌های معروف آمده است. مشاهده می‌شود در حالت‌هایی که پیک ولتاژ و یا میانگین موج اندازه‌گیری می‌شود و در یک ضریب ثابت ضرب می‌شود، اگر شکل موج سینوسی نباشد خطاهای زیادی ایجاد می‌شود.

کنتورها که بر اساس گشتاور محرك و مقاوم توسط جریان گردابی در دیسک رتور عمل می‌نمایند، در برابر جریان‌های غیر سینوسی دقت خود را از دست می‌دهند و معمولاً توان‌های هارمونیک را بیشتر از مقدار واقعی اندازه می‌گیرند این خطای اندازه‌گیری که معمولاً بین ۶ نیز افزایش می‌یابد. dc تا ۷ درصد است با کاهش ضریب توان و وجود مؤلفه

۱-۲-۸- اثر بر رله‌های حفاظتی

تأثیر پذیری یک رله، نسبت به اعوجاج به اصول کار رله بستگی دارد. یک وسیله حفاظتی در بعضی مواقع خود می‌تواند باعث اعوجاج شود.

ترانسفورماتورهای حفاظتی وقتی در معرض اشباع قرار می‌گیرند می‌توانند باعث اعوجاج شوند.

^۴ها وقتی در معرض یک تغییر ناگهانی موج ورودی مانند خطا قرار می‌گیرند، باعث CT اعوجاج در موج می‌شوند و به دلیل پاسخ فرکانسی ضعیف در اثر انتخاب غیر صحیح بار یا تنظیم داخلی می‌توانند باعث اعوجاج موج شوند.

^۵ها که در سیستم‌های ولتاژ بالا استفاده می‌شوند می‌توانند عامل تولید گذراهای CVT اضافی باشند.

^۶ها در صورتی که در ولتاژی بالاتر از مقدار نامی بکار گرفته شوند به اشباع می‌روند PT و باعث ایجاد اعوجاج می‌شوند.

۱-۲-۸- الف - رله‌های الکترومکانیکی

این رله‌ها شامل دو دسته زیر می‌باشند:

- رله‌های القایی سیلندری و فنجانی که جهت عمل لحظه‌ای ساخته شده‌اند.

- رله‌های القایی با دیسک جهت ایجاد تأخیر.

⁴ - Current Transformator

⁵ - Capacitor Voltage Transformer

⁶ - Potential Transformer

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

رله‌هایی که برای یک فرکانس ساخته شده‌اند، فقط وقتی که توسط سیگنال مربوطه تحریک شوند زمان تأخیر قابل پیش بینی و مشخصی دارند و وقتی موج دارای هارمونیک و اعوجاج می‌شود زمان عملکرد آنها ممکن است زیاده‌تر یا کمتر از مقدار تنظیم شده شود. بنابراین رله‌های الکترومکانیکی بسته به ساختمان آنها و اجزاء مختلف و مشخصات الکتریکی و مغناطیسی حتی اگر مشخصه جریان - زمان آنها مشابه باشد در برابر اعوجاج عکس‌العمل‌های متفاوتی نشان می‌دهند.

رله‌های الکترومکانیکی با دو ورودی علاوه بر تأثیر پذیری‌های ذکر شده قبلی، عوامل دیگری مثل فاز سیگنال‌های هارمونیک نیز در آنها اختلال ایجاد می‌کنند.

در اینگونه رله‌ها که شامل رله‌های جهتی و انواع رله‌های دیستانس هستند، در سیگنال ورودی با فرکانس‌های مختلف، گشتاور عمل‌کننده مثبت یا منفی در رله ایجاد می‌شود. لذا اگر یکی از ورودی‌ها معوج شود، می‌تواند روی عملکرد رله‌های دو ورودی اثر بگذارد.

در رله‌های دیستانس با توجه به اینکه اصول طراحی مختلفی برای آنها وجود دارد بنابراین بیان یک حالت کلی برای همه آنها عملی نمی‌باشد. برای مثال در رله‌هایی که بر اساس امپدانس مشابه عمل می‌کنند، این امپدانس‌ها معادل امپدانس خط هستند و اساساً رله باید بتواند در مواقع CT ، VT موج معوج جریان و ولتاژ به خوبی عمل نماید ولی چون اعوجاج ایجاد شده توسط فاقد تشابه با اعوجاج روی خط است، ممکن است بر دقت رله دیستانس CVT و مخصوصاً اثر بگذارد.

۱-۲-۸-ب- رله‌های استاتیک

در این رله‌ها نیز پاسخ به موج‌های غیر سینوسی با توجه به ساختمان رله متفاوت است. رله‌های استاتیک جریان اضافی ممکن است ترانسفورماتورهای اشباع شده را جهت محدود نمودن انرژی انتقالی به مدارهای الکترونیکی و ایجاد شرایط مناسب برای ساختن یک منحنی مشخصه معین در ورودی خود مورد استفاده قرار دهند، که این امر باعث ایجاد اعوجاج موج در داخل رله و تداخل این اعوجاج با اعوجاج‌های خارجی رله گردد و بر پاسخگویی رله به یک سیگنال معوج اثر می‌گذارد.

اکثر رله‌های استاتیک دارای یک ترانسفورماتور ورودی جهت تنظیم سیگنال در حد مجاز مدارهای الکترونیکی می‌باشند که این ترانسفورماتورها معمولاً دارای فاصله هوایی در خود بوده که چون به صورت مشتق‌گیری عمل می‌کنند باعث حساسیت زیاد ترانسفورماتورها به فرکانس‌های بالا می‌شوند.

۱-۲-۹- ائتلاف انرژی الکتریکی و افزایش کیلووات ساعت مصرفی و کیلووات دیماند

هارمونیک جریان بدون استفاده در کابل‌های انتقال و تجهیزات ائتلاف می‌شود، همینطور وجود هارمونیک سبب افزایش تلفات و کاهش راندمان تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها و

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

موتورها می‌شود. به همین دلیل با وجود هارمونیک‌های ولتاژ و جریان هم کیلووات ساعت مصرفی و هم کیلووات دیمانند افزایش می‌یابد.

۱-۲-۱۰- افزایش تعمیر و نگهداری تجهیزات

با وجود هارمونیک که سبب افزایش تلفات و دمای تجهیزات می‌شود، عمر تجهیزات کاهش یافته و در دوره‌های کوتاه‌تری نیاز به تعمیر و نگهداری پیدا می‌کنند. به این

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

ترتیب هزینه‌های تعمیر و نگهداری به هزینه‌های دیگر افزوده می‌شود. اثرات هارمونیک در افزایش میزان خرابی تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها، ماشین‌های الکتریکی و خازن‌های الکتریکی در بسیاری از کارخانه‌ها کاملاً محسوس است و سالانه مقدار زیادی از توقف خطوط تولید در نتیجه این گونه خرابی‌ها به وجود می‌آید.

۱-۲-۱۱- کارکرد نا مطمئن تجهیزات الکترونیکی و ژنراتورها

تجهیزات الکترونیکی برای کار در فرکانس اصلی طراحی شده‌اند و هرگونه تغییر در مشخصات تغذیه ورودی در کارکرد آنها تأثیر خواهد داشت. ژنراتورها نیز با فیدبک گرفتن از ولتاژ خروجی به تثبیت ولتاژ می‌پردازند که در صورت اعوجاج این ولتاژ و نوسان آن، این فیدبک تحت تأثیر قرار گرفته و خود باعث نوسان ولتاژ خروجی ژنراتور می‌شود.

۱-۳-۱- اثرات خازن‌ها بر روی میزان هارمونیک

از آنجا که امپدانس خازن‌ها با فرکانس رابطه عکس دارد، امپدانس خازن‌ها با افزایش فرکانس به شدت کاهش می‌یابد که خازن را به منبع خوبی برای جذب هارمونیک تبدیل می‌کند. وجود خازن در یک سیستم الکتریکی مانند یک کارخانه امپدانس ورودی آن سیستم را کاهش داده و سبب می‌شود که کارخانه به محل خوبی برای جذب هارمونیک تبدیل شود. در شکل ۲ ولتاژ یک سیستم واقعی در حضور خازن و بدون حضور آن را مشاهده می‌کنیم همانطور که سیستم تا $21/6$ درصد افزایش یابد. THD دیده می‌شود با آمدن خازن در مدار

به همین ترتیب می‌بینیم که جریان سیستم نیز با وجود خازن به شدن هارمونیک می‌شود که علت اصلی آن ایجاد رزونانس خازن با سلف ترانس و سایر سلف‌های موجود در مدار است. همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود بر خلاف تصور که گمان می‌رود خازن با حذف جریان رکتیو موجب کاهش اندازه مؤثر جریان می‌شود، در اینجا با وجود خازن جریان مؤثر از 1716 تا 2033 آمپر افزایش می‌یابد که علت آن وجود جریان‌های هارمونیک و تقویت آنها است. در نتیجه افزایش تلفات و متعاقب آن افزایش مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت.

۲ – بارهای مخصوص – کوره‌های القایی

۲-۱ – مشخصات کوره‌های القایی

اساس کار این کوره‌ها بر مبنای گرمایش حاصل از جریان القایی است که در اثر القای الکترو مغناطیسی روی فلز داخل کوره به وجود می‌آید. این القای الکترومغناطیسی در اثر میدان مغناطیسی ناشی از سیم پیچ کوره (سیم پیچ اولیه) یا کویل می‌باشد. در مقایسه با سایر کوره‌ها کوره‌های القایی دارای مشخصات زیر است:

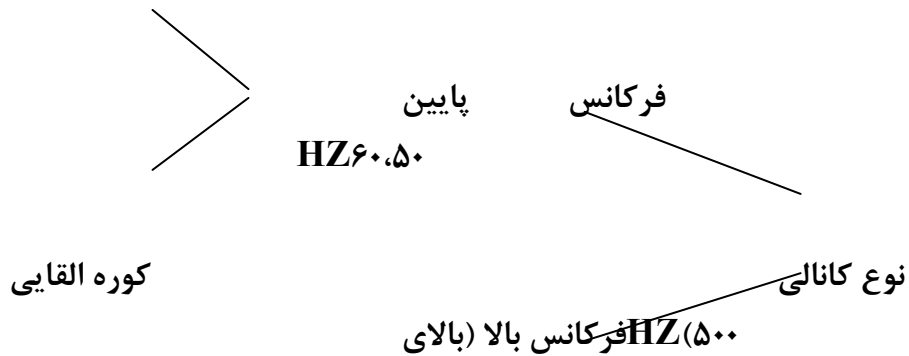
الف) راندمان حرارتی آن بدلیل گرمایش مستقیم مواد در اثر القای الکترو مغناطیسی بالاست. در آن وجود ندارد CO_2 (ب) بدلیل اینکه سوخت فسیلی در این کوره استفاده نمی‌شود انتشار (ج) تلفات فلز بدلیل اکسیداسیون خیلی کم است و این بدلیل گرمایش بدون هوا است. (د) کنترل دما در آن ساده است

ه) کوره‌های القایی بدلیل تمرکز انرژی و نیاز به جای کمتر برای نصب نسبت به سایر کوره‌ها، گزینه مناسب برای ذوب در دماهای بالا هستند.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

از نظر ساختار و فرکانس اعمالی کوره های القایی به انواع زیر تقسیم میشوند:

نوع بوتله ای



۲-۲- موازنه انرژی در کوره های القایی

تلفات الکتریکی در کوره های القایی:

- ترانسفور مر
- مبدل فرکانسی
- کابل های ارتباطی
- سیم پیچ

تلفات سیم پیچ به نسبت سایر تلفات اساسی تر است و این تلفات به ظرفیت کوره بستگی دارد.

تلفات حرارتی در کوره های القایی:

- تلفات هدایتی ناشی از فرار حرارت از دیواره کوره به سیم پیچ
- تلفات تشعشی ناشی از سطح فلز مذاب
- تلفات سرباره

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

راندمان حرارتی کوره های القایی فرکانس بالا (۶۰٪-۷۸٪) کمی بیشتر از راندمان حرارتی کوره های القایی فرکانس شبکه (۵۸٪-۷۱٪) است.

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

کوره های القایی فرکانس شبکه (پایین) دارای تلف حرارت بالا و کوره های القایی فرکانس بالا دارای تلف الکتریکی بالاست. دلیل این امر میتواند پایین بودن دانسیته قدرت و بالا بودن زمان ذوب در کوره القایی فرکانس شبکه باشد که طولانی بودن زمان سبب افزایش تلف حرارتی در این کوره میشود.

همچنین بالا بودن دانسیته قدرت و نیز کوتاه بودن زمان ذوب دلیل پایین بودن تلف حرارتی کوره القایی فرکانس بالا بوده و دلیل بالا بودن تلف الکتریکی در این کوره به سبب وجود سیستم مبدل فرکانس است.

۲-۳- نرخ توان مصرفی

انرژی الکتریکی مورد نیاز برای ذوب هر تن فلز با افزایش ظرفیت کوره تقریباً بمیزان ۱۲ تا ۱۵ Kwh/Ton بدون تغییر باقی میماند. ۶۱۰ تن کاهش می یابد. پس از آن نرخ مصرف در ۷۰۰ است. نرخ توان مصرفی در کوره های با ظرفیت پایین (۱ تا ۳ تن) غالب بر

۲-۴- راهکارهای صرفه جویی انرژی در کوره های القایی

۲-۴-۱- بهبود راندمان حرارتی از طریق بهبود کوره

بهبود کارایی انرژی در سمت قدرت، مانند راندمان تبدیل فرکانس، خازن گذاری برای بهبود ضریب توان، طراحی صحیح کویل نمی تواند چندان در اختیار مصرف کننده قرار گیرد. ولی مشخصات ویژه کوره بایستی کاملاً درک گردد تا تصمیم صحیح در مورد نوع مواد، راندمان و شکل مواد شارژ شونده برای ذوب، مقدار ذوب، نحوه استقرار تجهیزات کارگاه ریخته گری و نحوه ارتباط با خط ذوب ریزی اتخاذ گردد.

Equipment Layout ۲-۴-۲ - محل استقرار تجهیزات

محل قرارگیری کوره باید آنچنان باشد که کمترین فاصله با بانک خازنی تصحیح ضریب توان داشته باشد. داشتن این فاصله حداقل، کاهش تلفات کابل را تضمین می نماید چون جریان خیلی زیادی بین آن دو برقرار است.

۲-۴-۳ - فرکانس

الف) اثر پوستی

جریان القایی بطور متمرکز در سطح موادی که باید ذوب شوند جریان می یابد. این تمرکز جریان با افزایش فرکانس قابل توجه میشود که نتیجه آن بهبود راندمان حرارتی است. قطر یا ضخامت مواد ذوب شونده در کوره با افزایش فرکانس کاهش می یابد. هنگامی که چدن در کوره القایی فرکانس بالا ذوب میشود، هیچگونه محدودیتی در اندازه آن وجود ندارد. ولی در کوره های القایی فرکانس شبکه شروع ذوب از حالت سرد باید با استفاده از بلوک های استارت باشد و ذوب پیوسته با نگه داشتن پای مذاب در کوره انجام میگردد.

ب) اثر تلاطم

جریانهای القا شده در فلز مذاب که در اثر جریان جاری در کویل ایجاد شده از نظر جهت با جریان پدید آورنده خود مخالفت میکند و لذا این مسئله سبب ایجاد تلاطم در فلز مذاب میشود. با افزایش فرکانس این تلاطم کم میشود. یعنی در کوره فرکانس شبکه تلاطم بالاست.

مزایای تلاطم

- داشتن دمای یکنواخت برای فلز مذاب
- داشتن کیفیت یکنواخت برای فلز مذاب در اثر اختلاط و نفوذ خیلی خوب مواد شارژ شده
- و ترکیب شیمیایی

معایب تلاطم

- آسیب رسیدن به نسور کوره
- سرریز شده مواد مذاب

۲-۴-۴ - بهبود راندمان حرارتی در بهره برداری

Tapping Temperature الف - کاهش

افزایش می یابد و تلف Tapping Temperature ظرفیت حرارتی فلز مذاب با افزایش حرارتی کوره نیز کاملاً با افزایش دمای مذاب افزایش خواهد یافت. ظرفیت حرارتی آهن خاکستری ۲۰ افزایش می یابد: 100 Kwh/Ton دما حدود 0°C با افزایش هر تلفات مربوط به هدایت و تشعشع با روابط زیر محاسبه میشود.

$$Q_c = \frac{T-t}{R} \times 10^{-3}$$

Q_c = Conduction Loss (kW)

T= cooling water Temp (k)

T=Molten Metal Temp (k)

R= Heat Resistance of furnace wall (KW/°K)

$$Q_R = 5/67 \times 10^{-3} \cdot A \cdot \epsilon \cdot (T/100)^4$$

Q_R = Radiation Loss (kW)

ϵ = Emissivity

A=Surface are of molten metal (m²)

از معادلات بالا مشخص میشود که تلفات هدایت و تشعشع برای کوره القایی فرکانس بالا با این ۵۰ و ۹۰۰ kw به ترتیب ۵۰۰ Hz و ۱۵۰۰ Hz برای فرکانس های ۰C (Tapping ظرفیت در دمای ۰C (Tapping ۱۰ برای هر دو کوره در دمای ۳۵kw بدست می آید که این تلفات به میزان kw را پایین نگه داریم لازم است که روی کم (Tapping ۱۴۰۰) کاهش می یابد. برای اینکه دمای نیز روی پیش گرم کردن کردن مسافت ها برای انتقال بوته یا پاتیل پوشاندن درب بوته یا پاتیل و بوته اقدام اساسی به عمل آید.

ب – در پوش کوره حتی الامکان بایستی کمتر باز شود

همانطور که از رابطه ذکر شده پیداست تلف تشعشع از سطح مذاب کوره متناسب با توان ۶۰-۷۰ میشود. ۱۵۰۰ KW/m² حدود ۰C چهارم دماست این تلفات در دمای

صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

در بهره‌برداری از کوره‌ها خصوصاً کوره‌های کوچک درپوش کوره گاهی اوقات در اثر بی‌دقتی باز میماند. آموزش پرسنل و نیز تمهیدات لازم برای شارژ سریع کوره و انجام آنالیزهای سریع روی مذاب می‌تواند در اجتناب از این تلفات موثر باشد.

ج – نگهداری مذاب در دماهای پایین در مدت زمان کوتاه

نگهداری مذاب در زمانهایی که مورد نیاز است بایستی در دماهای پایین صورت گیرد و برای این کار می‌توان تغذیه کوره را کم کرده یا در پایین‌ترین حد خود نگه داشت. در زمانی که نیاز به مذاب وجود دارد دو باره میتوان توان اعمالی را برقرار نمود.

د – تمیز کردن خاک و شن و رنک و روغن و سایر آلاینده‌ها

(که به قراضه چسبیده اند سبب تشکیل سرباره در مذاب میشوند. FeO, Fe_2O_3 شن و زنگ) $1500^{\circ}C$ در دمای Kwh/ton سرباره به میزان ۱٪ در ذوب ۳ تن آهن تلف انرژی به میزان دارد.

ه – بهره‌برداری از کوره در توان ثابت نامی

افزایش توان ورودی سبب بهبود راندمان حرارتی کوره میشود. بهره‌برداری از حداکثر ظرفیت کوره و کاهش حداکثر در نرخ توان مصرفی زمان تحقق مییابد که بهره‌برداری از کوره در توان ثابت نامی صورت می‌گیرد.

و – مواد اولیه در شروع ذوب

مواد اولیه بایستی تا حد امکان مترکم شارژ شوند. بهتر است که در ابتدا قراضه های برگشتی را بدلیل داشتن نقطه ذوب پایین و ذوب سریع شارژ نماییم که بدین ترتیب ضریب بار بهبود پیدا کند.

ز – شارژ کردن مواد اضافی

پس از شروع به ذوب شدن اولین شارژ مواد سرد اضافی بایستی بطور متوالی بداخل کوره شارژ شوند. هر شارژی باید ۱۰٪ از حجم بوتله را بخود اختصاص دهد. براده های حاصل از ماشین کاری یا سایر موارد ریز که دانسیته کمی دارند نمی توانند بطور کارا گرم شوند بنابراین هنگام شارژ کردن آنها بایستی آنها را به داخل مذاب تولید شده در داخل کوره شارژ نمود و برای اختلاط آنها با مذاب از خاصیت تلاطم مذاب استفاده نمود.

ح – ذوب کردن با پای مذاب

در صورت کوره های فرکانس پایین، ذوب کردن با پای مذاب امری است اجتناب ناپذیر چون در غیر انصورت مشکل ضریب بار برای کوره پیش می آید. ذوب کردن با در این کوره ها توان نامی برای بیش از ۵۰٪ از پای مذاب به کوره اعمال میشود. پای مذاب برای کوره های القایی فرکانس بالا لازم نیست هر چند داشتن پای مذاب در این کوره ها نیز می تواند سبب ۵-۱۰ درصد بهبود در ضریب بار شده و ظرفیت ذوب دهی را نسبت به حالت بدون پای مذاب افزایش دهد.

ط - حفظ ضخامت (قطر داخلی) کوره

زمانی می‌توان نامی را به کوره اعمال نمود که ضخامت نسوز کوره در حد نرمال باشد. در صورت کم شدن ضخامت نسوز کوره در اثر فرسایش یا هر دلیل دیگری توان اعمالی از حد نامی خود بایستی پایین تر آورده شود. یکی از دلایل کاهش ضخامت نسوز کوره وجود سرباره در مذاب است.

بنابراین در صورت کم شدن ضخامت نسوز بایستی نسبت به تعمیر آن اقدام شود تا بتوان توان را در حد نامی به کوره اعمال نموده و از افت راندمان حرارتی جلوگیری نمود.

ی - پیش گرم نمودن مواد

۱۱۵۰⁰C مقدار حرارتی که لازم است تا چدن در فرآیند ذوب شدن به دمای ذوب خود(حدود Tapping ۲۰) تا دمای ۰⁰C برسد، ۶۵٪ کل حرارتی است که لازم است چدن را از دمای محیط (۶۰۰-۵۰۰ با یک روش ۱۵۰۰⁰C) برساند. بنابراین از طریق پیش گرم نمودن مواد تا دمای ۰⁰C کارا تر از کوره القایی می‌توان صرفه جویی قابل توجهی را در مصرف توان الکتریکی سبب شد.

اثرات پیش گرم کردن

- کاهش نرخ مصرف توان به میزان حدود ۲۵٪

- افزایش ظرفیت ذوب دهی تا حدود ۲۷٪

در این کوره های پیش گرم شاید به نظر چنین بر بیاید که این کوره سبب اکسیداسیون اضافی در فرآیند پیش گرم شدن نموده و این مسئله باعث تلفات مواد میگردد.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۶۰۰ و نیز جدا بودن محفظه 0C لیکن بدلیل اکسیداسیون خیلی کم فولاد در دمای پایین تر از ۶۰۰ با مواد از اثر این اکسیداسیون می 0C احتراق و محفظه پیش گرم و عدم تماس مستقیم هوای توان صرفنظر نمود.

۳- سیستم‌های محرکه

معمولاً سیستم‌های مدرن راه‌اندازی و کنترل را سیستم‌های محرکه می‌گویند که به روش و کنترل توان خروجی و کار موتور و هر نوع کوپلینگ قدرت همراه آن اشاره می‌کند. اساساً سه روش برای اصلاح بازده انرژی با تعویض موتور و سیستم‌های محرکه وجود دارد.

۱- موتورهای با بازده بالا، این نام کلی موتورهای الکتریکی است که برای تقلیل تلفات موتور طراحی شده‌اند.

۲- کنترل‌کننده‌های موتور: برخی اوقات بعنوان کنترل‌کننده‌های ولتاژ یا راه‌انداز ملایم (Soft starter) دارای راندمان انرژی بالا شناخته شده‌اند.

اینها ولتاژی را که به ترمینال‌های موتور می‌آید پیوسته طوری تنظیم می‌نمایند که دقیقاً برای بار موتور کافی باشد. بنابراین تلفات آهنی مربوط به ولتاژ به حداقل می‌رسند. معمولاً کنترل‌کننده‌های موتور از یک وسیله راه‌اندازی ملایم تشکیل شده است. این وسیله شدت جریان حداکثر را در زمان راه‌اندازی موتور کاهش می‌دهد.

۳- سیستم‌های با دور متغیر که به طور گسترده در سه طبقه‌بندی قرار می‌گیرند. هدف، تنظیم سرعت بار مطابق برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد. این سیستم‌ها از موارد زیر تشکیل شده‌اند:

محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی: که به (Variable Speed Drive) VSD معروف‌اند و انواع مختلفی دارند و تطبیق الکترونیکی سرعت موتور و برق ورودی به آن را تا حد نیاز بار بعهده دارند. بنابراین تلفات آهن و سایر تلفات تا حداقل مقدارشان کاهش می‌یابند.

موتورهای با دور متغیر: شامل موتورهای دور متغیر مرسوم، و موتورهای دو سرعت و نیز شامل موتورهای جدید می‌شوند. این موتورها از قابلیت مدرن کنترل الکترونیکی برای گسترش کاربرد

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

موتورهائی که قبلاً توسط کنترل کننده‌های مرسوم الکترومکانیکی کنترل می‌شدند استفاده می‌کند.

محركه‌های الکترومکانیکی: موتورهای دور ثابت را با کنترل های مکانیکی یا الکترومکانیکی جهت تغییر سرعت سیستم بکار می‌برند.

کنترل کننده‌های موتور VSD ها جایگزین راه‌اندازی‌های مرسوم الکترومکانیکی موتورها می‌شوند. و عمدتاً با قرار گرفتن در مجاورت این موتورها از لحاظ فیزیکی می‌توانند بزرگتر از راه‌اندازهای باشند که جایگزین آنها می‌شوند اما معمولاً بازبینی و تعویض آنها آسان است.

۳-۱- موتوره‌ای با راندمان بالا

وقتی که موتوری برای تولید گشتاور نسبتاً ثابت و مداومی لازم است، معیار عمده انتخاب آن راندمان بار نامی آن است. اگر زمان کارکرد (duty cycle) بالا باشد در این صورت موتوره‌ای با بالاترین راندمان، کمترین هزینه کارکرد را خواهند داشت.

موتوره‌ای القائی با راندمان بالا، در مقایسه با موتوره‌ای استاندارد مشابه میزان برق کمتری مصرف می‌کنند. معمولاً در ساخت این موتورها از همان موادی که موتوره‌ای

صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

استاندارد دارند استفاده می‌کنند، لیکن آهن بیشتری در ساخت آن‌ها بکار رفته و در برخی موارد ورقه‌های فولادی بکار رفته در آنها کیفیت بهتری دارند، چهار مورد اصلاحات زیر می‌تواند در راستای افزایش راندمان موتور در محدوده فعالیت آنها سودمند واقع شود.

- افزایش طول هسته ساخته شده از ورقه‌های فولادی با تلفات کم. اینها تراکم خطوط نیرو را کاهش می‌دهند و در نتیجه تلفات آهنی نیز کاهش می‌یابد.
- تلفات مسی با حداکثر بهره‌گیری از شیارها و انتخاب اندازه سیم‌های هادی در استاتور و روتور کاهش می‌یابد.
- تلفات متفرقه با انتخاب دقیق تعداد شیارها و شکل هندسی دندانه / شیار به حداقل می‌رسند.
- یک موتور با راندمان بالاتر حرارت کمتری تولید می‌کند بنابراین می‌توان اندازه فن خنک کننده را کوچک‌تر گرفت که به نوبه خود منجر به تلفات کم سیم‌پیچی شده و در نتیجه قدرت تلف شده نیز کاهش می‌یابد.

شکل ۱ راندمان موتورهای استاندارد را با راندمان موتورهای با راندمان بالا مقایسه می‌کند.

اندازه‌گیری‌های موتورهای با راندمان بالا

در طی یک آزمایش دانشگاهی سه موتور با راندمان انرژی بالا مورد آزمایش قرار گرفته و کارآئی آنها را با سه موتور القائی استاندارد مقایسه گردید. موتورهای مورد امتحان قدرت اسمی ۳، ۷/۵ و ۲۲ کیلووات داشتند. در شکل ۲ نمونه داده‌های مربوط به موتورهای ۷/۵ کیلوواتی نشان داده شده است.

برای موتور با راندمان بالا در سرتاسر تمام محدوده کاری هم راندمان و هم ضریب قدرت برتر و بهتر است. این آزمایش گواهی‌های آزمون مشخصات سازنده موتور را تأیید و تصدیق نمود.

در بار کامل این صرفه‌جویی‌ها برای موتور ۳ کیلوواتی ۳/۳٪، برای موتور ۷/۵ کیلوواتی ۶٪ و برای موتور ۲۲ کیلوواتی ۴/۵٪ بوده همچنین صرفه‌جویی‌های حاصله توسط سه موتور با راندمان

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

بالا در (شکل ۳) نشان می‌دهد که میزان صرفه‌جویی‌ها در بارگذاری‌های مختلف در موتورهای ۷/۵ و ۲۲ کیلوواتی متغیر بود لیکن در موتور ۳ کیلوواتی تقریباً ثابت باقی ماند.

شکل ۴ مصرف قدرت راکتیو موتورهای ۷/۵ کیلوواتی را نشان می‌دهد. دیگر بار، برتری موتور "با راندمان بالا" آشکار است. تنها موردی که در آن توان راکتیو جهت طراحی راندمان بالا بیش از موتور استاندارد معادل آن بود، مربوط به وقتی است که موتور ۳ کیلوواتی در بارهای بالا کار می‌کند، این امر در اطلاعات مندرج در گواهی‌های آزمون تولید کننده نیز ذکر شده بود.

بنابراین وقتی یک موتور جدید و یا جایگزین مورد نیاز است، موتورهای با بازده بالا بی‌نهایت جالب هستند. صرف کاهش هزینه انرژی، در شرایط فعلی، جایگزینی موتورهای موجود با موتورهای دارای راندمان بالا را توجیه نمی‌کند. قیمت موتور کامل به علاوه هزینه نصب آن، به قدری است که برای برگرداندن هزینه بیش از دو سال وقت لازم است. حتی اگر موتور به طور مداوم کار کند. تعدادی از تولید کنندگان، موتورهای "با راندمان بالا" را عرضه می‌کنند با وجود این لزوماً بازاریابی آنها تحت این عنوان صورت نمی‌گیرد در هنگام انتخاب یک موتور جدید دانستن جزئیات فنی درباره کارایی کارائی موتور در سرتاسر

صرفه جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

طیف بار کامل مهم است. اهمیت این امر از این روی است که موتورها به طور میانگین با ظرفیت ۶۰٪ و ۸۰٪ بار اسمی شان کار می‌کنند.

۳-۲- کنترل کننده‌های موتور

در برخی از موارد کاربرد لازم است که موتوری بمدت زیادی در بارهای کم کار کند، مثلاً در نقاله‌ها، راهروهای متحرک پرسکاری‌ها و غیره. تحت چنین شرایطی راندمان موتور افت می‌کند چون تلفات آهنی مربوط به ولتاژ زیاد می‌شوند. برخی اوقات کنترل کننده موتور که به کنترل کننده ولتاژ معروف است، افت راندمان موتور را کاهش می‌دهد. این عمل وقتی رخ می‌دهد که بار زیر ۵۰٪ مقدار اسمی باشد با تنظیم ولتاژ سر ترمینال‌های موتور کاری می‌کنند که درست نیروهای مغناطیس کننده کافی را برای فائق آمدن بر تقاضای بار لازم، تولید کند. بنابراین مطابق با آن کاهشی در تلفات آهنی بدست می‌آید و راندمان و ضریب قدرت اصلاح می‌شود.

بعلت افت ولتاژ در "تریستورهای" که در کنترل کننده‌های موتور بکار رفته است این کنترل کننده‌های موتور قدرت را جذب می‌کنند. این امر در بارهای بالا می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی شود و بنابراین شناخت "زمان کارکرد" برای انجام تجزیه و تحلیل کامل از هزینه و منافع اهمیت دارد.

معمولاً کنترل کننده‌های موتور دارای قابلیت‌های "راه‌اندازی نرم" می‌باشند که به طور تصاعدی در خلال دوره راه‌اندازی ولتاژ اعمال شده به ترمینال‌ها موتور را تنظیم و تعدیل می‌کند، بنابراین شدت جریان ناگهانی را به حداقل می‌رساند و کنترل کاملی را بر موتور اعمال می‌کند. همچنین راه‌اندازی نرم تنش‌های مکانیکی را در سیم‌پیچی‌های موتور و تجهیزات خارجی آن تقلیل می‌دهد.

۳-۲-۱- آزمون‌های کنترل کننده‌های موتور

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

تعدادی از کنترل کننده‌های موتور تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. مواردی از این داده‌های آزمون که انتخاب شده‌اند در شکل ۵ نشان داده شده است. شکل ۵ راندمان و ضریب قدرت را به تنهایی برای موتور ۷/۵ کیلوواتی استاندارد و با کنترل کننده مقایسه می‌کند. می‌توان دید که این کنترل کننده در بارهای کم موتور هم راندمان و هم ضریب قدرت را اصلاح می‌کند. دو مدل دیگر کنترل کننده نیز به این موتور متصل شدند. مدل Unsworth به طریقی مشابه با مدل Fair ford عمل کرد، در حالیکه نوع Condor NASA بخاطر تنزل کم ولتاژ در بارهای کم صرفه‌جویی‌های کمتری ارائه نمود. تفاوت کمی از لحاظ صرفه‌جویی‌های برق قدرت راکتیو بین انواع کنترل کننده‌ها وجود داشت. (شکل ۶) در شکل ۷ صرفه‌جویی انرژی حاصله از یک موتور ۳ کیلو وات، ۷/۵ کیلووات، و ۲۲ کیلووات، همراه با یک کنترل کننده موتور نشان داده شده است. که منافع حاصله در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

تمام موتورها و ترکیبات موتور / کنترل کننده قابلیت تحویل قدرت خروجی اسمی را داشتند.

۳-۲-۲-آزمون‌های بار دوره‌ای

همچنین طی آزمایشی درباره عملکرد دوره‌ای موتورهای استاندارد با کنترل‌کننده‌ها و بدون کنترل‌کننده‌ها کار تحقیقاتی انجام شد. جدول ۱ صرفه‌جویی‌های انرژی حاصله را بر حسب KWH و KVAR نشان می‌دهد.

دو نوع از طرز بارگذاری یعنی زمان‌های کارکرد (duty cycles) مورد بررسی قرار گرفتند:

• زمان کارکرد ۱:۲ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۱۰ دقیقه در بار ۱۰٪، با ۵ مرتبه تکرار.

• زمان کارکرد ۲:۱۰ دقیقه در بار ۱۰۰٪، ۵۰ دقیقه در بار ۱۰٪.

صرفه‌جویی‌های قدرت راکتیو (جدول ۱) به طور مهم و معنی‌داری بالاتر از صرفه‌جویی‌های

بدست آمده جهت توان حقیقی بوده، که اصلاح ضریب قدرت را نشان می‌دهد که خود حاصل

بهبود تطابق بار است در مورد موتور ۳ کیلوواتی صرفه‌جویی در توان حقیقی نیز مهم بود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

KVAr, Kwh جدول ۱- نتایج دوره‌ای بار که نشان دهنده میزان صرفه‌جویی

هنگام استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است

کنترل کننده	زمان کار کرد Duty cycle	اندازه موتور (kw)	صرفه جوئی‌ها در موتورهای فاقد کنترل کننده			
			Kwh	%	KVAr	%
Fairford	۱	۳	۰/۱۷	۱۶/۲	۱/۲۶	۴۲/۶
FEL/E۴	۲		۰/۱۸	۱۶/۵	۱/۲۷	۴۲/۹
Fairford	۱	۷/۵	۰/۲۱	۶/۵	۱/۰۲	۱۵/۹
FEL/E۷/۵	۲		۰/۱۰	۳/۲	۰/۹۹	۱۵/۸
AECON	۱	۷/۵	۰/۲۴	۷/۴	۱/۹۸	۳۰/۹
AOPC ۱۰	۲		۰/۱۴	۴/۴	۱/۷۸	۲۸/۴
Fairford	۱	۲۲	۰/۳۸	۵/۰	۵/۱۳	۳۳/۰
FEL/E ۲۲	۲		۰/۴۵	۵/۹	۵/۸۲	۳۶/۹

وقتی که موتوری دارای زمان کارکرد بالا است (یعنی وقتی که در اکثر زمانها با بار کامل یا نزدیک آن کار می‌کند) استفاده از یک موتور با بازده بالا توصیه می‌شود. بهر حال، احتمال دارد که وقتی نیاز به جایگزینی و تعویض موتور باشد این کار بیش از هر کار دیگر بر هزینه‌ها تاثیر بگذارد. همیشه برای یک سیستم جدید، موتوری با راندمان بالا را بایستی مورد ملاحظه قرار داد.

صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

اگر بار ثابت بوده و به میزان قابل توجهی کمتر از خروجی اسمی موتور باشد، موتور کوچکتر می‌تواند مناسب باشد. در این حالت یک موتور با راندمان بالا را باید در نظر آورد. در مواردیکه بار موتور تغییر می‌کند و مکرراً کمتر از ۵۰٪ بار اسمی است، اضافه کردن یک کنترل کننده موتور می‌تواند از لحاظ هزینه موثر باشد. باز اینکار موتور را قادر خواهد کرد که بار اسمی‌اش را که شاید در بخشی از زمان کارکرد لازم باشد، ارائه دهد.

۳-۳- سیستم‌های با سرعت متغیر

هدف همه سیستم‌های دور متغیر این است ماشین امکان کارکردن در سرعتی را که به سرعت مطلوب نزدیک‌تر است و با موتورهای دارای دور ثابت قابل دستیابی نیست، پیدا کند. سیستم‌های دور متغیر به سه دسته تقسیم می‌شوند؛ محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی (VSDها)، موتورهای دور متغیر و سیستم‌های دور متغیر الکترومکانیکی. هر یک از این موارد، تقسیمات فرعی نیز دارند. (شکل ۸)

سیستم‌های دور متغیر به دلایل صرفه‌جویی در انرژی نصب نشده‌اند بلکه برای رفع حواجی فرآیند یا نیازهای محیطی بکار گرفته شدند. در نتیجه، درجه پیچیدگی آنها متناسب با شرایط فرآیند تعیین می‌شد و معمولاً مستلزم آن بود که سرعت ویژه مورد نیاز از قبل انتخاب شده و از میان طیف موجود با دست کنترل می‌شد.

امروزه مواردی اختیاری زیادی وجود دارد و به کمک الکترونیک مدرن با هزینه بالای برق تغییراتی در موارد انتخاب وجود آمده است. اکنون به قیمت نسبتاً کمی می‌توان دور بمراتب و تغییرات ثابتی از سرعت رابدست آورد، که به طور عمده توسط درجه و قابلیت انعطاف لازمه سیستم تعیین می‌شود.

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

اکنون امکان بالقوه سیستم‌های متنوع با تأکیده‌های مخصوص بر آن دسته که جهت تعویض ادوات کهنه با ادوات جدید مفید است، ملاحظه می‌شود.

۳-۳-۱- محرکه‌های دور متغیر الکترونیکی (VSDها)

به طور کلی VSDها با تبدیل یک منبع برق غیرقابل تنظیم به منبع برق متغیر کار می‌کنند. معمولاً ادوات الکترونیکی ولتاژ اصلی جریان متناوب را تبدیل به ولتاژ متغیر جریان مستقیم می‌کنند که بعد معکوس شده و تبدیل به برق جریان متناوب با فرکانس متغیر و ولتاژ متغیر می‌شود (برخی از موتورهای جریان متناوب را می‌توان تنها با تغییر دادن ولتاژ کنترل نمود). برای اینکه یک VSD عمل نماید، باید پس‌خوران^۷ از یک پارامتر اندازه‌گیری شده به درون مدار کنترل VSD وارد شود. این پارامتر می‌تواند هر متغیر مهمی باشد به شرط آنکه^۸ حسگری موجود باشد تا نسبت به این تغییرات واکنش نشان دهد. مثلاً VSDها می‌توانند از نظر فشار، درجه حرارت، سرعت، میزان و مقدار جریان حجمی، قدرت، یا ترکیبی از اینها مورد کنترل قرار گیرند. انتخاب هر کدام از این عوامل بستگی به منطق کنترل VSDها دارد.

^۷ - feedback

^۸ - Sensor

صرفه‌جویی و مدیریت انرژی در سیستم‌های الکتریکی

شکل ۹ یک مورد کاربردی VSD که در آن سرعت پمپ جهت ثابت نگهداشتن فشار تخلیه صرف‌نظر از مقدار تقاضای مصرف‌کننده تغییر می‌کند، را نشان می‌دهد. برخی از آخرین تجهیزات از منطق قابل برنامه‌ریزی مصرف‌کننده و یا نرم‌افزار پیچیده استفاده می‌کنند که مدل‌های غامض ریاضی را قادر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا سایر فاکتورهای مهم می‌نمایند.

VSD ها علی‌الخصوص در مواردی جالب است که مدولاسیون جریان لازم باشد. مثال‌های آن شامل پمپ‌ها، بادبزن‌ها، کمپرسورهای هوا و تبرید است. کاربرد VSD ها همچنین در مواردی است که در سرتاسر یک محدوده سرعت، توان یا گشتاور ثابتی لازم باشد.

۳-۲-۳- موتورها مناسب برای کنترل "VSD" ها

نوع VSD را که می‌توان مورد استفاده قرار داد به نوع موتور نصب شده بستگی دارد. دو نوع اصلی در موتورهای جریان متناوب وجود دارند، موتورهای آسنکرون و سنکرون. هر دوی این موتورها را می‌توان با VSD های الکترونیکی کنترل نمود. معیارهای عمده در ارزیابی مفید بودن یک موتور جهت VSD عبارتند از: موتور در کاربرد کنونی‌اش بیش از اندازه گرم نمی‌شود زیرا تهویه هوای درون آن در سرعت‌ها و دورهای پائین‌تر نقصان یافته و حرارت بیشتری در نتیجه نصب یک VSD در موتور ایجاد می‌شود؛ اگر افزایش در مقدار دور یا سرعت پیش‌بینی می‌شود، موتور و قطعات متحرک آن از قبیل قرقره‌ها، تسمه‌ها، چرخ‌دنده‌ها و غیره بایستی تحمل نیروهای گریز از مرکز زیاد حاصل از سرعت‌های دورانی بالا را داشته باشند؛ همچنین ممکن است در سرعت‌های بالاتر (بارگذاری) بار موتور افزایش یافته و حداکثر سرعت ممکنه را محدود کند (وقتی که در وهله اول سرعت افزایش می‌یابد این امر بایستی به دقت بررسی و ثبت گردد).

۳-۳-۳- انواع محرکه‌های دور متغیر جریان متناوب

مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

اساساً سه نوع "اینورتر" (معکوس کننده جریان) وجود دارد که عبارتند از:

- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع ولتاژ با تلفیق پهنای پالس

- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای

- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع شدت جریان ۶ مرحله‌ای

تمام اینها را می‌توان در موتورهای موجود نصب کرد، لیکن علی‌الخصوص در مورد معکوس

کننده‌های ۶ مرحله‌ای مقداری خروج از (بار یا توان اسمی) برای موتور لازم است (حداکثر تا ۱۰٪).

۳-۳-۱- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع ولتاژ با تلفیق پهنای پالس

معکوس کننده‌های ولتاژ PWM امکان کنترل و پائین آمدن سرعت را تا حد صفر و بالا بردن

سرعت را تا سه / چهار برابر سرعت عادی سنکرون فراهم می‌کنند. ضریب قدرت شدت جریان برق

معمولاً زیاد است و نسبتاً در تمام محدوده سرعت ثابت می‌باشد. چون شکل "موج خروجی" نزدیک

به "موج سینوسی خالص" است، بخاطر (موج‌های) هارمونیک چند مسئله معدودی درباره این

موتور وجود دارد. امروزه این آشناترین فرم VSD شده است.

مزایا

- بازدهی بالا
- کنترل خوب در محدوده سرعت از جمله سرعت‌های پائین
- ضریب قدرت بالا
- (موج‌های) هارمونیک فرکانس پائین مشکلی ایجاد نمی‌کنند
- کار با چند موتور امکان پذیر است
- حداکثر ولتاژ خروجی برابر ولتاژ خط است
- حوزه نوآوری بالا مثلاً، محرکه‌های برداری
- می‌توان در صورت نقص VSD وسیله‌ای فرعی را (از پیش) تعبیه کرد.

معایب

- موج‌های هارمونیک فرکانس بالا می‌تواند در این ماشین‌ها باعث سر و صدا شوند. (این نکته را از تولید کننده بپرسید).
- ادوات الکترونیکی پیچیده فرکانس بالا در هنگام وصل کردن می‌تواند قابلیت اعتماد آن‌ها را تحت تاثیر قرار دهد.

۳-۳-۲- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای

معکوس کننده‌های منبع ولتاژ ۶ مرحله‌ای به خوبی تأیید شده‌اند و برای سرعت‌های بین یک و دو برابر سرعت‌هایی که صرفاً و به تنهایی از فرکانس استاندارد برق اصلی بکار افتاده‌اند مورد استفاده واقع می‌شوند. بهر حال وقتی که سرعت موتور کاهش یابد ضریب قدرت نیز به تبع آن کاهش می‌یابد. شکل موجی جریان متناوب با فرکانس متغیر تولید شده، از شبیه‌سازی پلکانی ۶ مرحله‌ای ولتاژ حاصل می‌شود.

مزایا

- بازدهی بالا
- کار با چند موتور
- نوع معکوس کننده (اینورتر) کاملاً مورد تایید است.
- در مواقع نقص VSD می توان از ادوات فرعی استفاده کرد.

معایب

- می تواند ضریب قدرت کمی داشته باشد.
- می تواند گشت آورهای ضربه ای را در فرکانس های پائین به "روتور" وارد کند.
- کارآئی ضعیف در سرعت پائین

۳-۳-۳-۳- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع شدت جریان ۶ مرحله ای

معکوس کننده ها یا "اینورترهای" منبع جریان ۶ مرحله ای بر اساس اصول ۶ مرحله ای که به شدت جریان اعمال می شود بکار می افتند. معمولاً محدوده سرعت به ۲۰٪-۱۰۰٪ سرعت حاصله از فرکانس برق اصلی محدود می شود. وقتی که این نوع کنترل کننده را به یک موتور موجود اعمال می کنند لازم است که بخاطر موج های هارمونیک و ولتاژهای بیش از حد و گذرا احتیاط کنند. شدت جریان های خط که وارد موتور می شوند حاوی موج های هارمونیک هستند که مخصوصاً در سرعت های کم ممکن است حرارت تولید کنند و بنابراین لازم است آن را از میزان بار اسمی خارج کنیم. بیش از حد شاید به عایق

فروسوده "استاتور" فشار آورد که در آن حالت بایستی شبکه‌های مناسبی برای پراکنده‌سازی موج‌های ضربه‌ای نصب گردد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰٪ سرعت‌هایی که توسط فرکانس برق اصلی ایجاد می‌شود، با ضریب قدرت موتور ضعیف است.

مزایا

- نیرومندی الکتریکی
- نوع خوب تأیید شده "اینورتر" (معکوس کننده)
- مدار ساده
- ترمز تجدید شونده (باز یافتنی)
- وقتی VSD دچار نقص شود می‌توان از ادوات فرعی استفاده نمود (bypass)

معایب

- ایجاد پالس‌ها و ضربه‌های مربوط به گشت‌آور در سرعت‌های پائین
- گشتاور کم در حال راه‌اندازی
- ضریب قدرت کم
- کنترل چند ماشینی آنقدر هم آسان نیست.
- پاسخ بازتاب ملایم
- برای اجتناب از حداکثر ولتاژ، تطابق دقیق موتور و محرک ضروری است.

۳-۳-۴- انتخاب "اینورتر" یا معکوس کننده

نوع محرک دور متغیر انتخاب شده، خواه موتور آسنکرون باشد یا سنکرون، بایستی با موتور هماهنگ باشد. انتخاب VSD مناسب به عوامل زیادی بستگی دارد. انتخاب مقدماتی را می‌توان با توجه به مزایای نسبی فوق‌الذکر انجام داد. ممکن است قابلیت تعویض محرک (با ادوات جدید) اهمیت داشته باشد، همانطور که کارهای

چند موتور این طور است. اگر کارائی در سرعت پایین مهم است، برخی از "اینورتر" (معکوس کننده‌ها) را بایستی از دور خارج کرد.

ثانیاً بایستی با تهیه کنندگان تماس گرفته و قیمت‌ها را مقایسه کرد. بایستی از تهیه کنندگان خواست که هر تأسیساتی از تجهیزاتشان را که مشابه تأسیسات خواسته شده است تعیین کنند، قاعده‌تاً ابتدا بایستی بر روی تهیه کنندگانی متمرکز گردید که در محدوده‌ای از انواع VSD کار می‌کنند.

پیشگفتار

انرژی الکتریکی یکی از حاملهای با ارزش انرژی بوده و از آن برای به حرکت در آوردن بارهای مکانیکی، تولید روشنایی و گرما و تولید حاملهای با ارزش دیگر مانند هوای فشرده استفاده می‌شود. از مزایای این حامل می‌توان به پاکیزه بودن آن و انتقال آسان آن اشاره نمود.

اگر این حامل انرژی را در یک زنجیره‌ای از تولید تا مصرف نهایی در نظر بگیریم در گذر از هر مرحله از این زنجیره خواه ناخواه تلفاتی از این انرژی را خواهیم داشت. بطور کلی تبدیل انرژی فسیلی به انرژی الکتریکی، در نیروگاهها با یک راندمان خاص که با توجه به نوع تکنولوژی نیروگاه متفاوت است صورت می‌گیرد و در کنار تولید انرژی الکتریکی حجم قابل توجهی از آلاینده‌های هوا نیز منتشر می‌شود.

در سیستم انتقال و توزیع نیز بدلیل مقاومت خطوط و مبدلها همواره تلفاتی را خواهیم داشت. در مصرف کننده نهایی هم در اثر یک راندمان تبدیل دوباره بخشی از انرژی تلف شده و بقیه به انرژی مفید تبدیل می‌شود. بنابراین در این زنجیره قسمت قابل توجهی از حامل انرژی اولیه (انرژی فسیلی) و نیز بخشی از حامل انرژی ثانویه (انرژی الکتریکی) تلف می‌گردد.

بنابراین صرفه‌جویی یک واحد انرژی الکتریکی در مصرف کنندگان نهایی علاوه بر صرفه‌جویی انرژی مفید حذف تلفات در نقاط مختلف این زنجیره را نیز برای آن واحد انرژی به دنبال خواهد داشت.

از طرف دیگر کاهش این تلفات به منزله کاهش اثرات مخرب زیست محیطی روی هوا و آب و خاک است.

اگر از دیدگاه مدیریت سمت تقاضا به مسئله بنگریم اعمال مدیریت صحیح در مصرف این انرژی می‌تواند از سیر فزاینده سرمایه‌گذاری در بخش نیروگاهی جهت احداث نیروگاههای جدید و در بخش پالایش جهت احداث پالایشگاهها برای خوراک دهی به بخش نیروگاهی بکاهد.

افزایش قیمت انرژی الکتریکی عرضه شده از سوی شرکت‌های برق منطقه‌ای نیز یکی دیگر از عواملی است که انگیزه در جهت صرفه‌جویی انرژی الکتریکی را افزایش می‌دهد.

مرجع حاضر جامع‌ترین مرجعی است که در ارتباط با روش‌های کاهش مصرف و هزینه انرژی الکتریکی تهیه گردیده است.

در این مرجع به تفصیل پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی الکتریکی در مصرف‌کنندگان نهایی مانند الکتروموتورها، کمپرسورها، فن‌ها و پمپ‌ها، کوره‌های القایی، روشنایی، سیستم‌های تهویه مطبوع معرفی گردیده و روشهای مختلف کاهش هزینه و کنترل تقاضای توان آمیخته با تجربیات حاصل از انجام چندین ممیزی در صنایع مختلف توسط گروه مؤلف ارائه گردیده است.

در کنار مسائل مربوط به صرفه‌جویی انرژی به مطالب جدیدی مانند پارامترهای انرژی الکتریکی و کیفیت توان که هم‌اکنون در کشور زمینه‌های مطالعاتی بسیاری یافته نیز پرداخته شده است که این مفاهیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

گروه مؤلف این کتاب هر چند زحمت زیادی در تهیه آن متحمل شده‌اند لیکن بر این عقیده هستند که ذهن بیدار و منتقد خواننده حتماً به کاستی‌هایی در متن برخورد خواهد نمود. نظر به اینکه تنها اهداف ملی و رشد شکوفائی صنایع و زمینه‌سازی برای بهره‌وری بیشتر از سرمایه‌ها و ذخایر ارزشمند کشور در تهیه این مرجع مد نظر بوده، از خوانندگان محترمی که این گروه را در رفع کاستی‌ها و شناسایی خلاءهای متن حاضر و بهبود کیفی و کمی آن یاری دهند کمال سپاسگزاری را به عمل می‌آورند.

گروه مؤلف

مراجع و منابع

الف – مراجع خارجی

- 1- Ontario Power generation - Fans Reference Guide
– 4th edition-2001
- 2- Ontario Power generation – Pumps Reference Guide
– 3rd edition-2001
- 3-Moncef Krarti - Energy Auditing of Building Systems
(An Engineering Approach) – CRC press-2000
- 4- Donald R.Wulfinghoff- Energy Efficiency Manual
– Energy Institute Press, 1999
- 5- A.J.Pansini, K.D.smalling- Guide to Electric Load Management
– PennWell, 1998**
- 6- Energy Star Buildings Manual- EPA, 1998
- 7- Data Book on Energy Conservation for Electric Energy
Management – UN_ESCAP, 1998
- 8-Technical Cooperation on Analysis of Energy Conservation and
Rational Use of Energy in the Social and Economic Sectors of
the IRI- Final Report- (IV) Guideline- ECCJ, IEEJ, 1997
- 9- Performance of Electrical Equipment- Ministry of Energy, IRAN,
1997
- 10- T.D.Eastop, D.R.Croft- Energy Efficiency for Engineers and
Technologists – Addison Wesley Longman, 1996
- 11- Wayne C.Turner- Energy Management Hand Book
– 3rd Edition, The Fairmont press,Inc. 1996

- 12-Good Practice Guide2 - Guidance Notes for Reducing Energy Consumption Costs of Electric Motor and Drive Systems- Energy Efficiency Office-UK, 1994
- 13-Giovannia Petrecca – Industrial Energy Management – Kluwer Academic Publishers-1993
- 14- I.J.Nagrath, D.P.Kothari- Electric Machines– McGraw Hill, 1990
- 15-L.C.Witte, P.S.Schmidt, D.R.Brown- Industrial Energy Management and Utilization – Hemisphere Publishing Corporation, 1988
- 16- T.Gonen- Electric Power Distribution System Engineering – McGraw Hill, 1987

ب - مراجع فارسی

- ۱- گزارش پروژه های ممیزی انرژی - سازمان بهره وری انرژی ایران، ۱۳۸۳-۱۳۷۷
- ۲- دکتر حسن کلهر ، مهندسی روشنایی - چاپ سیزدهم ، ۱۳۸۱
- ۳- استاندارد صنعت برق ایران - مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق)- قسمت دوم ، ۱۳۸۱
- ۴- نادر گلستانی داریانی، مدیریت مصرف برق - انتشارات امیرکبیر، ۱۳۸۰
- ۵- Pericles Emanuel، ترجمه دکتر مهرداد عابدی، مبانی ماشینهای الکتریکی - انتشارات امیرکبیر، ۱۳۸۰
- ۶- دکتر قدرت اله حیدری ، بررسی تلفات الکتریکی در شبکه برق رسانی - معاونت برنامه ریزی و تحقیقات، ۱۳۷۸
- ۷- کرگ بی. اسمیت، اصول مدیریت انرژی - سازمان بهره وری انرژی ایران ، ۱۳۷۶
- ۸- مصرف بهینه انرژی روشنایی در ساختمانهای بزرگ - CADDET ، ۱۳۷۶