سیستم های الکتریکی

« فهرست مطالب »

عنوان **صفحه**

فصل ۱ – روشهای مدیریت و صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی ۱

۱- ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی ۱

۱-۱– مقدمه ۱

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

۱-۳– ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور ۴

۲- اصول مدیریت بار ۷

۲-۱- انگیزه های مدیریت بار ۹

۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار ۱۰

۲-۳- پارامترهای لازم برای مدیریت بار ۱۲

۲-۳-۱-منحنی بار وتوزیع تداوم بار ۱۲

۲-۳-۲-ضریب تقاضا ۱۳

۲-۳-۳- ضریب بار ۱۴

۲-۳-۴-توان اکتیو و توان راکتیو ۱۵

۲-۳-۵- ضریب توان ۱۶

۲-۴- روشهای اندازه گیری قدرت و انرژی الکتریکی ۱۹

۲-۵- 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

۶-۲- ساختمان موتورهای القایی ۹۸

۶-۳- مشخصه‌های اسمی موتورهای القایی یا اسنکرون سه فاز ۱۰۱

۶-۴- لغزش ۱۰۲

عنوان

صفحه

۶-۵- منحنی « گشتاور – لغزش »..... ۱۰۳

۶-۶- رتورهای سیم پیچی شده ۱۰۴

۶-۷- تلفات در موتورهای القایی سه فاز ۱۰۵

۶-۸- تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه فاز ۱۰۷

۶-۹- آزمایش‌های مربوط به تعیین تلفات ۱۱۰

۶-۱۰ – روش راه‌اندازی موتورهای القایی سه فاز ۱۱۲

فصل ۲ – صرفه‌جوئی 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

۵ – اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده ۱۳۹

۵-۱- فیلترها ۱۳۹

۵-۲- تانک‌های هوای فشرده ۱۴۰

۵-۳- خشک‌کن‌ها ۱۴۱

۵-۴-Inter-Cooler ۱۴۳

عنوان

صفحه

۶ – توزیع هوای فشرده ۱۴۴

۷ – نشتی‌های هوا ۱۴۷

۸ – بهره‌برداری از هوای فشرده ۱۵۰

۹ – پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جوئی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده ۱۵۲

۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی ۱۵۳

۹-۲- کاهش فشار تخلیه ۱۵۵

۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا ۱۵۷

۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی ۱۵۹

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

۱۱ – بازیافت حرارت از کمپرسورها ۱۶۳

فصل ۳ – صرفه‌جوئی 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- صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در فن‌ها ۱۸۳

عنوان

صفحه

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 صرفه‌جوئی انرژی در پمپ‌ها ۲۱۴

فصل ۴ – صرفه‌جوئی 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

۱-۸- ترانسفورمرهای با راندمان بالا ۲۴۰

۱-۹- تلفات مختلف با تغییر تعداد ترانسفورمرها ۲۴۰

۱-۱۰- کنترل ترانسفورمرها باتعداد آنها ۲۴۱

۲ – بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی ۲۵۰

۲-۱- مقدمه ۲۵۰

۲-۲- چگونگی تولید نور ۲۵۱

۲-۳- تعریف ۲۵۱

۲-۴- انواع منابع روشنایی (لامپ)..... ۲۵۴

۲-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف ۲۵۹

۲-۶- بالاست‌ها ۲۵۹

۲-۷- چراغ‌ها ۲۶۱

۲-۸- کنترل‌های سیستم روشنایی ۲۶۲

۲-۹ – تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی ۲۶۳

۲-۱۰ – محاسبات اقتصادی روشنایی ۲۶۵

۲-۱۱- جانمایی مؤثر روشنایی ۲۶۷

۳ – بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های HVAC..... ۲۸۷

۳-۱- تعریف ۲۸۷

۳-۲- شرایط لازم برای آسایش و سلامت انسان ۲۸۷

۳-۳- معرفی سیستم‌های نمونه ۲۸۸

عنوان

صفحه

۳-۴- محاسبه بار سرمایش و گرمایش ساختمان ۲۹۳

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

۳-۶- فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در تهویه مطبوع ۳۰۱

فصل ۵ – مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی ۳۱۹

۱- هارمونیک‌ها ۳۱۹

۱-۱- مقدمه ۳۱۹

۱-۲- اثر هارمونیک‌ها روی تجهیزات برقی ۳۲۰

۱-۳- اثرات خازن‌ها بر روی میزان هارمونیک ۳۳۲

۲- بارهای مخصوص- کوره های القایی ۳۳۸

۲-۱- مشخصات کوره‌های القایی ۳۳۸

۲-۲- موازنه انرژی در کوره‌های القایی ۳۳۹

۲-۳- نرخ توان مصرفی ۳۴۰

۲-۴- راهکارهای صرفه‌جوئی انرژی در کوره‌های القایی ۳۴۰

۳- سیستمهای محرکه ۳۵۴

۳-۱- موتورهای با راندمان بالا ۳۵۵

۳-۲- کنترل کننده های موتور..... ۳۵۸

۳-۳- سیستمهای با سرعت متغیر..... ۳۶۲

« فهرست مطالب »

عنوان

صفحه

فصل ۱ – روشهای مدیریت و صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی ۱

فصل ۲ – صرفه‌جوئی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده ۱۲۵

فصل ۳ – صرفه‌جوئی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها ۱۷۷

فصل ۴ – صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه مطبـــوع ۲۳۵

فصل ۵ – مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی ۳۱۹

مراجع و منابع ۳۷۵

« فهرست جداول »

عنوان

صفحه

فصل ۱ – روش‌های مدیریت و صرفه‌جوئی 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 مقره 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 $COS\varphi_1$ به $COS\varphi_2$ ۹۴

جدول ۷ – مقادیر تقریبی قدرت خازن بر حسب کیلووار برای موتور و ترانسفورماتور..... ۹۶

فصل ۲ – صرفه‌جوئی انرژی در سیستم‌های تولید هوای فشرده

جدول ۱ – گستره‌های کاربرد برای انواع مختلف کمپرسورها ۱۳۲

جدول ۲ – درصد انرژی صرفه‌جوئی شده بر حسب درجه حرارت هوای ورودی در کمپرسورها ۱۶۵

جدول ۳ – تلف توان الکتریکی با توجه به سایز نشتی‌ها ۱۶۶

جدول ۴ – میزان هوای فشرده مورد نیاز با توجه به وجود نشتی‌ها ۱۶۶

عنوان

صفحه

فصل ۳ – صرفه‌جوئی 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 – صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه مطبوع

۱-بهینه‌سازی مصرف انرژی در ترانسفورماتورها

جدول ۱ – مشخصات ترانسفورماتورهای تکفاز و ۳ فاز برای ظرفیت های مختلف ۲۴۳

جدول ۲ – مشخصات ترانسفورماتورهای تک فاز 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 روشنائی

جدول ۱ – مقایسه بین لامپ‌های تنگستن – آرگون عادی و لامپ‌های فلوئورسنت 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 دهندهٔ میزان صرفه‌جوئی KWh، KVAR هنگام استفاده از کنترل کننده موتور در موتورهای استاندارد است ۳۶۱

« فهرست شکل‌ها »

عنوان

صفحه

فصل ۱ – روش‌های مدیریت و صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی

شکل ۱ – روشهای اصلاح منحنی بار ۱۱۵

شکل ۲ – اندازه‌گیری توان الکتریکی ۱۱۶

شکل ۳ – کمپانزاسیون اختصاصی ۱۱۷

شکل ۴ – کمپانزایسیون گروهی ۱۱۷

شکل ۵ – انواع کمپانزاسیون ۱۱۸

شکل ۶ – تعیین قدرت خازن مورد نیاز ۱۱۹

شکل ۷ – محاسبهٔ 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 موتورالقایی 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 راه انداز ستاره مثلث ۱۲۴

فصل ۲ – صرفه‌جوئی 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 (۳-۱- الف) – کمپرسور رفت و برگشتی تک مرحله‌ای ۱۶۹

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

شکل (۳-۲) – کمپرسور چرخان ۱۶۹

شکل (۳-۳) – کمپرسور اسکرو ۱۶۹

شکل (۳-۴) – کمپرسور دیافراگمی ۱۷۰

شکل (۳-۵) – توربو کمپرسور ۱۷۰

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

شکل ۴ – فرآیندهای تراکم ایزوترمال و آدیاباتیک و پلی تروپیک ۱۷۱

شکل ۵ – خشک کن تبریدی ۱۷۲

شکل ۶ – نموگرام تعیین اندازه سایز 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 – صرفه‌جوئی 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 سانتریفوژ 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 – پمپ های 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 دوبل ۲۲۲

شکل ۷- پمپ جریان مرکب ۲۲۳

شکل ۸ – پمپ جریان محوری..... ۲۲۳

شکل ۹ – گسترهٔ 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 بامشخصات 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 – صرفه‌جوئی انرژی در روشنائی، 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 مگاولت 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 هلاید ۲۷۷

شکل ۱۶ – تغییرات نور یک لامپ متال هلاید به تغییرات زوایه 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 نتیجهٔ کثیف شدن داخل بدنه چراغ در یک محیط اداری 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 سایکومتریک 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 هارمونیکی 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 صرفه‌جوئی در انرژی ناشی از کاربرد موتورهای آزمایش شده " با راندمان بالا "..... ۳۷۱

شکل ۴ – مصرف قدرت راکتیو در موتورهای استاندارد وموتورهای 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 صرفه‌جوئی 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 صرفه جویی

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 صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی ۱

۲- ضرورت مدیریت انرژی الکتریکی ۱

۱-۱– مقدمه ۱

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

۱-۳– ضرورت مدیریت مصرف برق در صنایع کشور ۴

۲- اصول مدیریت بار ۷

۲-۱- انگیزه های مدیریت بار.....۹

۲-۲- تکنیک‌های اجرای مدیریت بار.....۱۰

۲-۳- پارامترهای لازم برای مدیریت بار ۱۲

۲-۳-۱-منحنی بار وتوزیع تداوم بار.....۱۲

۲-۳-۲-ضریب تقاضا ۱۳

۲-۳-۳- ضریب بار ۱۴

۲-۳-۴-توان اکتیو و توان راکتیو ۱۵

۲-۳-۵- ضریب توان ۱۶

۲-۶- روشهای اندازه گیری قدرت و انرژی الکتریکی ۱۹

۲-۷- 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- 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 – صرفه‌جوئی 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

عنوان

صفحه

۴ – تولید هوای فشرده..... ۱۳۲

۵ – اجزای دیگر از سیستم هوای فشرده ۱۳۹

۵-۱- فیلترها ۱۳۹

۵-۲- تانک‌های هوای فشرده ۱۴۰

۵-۳- خشک‌کن‌ها ۱۴۱

۵-۴-Inter-Cooler..... ۱۴۳

۶ – توزیع هوای فشرده ۱۴۴

۷ – نشتی‌های هوا ۱۴۷

۸ – بهره‌برداری از هوای فشرده ۱۵۰

۹ – پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جوئی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده ۱۵۲

۹-۱- کاهش دمای هوای ورودی ۱۵۳

۹-۲- کاهش فشار تخلیه ۱۵۵

۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا ۱۵۷

۹-۴- سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی ۱۵۹

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

۱۱ – بازیافت حرارت از کمپرسورها ۱۶۳

فصل ۹ – صرفه‌جوئی 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- صرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئی انرژی در پمپ‌ها ۲۱۴

فصل ۱۰ – صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه مطبوع ۲۳۵

۱ – بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های روشنایی ۲۵۰

۱-۱- مقدمه ۲۵۰

۱-۲- چگونگی تولید نور ۲۵۱

۱-۳- تعریف ۲۵۱

عنوان

صفحه

۱-۴- انواع منابع روشنایی (لامپ) ۲۵۴

۱-۵- مقایسه خواص منابع نور مختلف ۲۵۹

۱-۶- بالاست‌ها ۲۵۹

۱-۷- چراغ‌ها ۲۶۱

۱-۸- کنترل‌های سیستم روشنایی ۲۶۲

۱-۹ – تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی ۲۶۳

۱-۱۰ – محاسبات اقتصادی روشنایی ۲۶۵

۱-۱۱- جانمایی مؤثر روشنایی ۲۶۷

فصل ۱۱ – مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی ۳۱۹

۱- سیستمهای محرکه ۳۵۴

۱-۱- موتورهای با راندمان بالا ۳۵۵

۱-۲- کنترل کننده های موتور ۳۵۸

۱-۳- سیستمهای با سرعت متغیر ۳۶۲

فصل ۱ – روشهای مدیریت و صرفه‌جوئی 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.

منافع ناشی از اقدامات صرفه‌جوئی 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 همینظور 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.

۱-۲- 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 صرفه‌جوئی در آن را اولویت ویژه می‌بخشد.

در زمینه عرضه نیروی برق تا به حال سیاست‌های توسعه‌ای اجرا شده ومسلماً 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 برق‌آبی 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

حذف مصارف غیر ضروری یا جابه جایی زمانی مصرف و ... که هم به سود مصرف کننده 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)، صرفه‌جوئی 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 مصرف کننده 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 کارآیی و ضریب اطمینان سیستم برق می‌باشد.

مدیریت مصرف برق در بلند مدت 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 رامی‌توان 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 الکتریسیته 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 گسترهٔ 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 کارآیی 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 الکتریسیته‌ای 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 مایکروویو یا دی الکتریک (که مستقیماً گرما را به جسم مورد نظر اعمال می‌کنند) بجای استفاده از روشهای دیگر گرمادهی است.

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 باعایق‌بندی 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 موقعیت‌هائی 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 راحذف 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 سرمایه گذاریهای 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 مزایا 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 شـده و در نهایـت انتشـار آلاینده‌های زیست محیطی کمتر می‌شود. آلودگی هوا ، سـلامتی جامعـه را تهدیـد 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
صرفه‌جوئی 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 (صرفه‌جوئی استرتژیک) با تغییر الگوی مصرف در بخشهای مختلف، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

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

در این حالت رشد تکنولوژی تجهیزات مصرف کننده‌های 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 مصرف کننده انرژی الکتریکی بعنوان یک روش مدیریت بار مطرح شده است. در این روش نیز قابلیت اعتماد در بهره‌برداری انرژی الکتریکی مصرف کننده توسط بکارگیری برخی از تجهیزات مدرن محدود می‌گردد، بطوری که میزان انرژی مصرف کننده توسط تولید کننده 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 کنندهٔ 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 دیماند در ساعات پیک و غیر پیک ، حداکثر و حداقل توان مصرفی با مشخص شدن زمان وقوع، پارامترهائی 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 توان 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
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

۰	۰	۰	۰
جمع	D_1	D_2	D_3

ديماند مورد نياز برابر است با بيشترين مقدار از بين D_3,D_2,D_1 $(D=D_{max})$

ديماند خريداري شده : (ديماند قراردادی با شركت برق)

ديماند مصرفی : (ديماند واقعی كه معمولاً متغير می‌باشد)

ديماند محاسباتی : (حداقل ۹۰ درصد ديماند خريداری شده)

۲-۳-۳-ضريب بار

ضريب بار پارامتر ديگری است كه توانائی كارخانه را برای استفاده مؤثر از الكتريسيته اندازه‌گيری می‌كند. در عمل اين ضريب، نسبت بار متوسط برای دوره زمانی داده شده به حداكثر باری كه در خلال همان دورهٔزمانی رخ می‌دهد را اندازه می‌گيرد. مؤثرترين شكل مصرف زمانی رخ می‌دهد كه ضريب بار در زمانی كه E حداقل شده است، در بالاترين مقدار ممكن باشد(هميشه كمتر از يک می‌باشد) ضريب بار به اين شكل تعريف می‌شود.

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

كه در آن :

LF : ضريب بار (بدون بعد)

E : انرژی مصرف در دوره زمانی P (KWh)

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

P : دوره زمانی كه در آن ضريب بار تعيين می‌شود(برای مثال يک روز، يک ماه ، يک 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:

- مصرف کنندگان تک فاز:

$$P=VI\ Cos\varphi$$

- مصرف کنندگان سه فاز:

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

بنابراین هر مصرف کننده 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 جمع‌برداری 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 (Cosφ) گویند.

۲-۳-۵- ضریب توان (Power Factor) P.F

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)

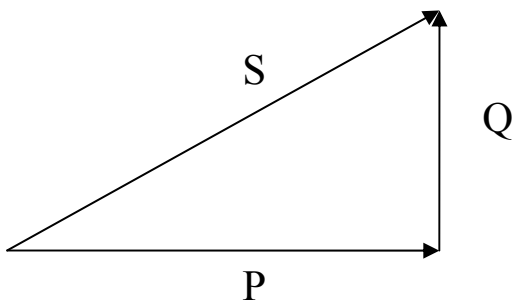
P : توان حقیقی (اکتیو) (KW)

Q : توان راکتیو (KVAR)

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

$$P.F = \frac{Q}{S} = Cos\theta$$

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 القائی 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 اندازهٔ 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 حسابرسی است و در هر برنامه کارآمد مدیریت انرژی حسابرسی یک امر اساسی می‌باشد. حسابرسی 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، حسابرسی، سه وظیفه اصلی را برآورده می‌سازد.

اولاً اطلاعاتی راجع به نرخ مصرف انرژی به دست می‌دهد و لذا می‌تواند برای ارزیابی کارآیی 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 مجموعهٔ خود را دریافت کنند و آن را بازبینی نمایند، صرفاً اطلاع از میزان انرژی مصرفی می‌تواند به صرفه‌جوئی 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 ۱۰۰۰× ۳۶۰۰ 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- کنتورها ی 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 شکل۲ 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 هستندکه بر روی یک محور مشترک نصب شده‌اند و دو وات سنج نشان داده شده درشکل 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 باهسته 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 فوق الذکر 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 محدودهٔ 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 دیماند مصرفی و همچنین مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده بر حسب KWh در مدت اندازه‌گیری ارائه می‌گردد.

نمودار ضریب قدرت (Cos φ) 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 φ) افزایش و با کاهش ضریب قدرت مقدار (Cos φ) 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 محدودهٔ 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.

۲-۵- اصلاح منحنی بار

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 مصرف کنندگان است. تأمین توان در نیروگاه بستگی به دیماند 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 قبلا نیز اشاره گردید اقدامات کلی در تغییر و اصلاح منحنی بارعبارتند از:

1. **پیک سائی (Peal Shaving)**
2. **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- ۳-۱- تعرفه‌های برق بخش صنعت

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

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

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

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

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 کنتور 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 محدودهٔ ضریب قدرت (Cos φ) که حداقل مجاز آن ۰/۹ می‌باشد ، اعمال هزینه انرژی راکتیو (KVAR) در قبوض برق نیاز به محاسبه ضریب قدرت (Cos φ) مصرف کننده می‌باشد. ضریب زیان تعیین کننده هزینه راکتیو است که از روابط زیر بدست می‌آید.

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

ضریب زیان = $\frac{0.9}{Cos\varphi} - 1$

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 درفصل 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

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

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 .

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

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 = ۲۸۳۲۰۰ + ۷۵۲۰۰ + ۱۶۷۲۰۰ = ۵۲۵۶۰۰ (KWh)

$$\text{ضریب قدرت } \cos\varphi = \frac{۵۲۵۶۰۰}{\sqrt{(۵۲۵۶۰۰)^۲ + (۵۲۴۰۰۰)^۲}} = ۰/۷۱$$

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

(هزینه دیماند + هزینه انرژی اکتیو) ۰/۲۷۱۲ = هزینه راکتیو

هزینه دیماند + 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 سایی را می‌توان از طریق مهار مستقیم بخشی از مصارف انجام داد، باتوجه به سه شیفت بودن بخشهای مختلف کارخانه امکان پیک‌سایی در این قسمت‌ها منتفی است اما تغییر ساعات کاربری ماشین‌آلات و دستگاههای ناپیوسته (Batch) و انتقال آنها به ساعات غیر پیک صرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئی 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

۱۹۰ m^3 × ۱/۶ =۳۰۴ Ton

میزان صرفه‌جوئی بعمل آمده حاصل از جابجایی پیک

ریال در سال ۵۶۰۰۰۰۰۰ = (تفاوت ضریب عادی با اوج بار) ۰/۸۲ × (ریال) ۱۴۸/۸ × (روز) ۳۰۰ × (ساعت) ۴ × (۳۸۲ (KW

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

ریال ۱۰۷۰۰۰۰۰ = ریال (۲۷۰/۸-۳۷/۲) × روز ۳۰۰× ساعت ۴ × ۳۸۲ KW

در مجموع جابجایی پیک با کنتور دو تعرفه معادل ۵۶ میلیون ریال و با کنتور سه تعرفه ۱۰۷ میلیون ریال درسال صرفه‌جوئی هزینه برق خواهد داشت .

با بررسی بعمل آمده بر روی قبوض برق مربوط به سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ مشخص گردید که بهای برق محاسباتی کارخانه در قالب گزینه ۲ انجام می‌شود . با تجزیه و تحلیل قبوض ۵ ماه که شامل مصرف برق ۱۷۰ روز می‌باشد ، مجموع بهای برق این تعداد روز ۱۵۷۴۰۰۰۰۰۰ ریال بوده که با انتخاب گزینه ۱ مجموع بهای برق برای همین تعداد روز با همان مصارف ۱۴۸۷۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد شد .

لذا با انتخاب گزینه ۱ بجای گزینه ۲ حدوداً به میزان ۱۸۰ 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 .

انتخاب گزینه ۱ :	۱۸۰۰۰۰۰۰۰ ریال صرفه‌جوئی اقتصادی برای

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	۱۸-۲۲	۱۸-۲۲
	تابستان	۱۹-۲۳	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 صرفه‌جوئی اقتصادی شامل خواهد شد .

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

هزینه نصب کنتور سه تعرفه ۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال

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 هزینهٔ 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 ۲۳۰۰۰۰ 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 موره ۷۷/۱۱/۳۰) برابر است با :

متوسط تولید روزانه = ۳۷۴۲۴ ÷ ۳ = ۱۲۴۷۵ m^2

متوسط تولید سالیانه = ۱۲۴۷۵ × ۳۳۵ = ۴۱۷۹۰۱۳ 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 :

میانگین مصرف انرژی الکتریکی روزانه = ۷۳۱۳ KWh

میانگین مصرف انرژی الکتریکی سالیانه = ۷۳۱۳ × ۳۳۵ = ۲۴۴۹۸۷۵ KWh

درصد سهم مصرف و ضرایب هزینه برق در ساعات شبانه روز

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

با توجه به جدول فوق و مصرف سالیانه ۲۴۴۹۸۷۵ KWh در این واحد، هزینه سالیانه برق با وضعیت فعلی طبق جدول زیر می‌باشد: محاسبهٔ هزینه‌ها طبق رابطه زیر انجام شده است:

هزینه سالیانه هر نوبت (ریال) = (KWh سالیانه) × (درصد سهم مصرف واقعی) × ۶۳/۵ × ۱/۰۵ K

	عادی	اوج بار	کم باری	جمع کل

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

جهت کاهش هزینه برق این واحد با مصرف سالیانه KWh ۲۴۴۹۸۷۵، سه طرح مدیریت مصرف پیشنهاد می‌گردد. با توجه به مصرف KWh ۷۳۱۳، طی ۲۴ ساعت حاصل از اندازه‌گیری و توان هر بالمیل برابر KW ۹۰ ، بالمیل ساعت مورد نیاز برابر است با :

۷۳۱۳ ÷ ۹۰ = ۸۱/۳

با در نظر گرفتن مدت ۸ الی ۹ ساعت (میانگین ۸/۵ ساعت) برای هر دوره کار بالمیل ، بطور متوسط تعداد بالمیل‌های مورد نیاز طی ۲۴ ساعت برابر است با :

۸۱/۳ ÷ ۸/۵ = ۹/۶

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

ظرفیت مخازن ذخیره دوغاب با حجم m^3 ۲۶۰ برابر است با :

(تن ۴۰۸/۲) = (دانسیته دوغاب ۱/۵۷) × m^3 ۲۶۰

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

(تن) ۲۳۰ = ۲۳ × ۱۰

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

با فرض اینکه عنوان ضریب رزرو بالمیل‌ها (۱> r > ۰) و (۱ – r) ۱۰ 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 :

۴ × ۲۲ + ۴ × ۱۵ = ۱۴۸ (KW)

مصرف سالیانه برق :

۱۴۸ × ۱۱ × ۳۳۵ = ۵۴۵۴۰۰ (KWh)

میانگین هزینه یک کیلووات ساعت :

(ریال) ۶۶/۶۷ = ۶۳/۵ × ۲۴ ÷ ۲/۵ ×۴ + ۰/۴ × ۸ + ۱۲

هزینه فعلی مصرف برق :

(میلیون ریال) ۳۸/۱۸ = ۱/۰۵ × ۶۶/۶۷ × ۵۴۵۴۰۰

- **با اعمال مدیریت مصرف و انتخاب یکی از سه حالات ممکن پیشنهادی در جدول زیر ضمن پیک‌سائی شبکه ، صرفه‌جوئی 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 :

(ریال) ۳۵/۷ = ۶۳/۵ × ۱۱ ÷ ۱ × ۳ + ۰/۴ × ۸

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

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

۱-۳- 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 نیروگاه ها 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

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 گیگاوات ساعت صرف مصارف داخلی نیروگاه شده است. انرژی تحویلی به شبکه انتقال نیز به ۱۲۸۳۲۴ گیگاوات ساعت رسیده است که به میزان ۶۸۲۷ گیگاوات ساعت آن صرف تلفات شبکه انتقال و فوق توزیع شده است (۵/۳ درصد) و انرژی تحویلی به شبکه توزیع ۱۱۰۳۸۷ گیگاوات ساعت بوده است که حدود ۱۶۶۲۲ گیگاوات ساعت 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 کیلووات ساعت انرژی الکتریکی و ۲۰۰ گرم آلاینده کربن به ازای هر کیلووات ساعت 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 آلاینده 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 نوبهٔ 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 :

عمدهٔ 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 .

- تلفات ناشی از افزیش 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 نشتی و تلفات هیسترزیس)
- 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 توان‌راکتیو
- 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.

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- اجزاء تلفات الکتریکی

۴-۳-۱-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 گردو غبار در داخل کنتور**
- **بروز خطا در اثر خرابی کنتور**

مسلماً در طول بهره‌برداری از کنتورها عوامل فوق الذکر 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 ۰/۵ ± 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 هوائی منطقه در دامنه بسیار وسیعی تغییر می‌کند.

۴-۳-۷- نشتی جریان

بخشی از انرژی الکتریکی به صورت نشتی جریان در تجهیزات، کابل‌ها، خطوط هوائی به هدر می‌روند. میزان این بخش از انرژی هدر رفته نیز تابعی است از شرایط آب و هوائی 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:

$$EL = R_1.(\frac{P_1}{U_1.Cos\varphi_1})^2 + ... + R_n.(\frac{P_n}{U_n.Cos\varphi_n})^2$$

همانطور که این رابطه نشان می‌دهد تغییر هر یک از سه عامل P (توان اکتیو) U (ولتاژ فاز با فاز) و Cosφ (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 ۸۷۶۰×۴ عدد تنها برای مقادیر P، U، Cos φ 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 تقریب ها 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 شبانه روزی مقدار ولتاژ در محدوده استاندارد نوسان خواهد داشت بطوریکه در ساعات کم باری 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.

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

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 $Cos\varphi_n$ به مقدار $Cos\varphi$ 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.

$$K_P = (\frac{Cos\varphi_n}{Cos\varphi})^2$$

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.

۴-۴-۳- 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.

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

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

$$LSF = \frac{1}{T}.\left(L_1^2 + L_2^2 + ... + L_n^2\right)$$

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

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 پریود مورد مطالعه می‌باشد.

۴-۴-۴-تلفات کرونا

گرچه مهمترین آثار سوء پدیده کرونا تولید اغتشاشات رادیوئی، 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.

$$p_C = 0.545(V - V_C)^2 . \frac{\sqrt{r}/D}{\delta} \qquad V>V_C$$

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 زیرتعریف گردیده است دارای دقت بهتری است:

$$p_C = 0.00314.F.\left(\frac{V}{Log_{10} D/r}\right)^2, \qquad V<1.8\ V_C$$

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:

$V_C=g_P.m.\delta.r.Log_e(D/r)$

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.

$V_C= g_p.m.\ \delta^{2/3}.r.Log_e(D/r)$

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 پدیدارنماید، مگر آنکه گردایان 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:

$$g_V = g_P.(1+\frac{0.3}{\sqrt{\delta.r}})$$

$$V_V = g_P.m.\delta.r.(1+\frac{0.3}{\sqrt{\delta.r}}).Log_e(D/r)$$

انرژی تلف شده از طریق کرونا

درخطوط 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 می‌روند تابعی است از تعداد روزهای ابری، بارانی، برفی، یخ بندان ، 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)

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 مقره‌ها 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:

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

در این خط انتقال چون مقره‌های وسطی V ثابت بوده‌اند، دارای دو زنجیر مقره می‌باشند که با احتساب فازهای کناری تعداد کل زنجیره مقره‌ها 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 مقره می‌باشد.

به طور کلی اگر جریان نشتی از هر زنجیره مقره I باشد کل انرژی تلف شده در یک کیلومتر از میر از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_L = N_i \, . \, N_t \, . \, V \, . I$$

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 مقره

N_t = تعداد برج در هر کیلومتر از طول خط انتقال

N_i = تعداد زنجیره مقره‌ها در هر برج

بر مبنای یک میلی آمپر نشتی جریان از هر زنجیره مقره که معمولاً سازندگان به عنوان حد نشتی مقره‌ها در هوای خشک در نظر می گیرند و با احتساب ۳ برج در هر کیلومتر و در نظر گرفتن مقره‌های V شکل (۶ زنجیره مقره برای سه فاز) توانی که از طریق نشتی در یک کیلومتر از خط انتقال ۱۲۰ کیلوولت به هدر می‌رود به صورت زیرمحاسبه می‌شود:

$$P_L = ۶ \times ۳ \times \frac{۱۲۰۰}{\sqrt{۳}} \times ۱۰^{-۳} = ۱۲/۵ \quad \text{کیلووات}$$

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 مقره‌ها 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 مقره 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 مقره‌ها 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 بهمراه دارند اما تداوم جریان‌های زیاد که حتی ممکن است به صورت جرقه ظاهر گردد کم می‌باشد.

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 هوائی 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.

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

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

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

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

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

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

۴–۵– تلفات در پست‌های فشار قوی

در پستهای فشار قوی نیز انرژی الکتریکی بصور گوناگونی به هدر می روند، 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 می گردند که ممکن است در ارزیابی‌ها اشتباهاتی را بوجود آورد.

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

۱–۱۱–

۱–۱۲– 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–مصارف اطاق فرمان

در پست‌های انتقال، اطاق فرمان همانند یک مرکز مصرف انرژی الکتریکی مطرح می باشد 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 می باشد، 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

سردسیر اگر از انرژی الکتریکی به عنوان گرمایش استفاده گردد میزان این مصرف زیاد می‌باشد که باید با توجه به شرایط آب و هوائی 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 مصرف کننده 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 می گردد.

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 پست‌هائی 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

تلفات راکتورها حدود ۲/ تا۰/۳ 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:

$$EL = T \,.\, Of \,.\, RL$$

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

در تظر 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:

$$EL = T . Of . CL$$

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 می رود.

۴-۵-۲-۵-کابل ها 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 نمی باشد. لذا در صورتیکه از این عامل صرف نظر گردد در کنار سایر اجزاء بحساب نیامده، ارقام تلفات ناشناخته را افزایش می دهد.

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 روشنائی می‌باشد. در حقیقت در اینجا با نیروگاه همانند یک مؤسسه مصرف کننده انرژی برخورد می‌شود که فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در تأسیسات الکتریکی و سیستم روشنائی آن وجود دارد.

عدم استفاده از انرژی الکتریکی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان‌های اداری، سالن‌های تولید و کارگاههای نیروگاه یکی دیگر از راهکارهای صرفه‌جوئی انرژی در نیروگاه می‌باشد. نهایتاً تعویض و یا اصلاح ترانسفورماتورها و الکتروپمپهای 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 کمپانزاتورهایی، 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 جابه جا 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 سه گانه 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 ازمقدار مثلاً ٪۵± میانگین در یک فاصله زمـانی چنـد 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 جبـران کننـده نقـش اساسی را در ثابت نگاهداشتن ولتاژ در محدوده مورد نظر ایفا می‌کنند. مسئله سوم که درجبران بار مد نظر است متعادل کردن بار است. اکثر شبکه‌های نیرو ac سه فاز بوده و برای عملکـرد متعـادل طراحی می‌شوند. عملکرد نامتعادل منجر به ایجاد مؤلفه‌های جریان توالی صـفر و منفـی مـی‌شـود. اینگونه مؤلفه‌های جریان اثر نامطلوبی چون ایجـاد تلفـات اضـافی در موتورهـا و مولـدهـا، گشـتاور 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 کننده‌هـا هسـتند، حذف می‌شوند. با وجود این مشکل هارمونیک‌ها اغلب همراه با مسئله جبران پیش مـی‌آیـد، و لـذا همواره مسئله هارمونیک‌ها و پالایش آنها مورد توجه خواهـد بـود. بعـلاوه شـمار زیـادی از جبـران 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 جلـوگیری از نوسانات قدرت در شبکه‌ها و اصلاح ضریب توان (Cosφ) در مصرف کننده‌ها به علـت ارزانـی و سادگی سیستم آن بسیار متداول است. از خازن‌ها می‌توان به دو صورت شنت و سـری در شـبکه و در کارخانه‌ها استفاده کرد. چنانچه خازن‌ها به طور سری در شبکه قـرار گیرنـد، جریـان گذرنـده از

خازن‌ها ثابت نبوده و همان جریان خط است. خازن‌های شنت باعث کاهش جریان خط مـی‌شـود و می‌تواند سطح ولتاژ را در محل مصرف به حد معینی افزایش دهد و در این حالت جریان گذرنـده از اتصال خازن‌ها همواره مقداری است ثابت) یعنی معادل ظرفیت خازن‌هـای نصـب شـده اسـت) و اتصال کوتاه در شبکه، تأثیری در خازن موازی ندارد.

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 افـزایش ضریب قدرت انتخاب شود. کاهش جریان و افزایش ضـریب قـدرت، افـت ولتـاژ را در قسـمت‌هـای 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 اسـت، که همیشه از خازن عبور می‌کند. در حالتی که در سیستم، اتصال کوتاهی پیش آیـد ولتـاژ دو سـر 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 بـه تجهیـزات کامـل حفـاظتی دارنـد. کـاربرد 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 بازشدن 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 خنک کنندگی 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

وسایل حبران کننده	ویژگیها	کاستیها
راکتور موازی	سادگی از نظر اصول کار و ساختمان	مقدار آن ثابت است.
خازن موازی	سادگی از نظر اصول کار و ساختمان	مقدار آن ثابت است . سوئیچ کردن آن همراه حالت گذراست.
خازن سری	سادگی از نظر اصول کار، رفتار آن نسبت به محل قرار گرفتن حساس نیست .	در مقابل اضافه ولتاژ باید حفاظت شودو به فیلتر زیر هارمونیک نیاز دارد.
کندانسور سنکرون	توانایی تحمل اضافه بار را دارد کاملاً قابل کنترل است.	به نگهداری زیادی نیاز دارد.
	کاملاً قابل کنترل است.	پاسخ کنترل آن کند است.
	چندان هارمونیک ساز نیست.	رفتارش نسبت به محل قرار گرفتن حساس است و نیاز به فونداسنون محکمی دارد.
خازن تیریستور سوئیچ (TSC)	وقتی خراب می‌شود به سرعت قابل تعمیر است .	توانایی ذاتی محدود کردن اضافه ولتاژ را ندارد.
	هارمونیک ساز نیست.	از نظر کنترل پیچیده است.
		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 صرفه‌جوئی 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 موتورهـای بـرق مسـتقیم و موتورهای القایی کارخانه‌های بزرگ و کوچک صنعتی است، که ضریب توانشان از ۰/۷ کمتر اسـت. برای نمونه یکی از کارخانه‌های چوب دارای بار اکتیو ۱۵ مگـاوات و بـار راکتیـو حـدود ۱۵ مگـاوار است، که چنانچه این بار راکتیو زیاد به شبکه تحمیل شود، آثار سوء یاد شده در بالا- افـت ولتـاژ 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 روشـی اقتصـادی در کارخانـه تعـدیل شـود و بـا بهبود ضریب توان از افت ولتاژ، تلفات و اشغال شدن ظرفیت تجهیزات و کابل‌ها جلـوگیری شـود و پایداری شبکه توزیع نیز بهبود یابد.

این روش را می‌توان در بسیاری از کارخانه‌هایی، که دارای مولد برق‌اند بطـور جداگانـه بررسـی 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 بـه صـورت زیر تحریک کار کند می‌تواند از شبکه بار راکتیو جذب نماید.

یادآور می‌شود چنانچه جریان تحریک از مرز پایداری ژنراتور کمترشود، 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 مـورد بهره‌برداری قرار گیرد، با توجه به نمودار توان، می‌توان توان راکتیو مورد نظر را از مولد اخـذ کـرد 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 خنثی کننده 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 Cosφ شبکه می‌شوند و هر چه قدرت موتور بیشتر باشد، جریان مغناطیس کننده آن نیز بیشتر خواهد بود. در ضمن ضریب توان (Cosφ) 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 بی باری حتی به ۰/۲ نیز می‌رسد.

علت تغییرات (Cosφ) 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 بی بار ماشین‌ها حتی الامکان جلوگیری کرد و اگر نحوه کار ماشین‌ها طوری است،که موتورها مدت نسبتاً زیادی به صورت بی بار 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. د رضمن بهتر است که هیچگاه کابل‌ها از تابلو قطع نشوند، بلکه مصرف کننده‌ها 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 مصرف کننده‌ها، 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 مصرف کننده 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 مصرف کننده 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 بی مورد 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 درمحل 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 $\cos\varphi$ جبران کننده‌ها 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 ظـاهری مصـرف کننـده‌ای S_1 و ضـریب قـدرت آن $Cos\varphi_1$ باشـد، جهـت رساندن ضریب قدرت فوق به ضریب قدرت مطلوب [با توجه به شکل شماره ۶] قدرت و ظرفیـت خازن لازم محاسبه می‌شود:

$$Q_1 = p_1.Tan\phi_1$$

$$Q_2 = p_1.Tan\phi_2$$

$$Q_C = Q_1 - Q_2$$

$$Q_C = P_1(Tan\phi_1 - Tan\phi_2)$$

$$Q_1 = p_1.K$$

مقدار ضریب K را می‌توان با استفاده از نمودار۷ نیز پیدا کرد.

جدول ۶ – محاسبه ضريب K جهت افزايش ضريب توان از $Cos\varphi_1$ به $Cos\varphi_2$

改善前之功率因數Cos θ 1 \ 改善後之功率因數Cos θ 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
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 $Cos\varphi_1=0.6$ را بـه ضـریب قـدرت مـورد نظـر $Cos\varphi_2=0.9$ 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 مقـادیر P_1 و $Cos\varphi_1$ و $Cos\varphi_2$ 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. درنتیجه، 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 وکوتاه 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 کیلووار 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 ۵۰کیلووات (KW)	٪ ۴۰ قدرت نامی موتور
از ۵۱ تا ۱۰۰ کیلووات (KW)	٪۳۵ قدرت نامی موتور
۲ – ترانسفورماتورها :	
ترانسفورماتورها	٪۱۰ قدرت نامی

۵–۵–۴– 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 برابر۰/۷= $Cos\varphi_1$ تعیین می‌شود.

محاسبه قدرت خازن مورد نیاز

P = ۴۸۰ KW حداکثر بار مصرفی (دیماند مصرفی)

کاهش توان اکتیو

$Cos\varphi_1$ = ۰/۷ ضریب قدرت موجود

ضریب قدرت مطلوب $Cos\varphi_2 = ۰/۹$

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

$Q_C = K.P$

$Q_C = ۰/۵۳ \times ۴۸۰ = ۲۵۴/۴ = ۲۶۰$ KVAR

اگر برای نصب خازن به ازای هر کیلووار 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 درمدت 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 رااصولاً 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 شیارهائی 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 - روتور قفس سنجابی مضاعف

ج – رتور سیم پیچ شده

۶-۲-۲-۱- رتور قفس سنجابی ساده

متداول‌ترین رتور برای موتورهای القائی سه فاز همین روتور 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 روتور (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 نزدیک‌تر اند لذا راکتانس نشتی آنها نسبت به میله‌های برنجی (میله‌های خارجی) بیشتر خواهد بود.

راکتانسهای نشتی بصورت راکتانسهای اندوکتیو در مدار معادل روتور 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 زیا د 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 امپدانس 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.

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.

۶-۲-۲-۳- 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 القائی (اسنکرون) سه فاز اینچنین بدست می‌آید:

$$Slip = s = \omega_S - \omega$$

در روابط اخیر Ss و ω_S 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 (SX_{BR}) در امپدانس رتور بیشتر می‌شود تا بالاخره SX_{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 سیم پیچی 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 می دهد. در نتیجه در می یابیم 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 تنهائی 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 القائی 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 هیسترزیس 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 هیسترزیس 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 وشارهای نشتی پدیدار می‌گردد و با تغییر بار این شارها به میزان ناچیزی تغییر می‌کنند و با تقریب خوب تلفات هسته در استاتور را از بی باری 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

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 θ) 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 هوائی 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.

$$P_{CuR}=SP_R$$

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 وتلفات 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_Oمنظور 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:

$P_{CuS}= 3/2\ r_eI^2_L$

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 ازرابطه 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.

$$\overset{\circ}{P}_e + P_M = W_1 + W_2 - P_{CuS}$$

در رابطه اخیر W_1 و W_2 مقادیر واتمترها بوده و P_{CuS} تلفات مسی ناچیز استاتور است که از رابطه بالامحاسبه 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 آمپرمتر 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 راحساب 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 راه اندازهای مخصوص استفاده کرد . یکی از روشهای متداول، استفاده از راه‌اندازهای " ستاره – مثلث "می‌باشد. از این راه اندازها 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 ازنقطه 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

صرفه‌جوئی انرژی

در

سیستم‌های تولید هوای فشرده

فصل۲ – صرفه‌جوئی انرژی در سیستم های تولید هوای فشرده

خـــلاصـــه –

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

راهکارها و فرصت‌های بهبود کارآیی انرژی و صرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئی‌های انرژی ناشی از فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در کمپرسورها ارائه می‌گردد.

۱-۵- ۱- مـــقـــدمـــه

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، بدلایل 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 صرفه‌جوئی انرژی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی در سیستم‌های تولید هوای فشرده توضیح داده می‌شوند. در ابتدا، یک مرور اجمالی بر

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 صرفه‌جوئی انرژی جهت کمی‌سازی میزان صرفه‌جوئی با مثالهای تشریحی ارائه خواهد گردید.

۲ – مروری بر مبانی اولیه

شکل (۱) نشان دهندهٔ 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، تنظیم کننده‌ها و کنترل‌ها که این سیستم تجهیزات مختلف مصرف کنندهٔ هوای فشرده را تغذیه می‌کند.**
- **سایر تجهیزات مانند دریافت کننده‌ها (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 کارآیی 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 كمپرسور براي هر كارگاه بايستي با توجه به ميزان فشار كاري و مقدار مصرف مورد نياز كارگاه تهيه گردد و با توجه به دو نكته يعني فشار كاري و مقدار توليد، كمپرسورها را از نظر ساختمان داخلي به انواع مختلفي دسته‌بندي مي‌كنند. شكل (٣-٦) نمودار مقايسه دبي و فشار خروجي در كمپرسورهاي مختلف را نشان مي‌دهد. معيار اين دسته‌بندي رامي‌توان به دو گروه عمده تقسيم‌بندي كرد:

گروه اول :

كمپرسورهايي هستند كه داراي دبي كم و فشار زياد هستند. اين گروه بر اساس حبس هوا در يك فضاي محدود و كوچك كردن فضاي موجود و به طبع بالا رفتن فشار آن عمل مي‌كنند. كمپرسورهاي پيستوني از موارد پر مصرف اين گروه هستند.

گروه دوم :

كمپرسورهایی هستند كه دارای دبی زیاد و فشار كمترند. این گروه نیز بر اساس قانون عمومی سیالات و مكش سیال عمل می‌كنند. این نوع كمپرسورها هوا را ازیک جهت مكیده واز جهت دیگر با شتاب خارج می‌كنند. با توجه به استفاده هوا با دبی بسیار بالا در توربین گاز، كمپرسور آن از این گروه است .

۳–۱– انواع كمپرسورها:

الف– كمپرسورهای جابجایی– Displacement Compressors

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

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

این نوع از کمپرسورها شکل (۳-۱) 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 (۳-۲) 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 (۳-٤) کمپرسورهاي كوچكي بوده و تك مرحله‌اي هستند. آنها قادرند که فشار هوا را توسط دیافراگم منعطفي كه 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 منزلهٔ 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 (Contrifugal Compressors or Axial Compressors)

این نوع از کمپرسورها شکل (۳-۵) تا ظرفیت m^3/min ۴۰، نمی‌توانند بطور کارآ

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

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 Kpa ۱۰۰ یا bar ۱) را داراست. کمپرسورها می‌توانند با انواع مختلف، مانند کمپرسورهای سانتریفوژ[1]، کمپرسورهای جابجایی[2] یا کمپرسورهای پیچشی گردان [3] 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 گستره‌هایی برای انواع مختلف کمپرسورها را نشان می‌دهد.

جدول (۱) – گستره‌های کاربرد برای انواع مختلف کمپرسورها

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

[1] - Centrifugal
[2] - Reciprocating
[3] - 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 همدما (Isothermal) ، بی دررو (Adiabatic)، و پلی تروپیک (Polytropic) نشان می‌دهد. رابطهٔ بین دماها و فشارها در ورودی (یا مکش) و خروجی یا (تخلیه) یک کمپرسور در فرآیندهای تراکم پلی تروپیک، آدیاباتیک و ایزوترمال می‌تواند بصورت رابطهٔ زیر خلاصه شود:

$$\frac{T_o}{Ti} = \left[\frac{P_o}{Pi}\right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad (۱)$$

که :

$\gamma = ۱$ ، هنگامی که تراکم همدما یا ایزوترمال باشد.

$\gamma = K$ ، هنگامی که تراکم آدیاباتیک یا بی دررو باشد ($k = ۱/۴$ برای هوای خشک)

$\gamma < K$ ، هنگامی که تراکم پلی تروپیک باشد(بطور نمونه $k = ۱/۳$ 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.

$$P_i = \rho_i \cdot Z_{a,i} \cdot R_a \cdot T_i \qquad (۲)$$

برای هوای خشک، ثابت R_a از طریق تقسیم ثابت گاز ایده‌آل R (J/Kg.mol.°K) (R = ۸۳۱۴/۴) به جرم مولی هوا M_a (M_a = ۲۸/۹) محاسبه می‌شود. بنابراین مقدار ثابت R_a معادل J/(Kg.°K) ۲۸۷ 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 صفر و یک را داراست و وابسته به فشار و دمای هوا است. برای فشار بالای Kpa ۲۰۰۰۰ (۲۰۰ Atm)، فرض می‌شود که هوای خشک مانند یک گاز ایده‌آل رفتار می‌کند بطوریکه $Z_{a,i}$ = ۱.

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.

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

$$\dot{W}_m = \dot{m}_a . R_a . T_i . Ln\left(\frac{P_O}{P_i}\right) \qquad (۳)$$

توان مكانيكي مورد نياز براي تراكم آديباتيك و يا پلي تروپيك مي‌تواند از روي معادله (٤) تخمين زده شود.

$$\dot{W}_m = \frac{\dot{m}_a \cdot R_a \cdot T_i \cdot \gamma}{\gamma - ۱} \cdot \left[\left(\frac{P_O}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - ۱\right] \qquad (۴)$$

دو مشاهده مهم از روابط (٣)و (٤) در ارتباط با كارآيي انرژي كمپرسورها خواهيم داشت:

الف) توان مکانیکی یک کمپرسور بطور خطی با دمای هوای ورودی افزایش می‌یابد. جهت ارتقاء کارآیی 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 پلی تروپیک) 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 پلی تروپیک می‌تواند مبین یک تراکم واقعی باشد.

چنانچه بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت، خنک کن‌های داخلی (Inter Coolers) جهت پراکندن حرارت در مدت زمان تراکم بکار می‌روند.

مثال –۱- توان مکانیکی لازم را جهت متراکم سازی Kg/sec ۱ از هوای خشک، از Kpa ۱۰۰ و °C ۲۰(شرایط محیطی) تا Kpa ۸۰۰ (فشار مطلق) تحت تراکم‌های ایزوترمال، آدیاباتیک، یا پلی تروپیک (γ = ۱/۳) بیابید.

حل –

از رابطه (۳) استفاده می‌کنیم که P_i = ۱۰۰ Kpa و P_O = ۸۰۰ Kpa و ۲۹۳ °K = T_i و K_a = ۲۸۷ J/(Kg.°K) توان مکانیکی لازم برای تراکم ایزوترمال ۱ Kg/sec هوای خشک بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = (۱\ \text{Kg/sec}).(۲۸۷\ \text{J/Kg.°K})(۲۹۳\ \text{°K}).\ L_n\left(\frac{۸۰۰Kpa}{۱۰۰Kpa}\right) = ۱۷۴/۸۶\ \text{KW}$$

با استفاده از رابطه (۴) و فرض K = γ = ۱/۴ ، توان مکانیکی لازم برای تراکم آدیاباتیک بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(۱Kg/\sec)\times(۲۸۷J/Kg.°K)\times(۲۹۳°K)\times ۱/۴}{۱/۴-۱}\left[\left(\frac{۸۰۰}{۱۰۰}\right)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}}-۱\right] = ۲۳۸/۸۲\text{KW}$$

برای تراکم پلی تروپیک، توان مکانیکی لازم از روی رابطه (۴) و با فرض K = γ = ۱/۳ محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_m = \frac{(۱Kg/\sec)\times(۲۸۷J/Kg.°K)\times(۲۹۳°K)\times ۱/۳}{۱/۳-۱}\left[\left(\frac{۸۰۰}{۱۰۰}\right)^{\frac{۱/۳-۱}{۱/۳}}-۱\right] = ۲۲۴/۴۲\text{KW}$$

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 پلی تروپیک 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 (با $Z_{a,I} = ۱$) بکار رود. برای $T_i = ۲۹۳\ ^{\circ}K$ و $P_i = ۱۰۰\ Kpa$ ، چگالی هوا $۱/۱۸۹\ Kg/m^3$ می‌باشد. پس توان مکانیکی ورودی برای سه نوع تراکم به ترتیب زیر می‌باشد:

۰/۲۱ KW/L/sec برای تراکم ایزوترمال، ۰/۲۷ KW/L/sec برای تراکم پلی تروپیک و ۰/۲۹ 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 پلی تروپیک بیان بهتری برای فرآیندهای تراکم واقعی است، ولی بدست آوردن مقدار نمای γ بدون انجام اندازه‌گیریهای گران و پر هزینه 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 $K = ۱/۴$ بشود.

ب) توان مورد نیاز برای تراکم پلی تروپیک 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.

$$KWhComp = \frac{\dot{W}m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp}}{\eta_M} \qquad (۵)$$

$\dot{W}_m$ **= توان مکانیکی مورد نیاز توسط کمپرسور که مطابق رابطهٔ (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- ۵-۱-فیـلتـــرها

هواي ورودي به كمپرسور، بخاطر حفاظت كمپرسور و تجهيزات آن از هرگونه آسيب‌هاي ناشي از ذرات معلق موجود در هواي فيلتر نشده، بايستي تا حد ممكن تميز باشد. در حقيقت، ذرات معلق مي‌توانند به بخش‌هاي مختلف كمپرسور رخنه كنند. اين رخنه يا 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 اندازهٔ 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: کارآیی فیلتر و افت فشار حاصل از فیلتر.

کارآیی 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 سر انگشتی، به ازای هر Kpa ۱۰۰ 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 پریودیک 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 ۰/۰۵ $/KWh است .

حل – از قانون سر انگشتی استفاده می‌کنیم. همانطور که ذکر گردید به ازای هر ۱۰۰ Kpa 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:

$$EC_{Filter} = \frac{۱۰۰ \times ۸۰۰۰ \times ۰/۰۵}{۰/۰۹} \times \left(\frac{۳}{۱}\right) \times ۰/۰۱ = ۱۳۳۰ \$/year$$

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 – اندازهٔ ظرفیت تانک در صورت نیاز بار ثابت

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

ب – اندازهٔ ظرفیت تانک در صورت نیاز بار متغیر

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

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 خشک کن‌ها 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 خشک کن 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 ۵°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 وظیفهٔ 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 ۱۰ °C بالاتر از دمای آب بوده و در (After-Cooler)هایی که از هوا استفاده می‌کنند ۱۵ °C بالاتر از دمای هواست.

۵-۳-۱-خشک کن 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.

خشک کن 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

براي پراكندن و برطرف نمودن گرماي متراكم‌سازي، خنك‌سازي سيلندرها و پوشش‌هاي سيلندر، با استفاده از مبدلهاي حرارتي كه به اينتر كولرها معروف هستند، صورت مي‌پذيرد. اين اينتر كولرها مي‌توانند از هوا يا آب استفاده كرده بطوريكه دماي كمپرسور را كنترل نمايد. مشخصاً، خنك‌سازي هواي فشرده ارجح است بدليل راحتي كار.

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.

۱-۸- ۶- توزیع هوای فشرده

توزیع هوای فشرده تولید شده به مصرف کننده‌های 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 تنظیم کننده‌های 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 مصرف کنندهٔ 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**

نشتی‌ها

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:

$$\Delta P = \rho(f.\frac{L}{D} + \sum K)\frac{V^2}{2} \qquad (۶)$$

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

ΣK = 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 معادلهٔ (۶) 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 معادلهٔ (۶) نشاندهندهٔ 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) نموگرام تعیین اندازه سایز لوله‌ها را در سیستم‌های هوای فشرده نشان می‌دهد.

ذکر این نکته لازم است که افت فشار در سیستم توزیع هوای فشرده به منزلهٔ 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_O/P_i) سبب افزایش توان مکانیکی تأمین شونده از یک محرک (مانند الکتروموتور) برای کمپرسور می‌گردد.

بعنوان مثال، یک افت فشار Kpa ۵۰ در یک کمپرسور طراحی شده برای افزایش فشار از Kpa (l atm) ۱۰۰ تا (atm ۷) Kpa ۷۰۰ 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 دهندهٔ 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 درچهارچوب ممیزی گذری (Walk-Through-Audit) می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این روش‌ها در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف – روشهای ساده

دو روش ارزان براي شناسايي محل نشت هواي 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 شدهٔ 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 پریودهای خاص برنامه‌ریزی شده)، آشکار نمایند. با کمی سرمایه‌گذاری در یک برنامه تعمیر و نگهداری منظم برای آشکارسازی نشتی‌ها، دیده شده که صرفه‌جوئی‌های 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 $\Delta \dot{m}_a$ (دبی جرمی) از میان یک حفره از روی معادله زیر قابل تخمین است:

$$\Delta \dot{m}_a = \sqrt{\frac{2}{R_a}} \cdot C_L \cdot A_L \cdot P_o \cdot T_o^{-\frac{1}{2}} \qquad (۷)$$

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

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

T_O : دمای هوای فشرده‌ای که از محل نشتی بیرون می‌آید (°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)

۱-۹- ۸- بهره‌برداری از هوای فشرده

هواي فشرده چندين كاربرد دارد. عموماً، تجهيزات انتهايي مصرف كنندة هواي فشرده به گروههاي زير تقسيم‌بندي مي‌شوند:

I) مصرف کننده‌های نهایی ایستا - شامل تجهیزات کنترل پنوماتیک مانند تحریک‌ها (Actuators) یا تنظیم کننده‌های فشار (Pressure Regulators) . عملکرد این مصرف کننده‌ها فقط وابسته به وجود یا عدم وجود هوای فشرده است. این مصرف کننده‌ها را می‌توان هم در تأسیسات تجاری و هم در تأسیسات صنعتی یافت.

II) مصرف کننده‌های نهایی پویا یا دینامیک – شامل ابزار مونتاژ (مانند پیچ گوشتی‌ها و آچارها)، موتورهای هوا (مانند ابزارهایی برای سوراخ‌کاری و خردایش). عملکرد این مصرف کننده‌ها وابسته به جریان و فشار هوای فشرده است.

عمدهٔ مصرف هوای فشرده در صنعت در همین مصرف کننده‌های دینامیک است.

برای کاهش تلف انرژی، فشار تخلیه در سیستم هوای فشرده بایستی متناظر با بالاترین فشار مورد نیاز توسط مصرف کننده‌های 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 مصرف کننده 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

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 (۲ atm) ۲۰۰ Kpa باشد، استفاده از یک دمنده، صرفه‌جوئی معادل ۵۰ درصد یا بیشتر را برای انرژی مصرفی بدنبال خواهد داشت (دمنده بجای هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرد).

۱-۱۰- ۹ – پتانسیل‌های رایج در صرفه‌جوئی انرژی سیستم‌های تولید هوای فشرده

يكي از وظايف مميزي انرژي جمع‌آوري داده‌ها و اطلاعات مربوط به طراحي، بهره‌برداري و تعميرات سيستم‌هاي گوناگون است. در مورد سيستم‌هاي هواي فشرده، برخي از اطلاعات مي‌تواند از طريق مصاحبه با اپراتورها، مهندسين فرآيند، يا پرسنل تعمير و نگهداري بدست آيد. بويژه اطلاعات و داده‌هاي ريز مي‌توانند از طريق مصاحبه با پرسنل بهره‌برداري جمع‌آوري شوند.

الف) كنترل‌هاي جاري و موجود روي سيستم هواي فشرده تأسيسات، كه با اين كنترل‌ها سيستم هواي فشرده مورد بهره‌برداري قرار مي‌گيرد.

ب) مشكلات موجود دربارة كيفيت، كميت و فشار هواي فشرده.

ج) اطلاعات طراحي و نقشه‌ها و هرگونه يادداشت در مورد تعميرات شامل اطلاعات بهره‌برداري كمپرسور و برنامة تعمير نشتي‌ها.

د) اطلاعات روي پلاك كليه تجهيزات موجود در سيستم هواي فشرده.(Name Plate data)

هـ) طرحهاي آتي براي ارتقاء سيستم هواي فشرده شامل جايگزيني كمپرسور، تغييرات در مصرف هواي فشرده، و نصب سيستم‌هاي ابزار دقيق.

جمع‌آوري داده‌ها بر حسب پيچيدگي تأسيسات و سيستم هواي فشرده مي‌تواند زمان بر هم باشد. ولي براي يك مميز انرژي حصول اطلاعات كافي جهت فهم جزئيات طراحي موجود، روشهاي بهره‌برداري و نگهداري جاري و طرح‌هاي آتي بسيار مهم است تا بتواند پتانسيل‌هاي صرفه‌جوئي انرژي را نه تنها براي صرفه‌جوئي انرژي و هزينه بلكه براي تأمين يك سيستم هواي فشرده مطمئن پيشنهاد دهد.

در ادامة اين مبحث برخي از راههاي صرفه‌جوئي انرژي در سيستم‌هاي هواي فشرده كه خيلي رايج هستند انتخاب شده و به همراه روش‌هاي محاسباتي خاص و مثالهاي تشريحي توضيح داده شده‌اند.

۱-۱۱- ۹-۱- كاهش دماي هواي ورودي

در بعضي از تأسيسات هواي فشرده، كمپرسور، هواي ورودي را از داخل اتاق (كمپرسورخانه) مي‌كشد. اين هواي ورودي به كمپرسور تحت اين شرايط داراي دماي بالايي تا حدود C° ۳۰ خواهد بود كه مي‌تواند بيش از اين مقدار نيز باشد.

اين دماي داخل بسيار بالاتر از دماي بيرون است و مطابق معادلة (۳) و (٤) دماي هواي ورودي بالاتر، توان مكانيكي يا الكتريكي و در نتيجه انرژي مصرفي بالاتري را در پي خواهد داشت. يك راه بسيار ساده براي كاهش دماي هوا ورودي، نصب لوله‌كشي براي اتصال كمپرسور به بيرون است كه كمپرسور هواي ورودي را از محيط بيرون از كمپرسورخانه بكشد.

، حاصل از كاهش دماي هواي ورودي ΔKWh_{Comp}صرفه‌جوئي انرژي الكتريكي
به كمپرسور از روي رابطه زير قابل محاسبه خواهد بود:

(۸)

$$\Delta KWhComp = \frac{\dot{W}m \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot (Ti,e - Ti,r)}{\eta_M - Ti,e}$$

كه :

$T_{i,e}$ = دماي متوسط ساليانه مربوط به هواي كمپرسور قبل از بهبود (°K

$T_{i,r}$ = دماي متوسط ساليانه مربوط به هواي ورودي كمپرسور پس از بهبود و اصلاح (°K

را مي‌توان مساوي با متوسط ساليانه دماي هواي بيرون فرض نمود. مثال (۳) $T_{i,r}$ عموماً، كاربرد رابطه (۸) را در محاسبهٔ صرفه‌جوئي انرژي حاصل از كاهش دماي هواي ورودي نشان مي‌دهد.

مثال (۳) – يك سيستم توليد هواي فشرده نياز به توان مكانيكي معادل ۱۰۰ KW دارد و راندمان موتور آن ۸۷% است. هواي ورودي كمپرسور از داخل كمپرسورخانه كه كمپرسور در آن واقع شده و دماي ميانگين ساليانه آن ۳۵° است مكيده مي‌شود. زمان بازگشت سرمايه C را براي نصب يك لوله‌كشي عايق شده جهت اتصال ورودي كمپرسور به محيط بيرون با استفاده از اطلاعات زير بيابيد:

الف – كل هزينه سيستم لوله‌كشي ۸۵۰ دلار

ب – دماي ميانگين ساليانه محيط بيرون C۱۲°

ج – كمپرسور ۵۰۰۰ ساعت در سال كار مي‌كند كه ضريب بار ميانگين آن ۸۰% است.

د – هزينه الكتريسيته $/KWh. است ۰/۰۵

حل – از معادله (۸) استفاده مي‌كنيم. صرفه‌جوئي انرژي الكتريكي در اثر كاهش دماي هواي ورودي از رابطه زير تخمين زده مي‌شود:

$$\Delta KWhComp = \frac{۱۰۰ \times ۰/۸ \times ۵۰۰۰ \times (۳۵ - ۱۲)}{۰/۸۷ \times (۲۷۳ + ۳۵)} = ۳۴۳۳۰ \quad \text{KWh/yr}$$

بنابراين، زمان بازگشت سرمايه ساده براي نصب سيستم لوله‌كشي جهت اتصال ورودي كمپرسور به هواي بيرون برابر است با:

$$\text{زمان بازگشت سرمايه ساده} = \frac{۸۵۰}{۳۴۳۳۰ \times ۰/۰۵} = ۰/۵ = ۶ \quad \text{Months}$$

جدول (۲) درصد انرژي صرفه‌جوئي شده بر حسب درجه حرارت هواي ورودي در كمپرسورها را نشان مي‌دهد.

۹–۲– كاهش فشار تخليه

هنگاميكه ماكزيمم فشار مورد نياز توسط كليه تجهيزات مصرف كننده انتهايي در يك تأسيسات بطور چشمگير پائين تر از فشار تحويلي توسط سيستم هواي فشرده باشد، كاهش فشار تخليه به منظور كاهش مصرف انرژي كمپرسور توصيه مي‌گردد. تخمين زده شده كه به ازاي هر ۱۵ اضافه فشار تحويلي، ۱% انرژي بيشتر توسط كمپرسور لازم است. Kpa افزايش فشار تحويلي بيش از ميزان مورد نياز اثرات سوء ديگري را در سيستم هواي فشرده بجا مي‌گذارد. بويژه، اضافه فشار تلف هواي فشرده را از محل‌هاي نشتي افزايش مي‌دهد.

ناشي از كاهش فشار تخليه $\Delta KWhComp$ ميزان صرفه‌جوئي انرژي الكتريكي هواي فشرده توليدي توسط كمپرسور از رابطه زير محاسبه مي‌شود:

(۹)

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

% درصد كاهش توان مكانيكي مورد نياز توسط كمپرسور است. با استفاده از W_mكه % مي‌تواند تخمين زده شود.W_mمعادلات (۳) و (٤)، درصد كاهش توان ورودي كمپرسور ۵۰ بوده و يك موتور با KWمثال ٤- يك سيستم هواي فشرده توان مكانيكي مورد نيازش ۸۰۰ به Kpaراندمان ۹۰% را دارد هزينه صرفه‌جوئي شده را در اثر كاهش فشار تخليه از ۷۰۰ با فرضيات زير بيابيد:Kpa

كمپرسور ٤۰۰۰ ساعت در سال با ميانگين ضريب بار ۷۰% كار مي‌كند.

هزينه الكتريسيته $/KWh ۰/۰۵ مي‌باشد.

۱۰۰ است، Kpa ۱) atmحل – فرض كنيد كه فشار هواي ورودي به كمپرسور مساوار با (

از ۸ به ۷ است. درصد $\frac{Po}{Pi}$ميزان كاهش در فشار تخليه متناظر با كاهش در نسبت فشار % مي‌تواند از روي يكي از معادلات (۳) با (٤) W_mكاهش در توان مكانيكي مورد نياز، حساب شود:

– برای یک تراکم ایزوترمال :

$$\%W = \frac{Ln^{(۸)} - Ln^{(۷)}}{Ln^{(۸)}} = ۶/۴ \ \%$$

از معادلة (۸) ميزان صرفه‌جوئي انرژي الكتريكي بدست مي‌آيد:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{۰/۰۶۴ \times ۵۰ \times ۴۰۰۰ \times ۰/۷}{۰/۹} = ۹۹۵۰ \ \text{KWh/year}$$

$/year بنابراين ميزان صرفه‌جوئي هزينه در اثر كاهش فشار تخليه هواي فشرده حدود ۵۰۰ خواهد بود.

– برای یک تراکم آدیاباتیک:

$$\%W_m = \frac{(۸)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}} - (۷)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}}}{(۸)^{\frac{۱/۴-۱}{۱/۴}}} = ۵/۷ \ \%$$

از معادلة (۸) ميزان صرفه‌جوئي انرژي الكتريكي بدست مي‌آيد:

$$\Delta_{KWh_{Comp}} = \frac{۰/۰۵۷ \times ۵۰ \times ۴۰۰۰ \times ۰/۷}{۰/۹} = ۸۸۷۰ \ \textbf{KWh/year}$$

بنابراین میزان صرفه‌جوئی هزینه در اثر کاهش فشار تخلیه هوای فشرده حدود ۴۵۰ $/year خواهد بود.

۱-۱۲- ۹-۳- تعمیر نشتی‌های هوا

همانطور که در قبل نیز بحث شد، نشت هوای فشرده به منزلهٔ 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 صرفه‌جوئی توسط تعمیر محل‌های نشت هوای فشرده با استفاده از رابطهٔ زیر تخمین زده می‌شود:

– برای تراکم ایزوترمال :

(۱۰)

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\Delta \dot{m}_a \cdot LF_{Comp} \cdot N_{h,Comp} \cdot Ra \cdot Ti \cdot Ln(\frac{P_o}{P_i})}{\eta_M}$$

برای تراکم‌های آدیاباتیک یا پلی تروپیک:

$$\Delta KWh_{Comp} = \frac{\Delta \dot{m}_a . LF_{Comp} . N_{h,Comp} \cdot Ra \cdot Ti \cdot \gamma}{(\gamma - 1).\eta_M} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (11)$$

که $\Delta \dot{m}_a$، 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 منزلهٔ تلف انرژی است، سبب تلف بیشتر هوای فشرده از نشتی‌ها می‌گردد.

جدول (۳) تلف توان الکتریکی با توجه به سایز نشتی‌ها را نشان می‌دهد.

مثال ۵ – یک نشتی ۵mm در سیستم توزیع هوای فشرده مشخص شده است. پریود 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 ۲۰°C و ۹۰۰ 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 ۱۵°C و ۱۰۰ Kpa هستند.

هـ) راندمان موتور الكتريكي ۹۰٪ است.

و) قيمت الكتريسيته $/KWh ۰/۰۵ است.

حل – از معادله (۷) استفاده می‌کنیم تا تلف هوای فشرده از طریق نشتی را محاسبه کنیم:

$$\dot{\Delta m}_a = \sqrt{\frac{۲}{۲۸۷}} \times ۰/۶۵ \times ۰/۰۰۰۰۱۹۶ \times ۸۰۰۰۰۰ \times (۲۷۳ + ۲۰)^{\frac{-۱}{۲}} = ۰/۰۵ \ \textbf{Kg/sec}$$

براي يك تراكم ايزوترمال، انرژي الكتريكي اتلافي ساليانه از طريق نشت با استفاده از معادله (۱۱) محاسبه مي‌شود:

$$\text{KWh/year} \quad \Delta_{KWhComp} = \frac{۰/۰۵ \times ۳۰۰۰ \times ۰/۷ \times ۲۸۷ \times (۲۷۳ + ۱۵) \times Ln(\frac{۸۰۰}{۱۰۰})}{۰/۹} = ۲۰۰۵۰$$

بنابراين، زمان بازگشت سرمايه ساده جهت تخصيص هزينه براى تعمير نشتى برابر خواهد بود با:

$$\text{زمان بازگشت سرمايه ساده} = ۲ \ year = ۰/۱۵ \ \text{months} \ \frac{۱۵۰}{۲۰۰۵۰ \times ۰/۰۵}$$

جدول (٤) ميزان هواي فشرده مورد نياز با توجه به وجود نشتي‌ها را نشان مي‌دهد.

۹–۴– سایر پتانسیل‌های کاهش مصرف انرژی

سايرپتانسيل‌هاي صرفه‌جوئي انرژي در سيستم‌هاي توليد هواي فشرده بشرح زير مي‌باشند:

جايگزيني كمپرسورهاي با بازدهي پائين با كمپرسورهاي نو و كارآتر

انجام برخي تغييرات در فرآيند توليد به منظور كاهش ميزان مصرف هواي فشرده و كاهش ميزان فشار مورد نياز

بكارگيري سيستم بازيافت حرارت شكل (۷) و (۸) از گرماي تراكم جهت گرمايش آب و گرمايش فضاي ساختمان

نصب سيستم‌هاي كنترل اتوماتيك به منظور بهينه‌سازي عملكرد چند كمپرسور با كاهش زمان‌هاي كاركرد بي‌بار و كم بار (Part Load)

استفاده از كمپرسورهاي كمكي براي تأمين فشار تخليه بالاتر. بدون كمپرسور كمكي، كمپرسور اوليه بايستي كل مقدار هوا را در ماكزيمم 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 اين روش در محل ورودي هوا به كمپرسور يك عطر با بوي مشخص را قرار مي‌دهيم. بوي عطر در نواحي كه داراي نشت در سيستم توزيع هستند به خوبي قابل تشخيص خواهد بود.

II) روش تخمین محاسباتی در تعیین میزان نشت هوای فشرده و تعیین تلف انرژی ناشی از آن

به منظور شناسايي نشتي هوا در سيستم توزيع مي‌توان كمپرسور را با قطع هواي فشرده ورودي به تجهيزات مصرف كننده آن بكار انداخت. كمپرسور تا رسيدن فشار هواي موجود در سيستم توزيع به يك حد خاصي كار خواهد كرد. زمان كاركرد كمپرسور را تا رسيدن فشار به ماكزيمم ميزان تنظيم (T) . پس از رسيدن فشار به آن حد خاص ثبت مي‌كنيم شده كمپرسور خاموش خواهد شد يا بصورت خلاص كار خواهد كرد. زمان كاركرد كمپرسور ثبت (t)بصورت بي بار يا زمان خاموشي كمپرسور را نيز تحت عنوان زمان بي‌باري مي‌كنيم. اين آزمونهاي ثبت زمانهاي كاركرد تحت بار و بي‌باري را حداقل چهار بار تكرار مي‌كنيم تا ميانگين قابل قبولي از زمانها به دست آيد. ميزان نشت هوا از روي رابطه زير بدست مي‌آيد.

$$L = \frac{Q \times T}{T + t}$$

$$PowerConsumption \approx \frac{L}{3} KW$$

T(ثانيه) پريود كاركرد تحت بار :

t پريود كاركرد بي‌باري :

Q ظرفيت كمپرسور :(Lit/sec)

L ميزان نشت هوا : (Lit/sec)

۱۱– بازيافت حرارت از كمپرسورها (Heat Recovery)

عمل فشرده‌سازي هوا انرژي زيادي مصرف مي‌كند. اما مقدار خيلي كمي از اين انرژي بصورت حرارت همراه هواي فشرده به خروجي منتقل مي‌گردد. بيش از ۹۰% اين انرژي توسط عمليات خنك‌سازي خارج شده و يا توسط تشعشع تلف مي‌شود شكل (۹).

۸۰° مي‌باشد و همين موضوع استفاده از آن Cاين حرارت داراي درجه كم در حدود را مشكل مي‌سازد. با اين حال توسط سيستم‌هاي خاص در حدود ۸۰% آن قابل بازيابي است. اگر از سيستم كانال‌كشي براي انتقال هوا استفاده شود، بايد اطمينان يافت كه هيچ مانعي در برابر جريان آزاد هواي خنك ايجاد نكند كه باعث كاهش بازده كمپرسور مي‌گردد.

سازندگان كمپرسور معمولاً حداكثر طول مشخصي را براي كانال‌كشي مجاز مي‌دانند كه مي‌تواند براي عمليات بازيافت حرارت مورد استفاده قرار گيرد. اگر طول‌هاي بلندتري لازم باشد بايد از فن‌هاي كمكي جهت به حركت در آوردن هوا استفاده نمود.

از هواي گرم داخل كانال‌كشي جهت گرمايش فضا و فرآيندهاي توليد استفاده مي‌گردد. صرفه‌جوئي‌هاي مشابهي نيز مي‌تواند از ماشين‌هاي خنك شونده توسط آب بدست آيد. از حرارت موجود در آب خروجي از خنك‌كن استفاده‌هايي چون تأمين آب گرم مصرفي و افزايش دماي آب تغذيه ديگ بخار و آب مصرفي فرآيندها ممكن مي‌باشد.

۷۰ فرض كنيد. ميزان ظرفيت كمپرسور KWمثال – توان مصرفي يك كمپرسور را (خروجي هواي فشرده) ۱۶۵ ليتر در ثانيه است. كمپرسور مدت زمان ۸ ساعت در روز با ضريب بار ۷۵% كار مي‌كند. ميزان مصرف انرژي الكتريكي كمپرسور به طريق زير حساب مي‌شود:

۷۰ = انرژي الكتريكي مصرفي KW ۴۲۰ = ۸ × ۰/۷۵ × KWh/day

عمده انرژي الكتريكي مصرفي (۹۰%) كه توسط كمپرسور مصرف مي‌شود به انرژي حرارتي تبديل مي‌گردد. اين حرارت توسط آب خنك‌كن از كمپرسور خارج مي‌شود تا كمپرسور دچار اضافه حرارت و نهايتاً آسيب نگردد.

۳۷۸ = ۰/۹ × ۴۲۰ = مقدار حرارت قابل بازيابي KWh/day

۹۰۰۰ آب گرم را Lit/dayبا اين مقدار انرژي و با استفاده از يك مبدل حرارتي مي‌توان ۱/۴۲×۱۰^۶ KJ/day ۵۳°توليد نمود. معادل انرژي اين مقدار آب گرم Cبا درجه حرارت است كه با احتساب راندمان ۷۵% براي بويلر، انرژي ورودي بويلر بصورت زير بدست خواهد آمد:

$$\text{انرژي ورودي بويلر} = \frac{۱/۴۲\times۱۰^{۶}}{۰/۷۵} = ۱/۸۹\times۱۰^{۶}\ (\text{KJ/day})$$

۴۱×۱۰^۳) در نظر بگيريم:KJ/litاگر ارزش حرارتي سوخت مصرفي را (

$$\text{ميزان سوخت ورودي} = \frac{۱/۸۹\times۱۰^{۶}}{۴۱\times۱۰^{۳}} = ۴۶\ (\text{Lit/day})$$

۳۵۰ فرض کنیم. میزان سوخت ورودي day/yearاگر تعداد روز کارکرد در سال را سالیانه (سوخت صرفه‌جوئي شده سالیانه) برابر خواهد بود با:

مقدار مصرف سالیانه (Lit/year) = ٤٦×۳۵۰ = ۱٦۱۰۰

فصل ۳ – صرفه جویی انرژی در فن‌ها و پمپ‌ها

۱- فــن‌ها

از جمله تجهیزات مصرف کننده 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 – فن‌های نوع توربو (Turbo Type)

در این فن‌ها هوا از يك جهت مكيده شده و از جهت ديگر با شتاب خارج مي‌شود. **این نوع از فن‌ها خود به دو زیر گروه تقسیم می‌شوند.**

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 – 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.

۱–۱–۱–۱–۲ – فن‌های نوع (Tube axial) – این فن‌ها از نظر کارآیی 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 .

۱–۱–۱–۱–۳ – 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 درسیستم‌های HVAC و صنایع با هوای تمیز در صورت اهمیت داشتن صرفه‌جوئی 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.**

۱–۱–۱–۲–۳ – 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.

۱–۱–۱–۲–۴ – 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 کارآیی 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

هنگامي كه هوا از طريق يك كانال يا يك سيستم لوله‌كشي بوسيله يك فن تأمين مي‌شود در صورتيكه فن فشار مشخصي را نتواند تأمين كند هوا نمي‌تواند در مجرا (كانال) جريان يابد، چون فشار هوا بايستي بر مقاومت مسير لوله‌كشي يا كانال غلبه نمايد.

مقاومت مسیر لوله‌کشی یا کانال با منحنی تحت عنوان منحنی سیستم مشخص می‌گردد.

درکنار 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 دهندهٔ منحنی‌های سیستم و فن می‌باشد.

۱–۳ – توان لازم برای فن‌ها

در تعيين توان لازم براي كاركرد يك فن بايستي توان لازم مصرفي به تفكيك زير مد نظر قرار گيرد.

۱–۳–۱–قدرت هوا (Air Power) L_T – انرژی مؤثری که توسط یک فن در واحد زمان به هوا داده می‌شود .

$$LT = \frac{K}{K-1} \times \frac{Pt1 \times Q}{6120} \left\{ \left(\frac{Pt2}{Pt1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right\} (KW) \qquad (۱)$$

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 ۱/۴ = K)

اگر نسبت فشار ۱/۰۳ یا کمتر باشد رابطه بصورت زیر خواهد بود:

$$LT = \frac{P_T \times Q}{6120} (KW) \qquad (۲)$$

P_T : کل فشار فن ($mm\ H_2O$)

۱–۳–۲–توان محوری L (Axial Power) – تقسیم L_T (air power) به راندمان فن

$$L = \frac{LT}{\eta_F} (KW) \qquad (۳)$$

راندمان معمولاً بر حسب ميزان جريان هواي نامي بيان مي‌شود.

۱-۳-۳- توان خروجی موتور – LM

به دليل ساختار ساده و هزينه كم معمولاً از موتورهاي القايي براي فن‌ها استفاده مي‌شود.
براي فن‌هاي با ظرفيت پائين از موتورهاي القايي قفس سنجابي استفاده مي‌گردد.

$$LM = L \times \Phi \times \frac{1}{\eta_t}(KW) \qquad (۴)$$

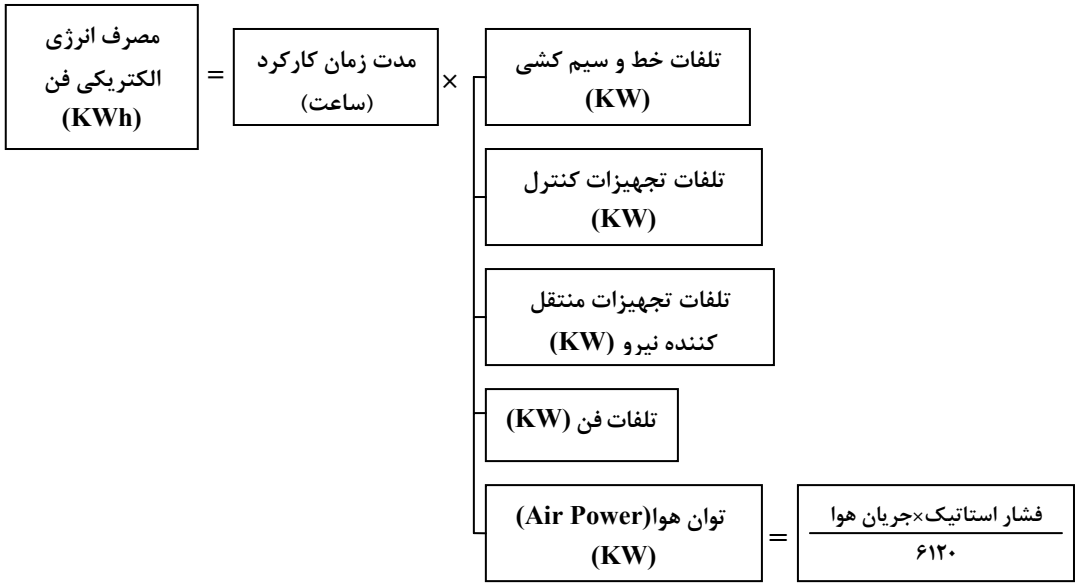
Φ : ثابت (Allowance rate)

η_t : راندمان انتقال

۱-۲- جدول (۲) و (۳) به ترتيب نشانگر مقادير η_t و Φ می‌باشند.

۱-۴ – صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در فن‌ها

عوامل اثرگذار درصرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئي انرژي مي‌تواند بطرق زير صورت پذيرد:

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 جبران سازها 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)** نیتجه 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

روش‌هاي خلاصه شده براي دو سيستم فوق‌الذكر به منظور كاهش ظرفيت هواي دميده شده و كاهش جريان هوا در جدول‌هاي (٦) و (٧) ارائه گرديده‌اند. روش‌هاي مطرح در تعديل جريان هوا در سيستم ثابت عبارتند از :

روش‌هاي كاهش تعداد، تعويض پره‌ها و تغيير در سرعت چرخش از طريق تغيير موتور يا قطر پولي.

تکنیک‌های مطرح در سیستم متغیرنیز عبارتند از:

کنترل دمپر درخروجی، 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 ۱/۲ کاهش پیدا می‌کند. منحنی مقاومت سیستم که

شامل دمپر نیز است ازنقطه (۳) به نقطه (۵) تغییر می‌کند. توان لازم دراین نقطه متناسب با $P2 \times Q_2$ 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 صرفه‌جوئی 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:

(جریان با توان دوم قطر متناسب است) $Q \equiv D^2$

(فشار با توان دوم قطر متناسب است) $P \equiv D^2$

(توان مصرفی با توان چهارم قطر متناسب است) $L \equiv D^4$

لذا کاملاً مشخص است که با کاهش قطر پره به میزان لازم صرفه‌جوئی 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 استاتیک 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 : جریان	$Q \equiv n$
P : فشار	$P \equiv n^2$
L : توان	$L \equiv n^3$
n : دور	

يعني جريان متناسب با دور، فشار متناسب با توان دوم دور و توان مصرفي متناسب با توان سوم دور مي‌باشد.

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 (Posotive 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 دوبل، یک پمپ جریان مرکب و یک پمپ جریان محوری هستند.

شکل (۹) نشان دهندهٔ گسترهٔ 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 دهندهٔ 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.

$$L = \frac{Q.H.\gamma}{102\times 60\times \eta P} = \frac{0.163QH}{\eta P}(KW) \qquad (۱)$$

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 صورت رابطه (۲) در می‌آید.

$$L = \frac{0.163QH}{\eta_P \cdot \eta_M} \times \phi(KW) \qquad (۲)$$

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 پائین 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

هنگامي كه چند پمپ به صورت موازي مورد بهره‌برداري قرار مي‌گيرند، يك منحني هد مركب براي كل پمپ‌ها از روي تركيب ميزان جريان تخليه شونده از هر پمپ متناظر با يك هد يكسان مطابق شكل (١٤) مي‌تواند بدست آيد.

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

منحني هد مركب براي كاركرد موازي پمپ‌هاي با مشخصات مختلف مطابق شكل (۱۵) از طريق جمع جريان تخليه شونده از هر پمپ در هد يكسان به دست مي‌آيد.

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- 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 بخواهيم ميزان جريان آب را با استفاده از دو پمپ افزايش دهيم از روي شكل منحني مقاومت مسير خط لوله مشخص مي‌شود كه كدام يك از روش‌هاي كاركرد موازي و يا سري 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 صرفه‌جوئی انرژی در پمپ‌ها

۲-۸-۱- تغییر قطر پروانه

اگر جريان تخليه شونده از پمپ و هد كل پمپ در هنگام استفاده از آن بدليل تخمين ناصحيح در زمان طراحي بيش از ميزان مورد نياز باشد قسمتي از توان مكانيكي 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:

جریان تخلیه شونده (دبی) $Q_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times Q_1$

هد پمپ $H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1$

توان مکانیکی $P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \times P_1$

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 صرفه‌جوئی انرژی

در نظر گرفتن حاشيه اضافي براي مقدار جريان و هد در هنگام طراحي و در نظر گرفتن آنها در تعيين مشخصات پمپ سبب انتخاب يك پمپ با ظرفيت بالاتر از حد نياز مي‌گردد.

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 د رنظر گرفته شده اضافه بر میزان مورد نیاز می‌باشد.

۲–۸–۳– تغییر سرعت

مي‌دانيم كه توان مكانيكي يك پمپ با توان سوم سرعت متناسب است.

جریان (دبی) $Q_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \times Q_1$

هد $H_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \times H_1$

توان مکانیکی $L_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \times L_1$

قبل از تغییر سرعت: L_1 , H_1 , Q_1 , N_1

بعد از تغییر سرعت : L_2 , H_2 , Q_2 , N_2

بنابراين كاهش سرعت در پمپ‌ها يكي از روشهاي بسيار اساسي در كاهش مصرف انرژي در آنهاست. يكي از رهيافت‌ها بدين منظور استفاده از الكتروپمپ‌هاي چند سرعته مي‌باشد. شكل(۲۰) نشان دهندة تغيير عملكرد يك پمپ با تغييرات سرعت در آن است.

۲-۸-۴- سيستم‌های كنترل

در كل، منظور اصلي از كنترل سرعت كنترل فشار است. كنترل فشار بدو دسته تقسيم‌بندي مي‌شود.

الف – كنترل فشار با جريان تخليه (دبي) ثابت

ب – تثبيت فشار ترمينال به منظور (Piping)

الف – كنترل فشار با جريان تخليه (دبي) ثابت

اين سيستم سرعت گردش پمپ را با فيدبك از فشار تخليه و ثابت نگه‌داشتن آن تغيير مي‌دهد. از آنجايي كه گستره تغييرات سرعت كوچك است ميزان صرفه‌جوئي انرژي حاصل از اين سيستم نيز در مقايسه با سيستم كنترل فشار ترمينال ثابت كه به آن خواهيم پرداخت كمتر است.

شكل‌هاي (٢١) و (٢٢) به ترتيب نشانگر اثر تغيير سرعت روي توان مكانيكي و نشانگر دياگرام سيستم كنترل براي دو حالت فوق مي‌باشند.

ب – تثبيت فشار ترمينال

حتي اگر مقدار آب مصرفي نيز تغيير كند، اين سيستم با كنترل سرعت پمپ و فيدبك از دبي خروجي از پمپ و فشار يا فيدبك از فشار ترمينال بدنبال آن است كه فشار آب در ترمينال ورودي به تأسيسات همواره ثابت نگه داشته شود (در اين حالت نقطه كار پمپ چنان كنترل مي‌شود كه اين نقطه به موازات منحني مشخصه مقاومت سيستم حركت كند).

فصل ۴ – صرفه‌جوئی انرژی در روشنایی، ترانسفورمرها و سیستم‌های تهویه مطبوع

۱– بهینه‌سازی انرژی در ترانسفورمرها

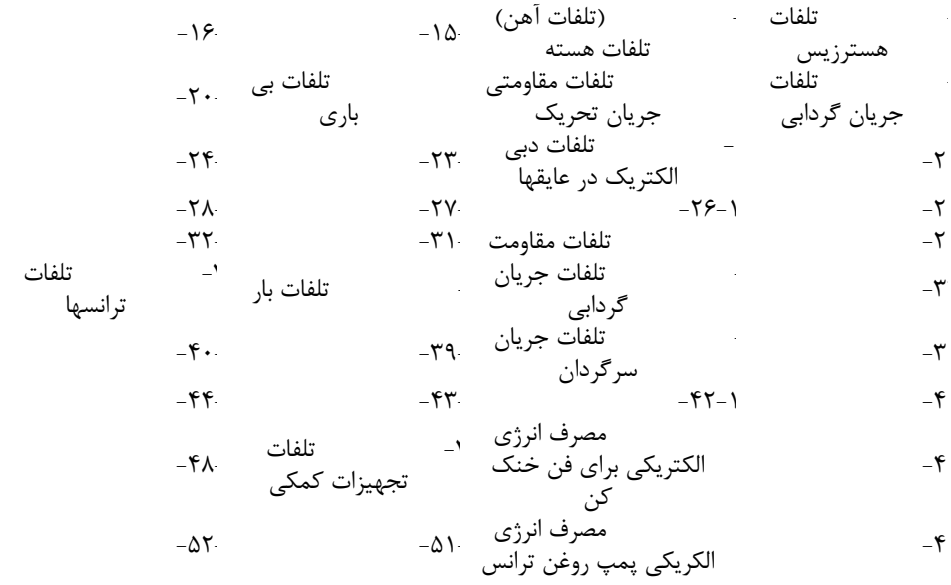
۱-۱- مقدمه

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 مصرف کننده‌های 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 مصرف کننده بالا نگه دارند که موجب ایجاد پست‌های فرعی و کاهش تلفات توزیع در داخل کارخانه می‌شود.

۱-۲- تلفات ترانسفورمرها

نمودار درختي زير انواع تلفات ترانسفورمرها را نمايش مي‌دهد .



۱-۳- 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 :

وزن هسته × (تلفات جریان گردابی + تلفات هیسترزیس) × m = تلفات بی باری

m : ضریب ساختمان ترانسفورمر می‌باشد.

۱–۳– ۲ – تلفات مس (تلفات بار)

این تلفات از نوع مقاومتي بوده و با توان دوم بار متناسب است .

۱-۴- ضریب تلفات

به نسبت تلفات بار به تلفات بي باري ضريب تلفات گويند.

ضریب تلفات (r) = تلفات بار

تلفات بی باررى

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 پائین‌تر 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 زمانیکه تلفات بار و تلفای بی باری با هم برابر می‌شود راندمان ترانسفورمربه مقدار حداکثر می‌رسد.

۱-۵- راندمان ترانسفورمرها

راندمان ترانسفورمر بر اساس تلفات آن به صورت زیر بیان می‌شود:

راندمان = توان خروجی × ۱۰۰ = توان خروجی × ۱۰۰

توان ورودی ..... توان خروجی + توان تلفات

می‌توان با استفاده از روابط ریاضی ثابت نمود که حداکثر راندمان زمانی اتفاق می‌افتد که تلفات بی باری با تلفات بار برابر باشد.

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:

$$\eta_{MAX} = \frac{P_n}{P_n - 2 \times T \times \sqrt{\alpha}} \times 100$$ (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 :

$$r = \frac{۶۱۵۰}{۹۹۰} = ۶/۲۱$$

$$\eta_{MAX} = \frac{۵۰۰}{۵۰۰ + ۲ \times ۰/۹۹ \times \sqrt{۶/۲۱}} \times ۱۰۰ = ۹۹/۰۲$$

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:

راندمان شبانه‌روزی = انرژی الکتریکی مصرفی روزانه / (تلفات انرژی الکتریکی روزانه + انرژی الکتریکی مصرفی روزانه)

مثال :

فرض کنید منحنی مصرف شبانه‌روزی یک ترانسفورمر با تلفات بی باری Wi و تلفات بارداری W_C مطابق شکل ۲ باشد. آنگاه تلفات انرژی الکتریکی شبانه‌روزی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$W = Wi \times ۲۴ + W_C \times (۰/۸^{۲} \times ۵ + ۰/۶^{۲} \times ۲ + ۰/۵^{۲} \times ۱ + ۰/۴^{۲} \times ۴ + ۰/۲^{۲} \times ۱۲)$$

$$= Wi \times ۲۴ + ۵/۰۵ \, WC$$

۱-۶- رابطه بین ظرفیت ترانسفورمرها و راندمان آنها

وقتی که ضریب تلفات ثابت باشد آنگاه افزایش ظرفیت ترانسفورمرها ما افزایش راندمان را بدنبال خواهد داشت. شکل ۳ منحنی تغییرات راندمان به ازای ضریب بار را برای ۳ ترانسفورمر نمونه ۵ و ۱۰ و ۲۰ مگاولت 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.

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

با کاهش ضریب توان، جریان براي تأمين يك مقدار مشخص توان افزايش مي‌يابد. و افزايش جريان به معني افزايش تلفات مس (يا تلفات بار) در ترانسفورمرها و همچنين سيستم توزيع مي‌باشد، به همين دليل افزايش ضريب توان موجب افزايش راندمان ترانسفورمر مي‌گردد.

شکل ۴ تغییرات منحنی‌های راندمان بازای تغییرات ضریب توان را برای یک ترانسفورمر ۱۰ MVA نمایش می‌دهد.

۱-۸- ترانسفورمرهای با راندمان بالا

ترانسفورمرهاي راندمان بالا به ترانسفورمرهايي گفته مي‌شود كه در ساخت آنها از موادي استفاده شده كه منجر به تلفات كمتر هسته و مس گشته و نتيجتاً راندمان ترانسفورمر افزايش يافته است. قيمت اين ترانسفورمرها نسبت به نوع معمولي آن ، بيشتر بوده و افزايش ۱ درصد راندمان بايد بيش از ۱۰ الي ۱۵ درصد افزايش قيمت ترانسفورمر را توجيه كند. احتمالاً در آينده با كاهش تلفات و اختلاف قيمت ترانسفورمرهاي راندمان بالا نسبت به نوع معمولي و افزايش بهاي انرژي استفاده از ترانسفورمرهاي راندمان بالا توجيه پذيرتر گردد.

جدول ۳ ترانسفورمرهاي معمولي و راندمان بالا را در ظرفيت‌هاي مختلف با يكديگر مقايسه مي‌كند.

۱-۹- تلفات مختلف با تغییر تعداد ترانسفورمرها

این کار را با طرح یک مثال انجام می‌دهیم. فرض کنید یک بار KVA ۱۲۰ را با سه ترکیب متفاوت از ترانسفورمرها می‌خواهیم تأمین کنیم (شکل ۵)

۱۵۰ تأمين شود، اطلاعات ترانسفورمرها KVA : حالتي كه تنها با يك ترانسفورمر Aحالت از جداول مربوطه قابل استخراج است. در اين حالت تلفات كل عبارت است:

$$KW = ۰/٤٥ + ۲/۲٥ \times ۰/۸^{۲} = ۱/۸۹ \quad W_C + Wi = W$$

: حالتي كه با يك ترانسفورمر ۵۰ و ۱۰۰ كيلوولت آمپري تغذيه شود:Bحالت

$$KW = (۰/۳ + ۲/۲٥) + (۱/٦۱ + ۰/۸۱) \times ۰/^{۲}۸ = ۲/۱ \quad W_{C2} + W_{C1} + W_{i2} + W_{i1} = W$$

۵۰ تغذيه شود:KVA : حالتي كه با ۳ ترانسفورمر Cحالت

$$KW = ۳ \times ۰/۲٥ + (۳ \times ۰/۸۱) \times ۰/۸^{۲} = ۲/۳ \quad W_C + ۳ W_i = ۳ W$$

كمترين تلفات را در بر خواهد داشت.Aهمانطور كه مشاهده مي‌كنيد، حالت

۱-۱۰ - کنترل ترانسفورمرها با تعداد آنها

شکل ۶ دو حالت را برای ایجاد یک ظرفیت ترانسفورمر را نشان می‌دهد.

شکل۷ 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

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 L ۲ بهتر است.

بطور مثال براي دو ضريب بار ۸۰ و ۳۰ درصد ميزان تلفات عبارتند از :

دو ترانسفورمر با ظرفیت L		**دو ترانسفورمر با ظرفیت 2L**	
۵۳	**>**	**۷۶**	**تلفات در ۸۰ درصد ضریب بار**
۲۵	**<**	**۲۰**	**تلفات در ۲۰ درصد ضریب بار**

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 فرآهم 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 ساختمانهاي اداري و تجاري بين ۲۰ تا ۵۰ درصد از كل مصرف مربوط به روشنايي مي‌باشد. در بقيه ساختمانها ۱۰ درصد و يا كمتر و در صنايع نيز مصرف روشنايي بطور معمول درصد كمي از كل مصرف را تشكيل مي‌دهد ولي بطور مطلق مقدار قابل توجهي 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 ساتع 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 (پائین‌تر) برگردد.

در صورتیکه طول موج فوتون دریک محدوده خاص باشد، چشم انسان توانایی دیدن آن را دارد. یک منبع نور خوب تعداد زیادی فوتون را در این محدوده ساتع می‌کند مانند لامپ سدیم کم فشار، بعضی از منابع نور تنها کسری جزی از فوتون‌های ساتع 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

ميزان شار نوري خروجي از يك منبع نوراني را با واحدي بنام لومن بيان مي‌كنند. كل شاري كه از يك كره شفاف كه منبع نور را احاطه كرده عبور مي‌كند با لومن اندازه‌گيري مي‌شود. لومن نرخ جريان انرژي را نمايش مي‌دهد. در نتيجه يك واحد انرژي است نظير وات يا اسب بخار.

لامپ‌هاي براي مصارف داخلي بطور نوعي از ۵۰ تا ۱۰۰۰۰ لومن محدوده نور خروجي آن است. لومن براي سفارش لامپ‌ها، مقايسه آنها، و محاسبه راندمان انرژي (كه بر حسب لومن بر وات بيان مي‌شود) استفاده مي‌شود.

باید توجه داشت که لومن اطلاعاتي راجع به پخش نور لامپ نمي‌دهد. و ممکن است سهم بزرگي از روشنايي خروجي يك لامپ در صورتيکه به جهت اشتباه برود 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 ۱۰/۷۶ لوکس می‌باشد) روشنایی داخلی در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ لوکس و متوسط روشنایی خورشید در فضای خارج حدود ۵۰۰۰۰ لوکس می‌باشد.

۲-۳-۳- بازده

بازده قسمتي از توان ورودي منبع نور که به نور مرئي تبديل مي‌شود را مشخص مي‌کند و به درصد بيان مي‌شود و براي قسمتي از سيستم روشنايي يا کل سيستم روشنايي تعريف مي‌شود.

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 پائین‌تر از سه هزار درجه کلوین به عنوان نور گرم در نظر گرفته می‌شود لامپ 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 نیمی 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 لامپ 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.

۲-۴-۲ - لامپ فلورسنت

لامپ فلورسنت یک تیوپ شیشه‌ای با الکترود 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) پرشده 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 الکترودها جدا شده و در میدان برق بین دو الکترود 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 الکترود 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 الکترودها به وسیله ایجاد ولتاژ بالا بین الکترودها یا گرم کردن الکترودها 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 $40^{\circ}C$ 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 فن‌آوري، امکان توليد لامپ‌هاي فلورسنت فشرده در دهه ۱۹۷۰ بوجود آمد و امکان رقابت لامپ‌هاي فلورسنت با لامپ‌هاي التهابي از نظر فشرده بودن مهيا شد. امروزه دو نوع لامپ‌هاي مهتابي 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 سرپیچ 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 هلاید (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 هلاید 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 هلاید را با تغییر زاویه محور آن نسبت به خط عمود نشان می‌دهد.

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 ٥ منابع نور مختلف با هم مقایسه شده است.

۲-۶- بالاست‌ها

همانطور که قبلاً گفته شده لامپ‌هاي تخليه جهت راه‌اندازي و ادامه کار به بالاست نياز دارند. وظيفه بالاست ابتدا ايجاد ولتاژ بالا براي راه‌اندازي لامپ و سپس محدود کردن جريان هنگام کار دائم لامپ مي‌باشد. براي لامپ‌هاي مهتابي بالاست‌ها درصد قابل ملاحظه‌اي 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 واتی حدود ۱۰ وات می‌باشد به عنوان مثال توان مصرفی یک چراغ که دارای دو مهتابی ۴۰ وات عبارت است از :

وات ۱۰۰ = (۱۰+۴۰) × ۲

ب – بالاست‌های الكترونيكی

اين بالاست براي بكار انداختن لامپ‌ها از راكتور الكترونيكي استفاده مي‌كنند. امتياز اصلي اين بالاست‌ها كاهش تلفات بالاست و همچنين افزايش راندمان لامپ به علت ايجاد فركانس بالا مي‌باشد. به عنوان مثال تلفات بالاست به ازاي يك لامپ ٣٦ واتي به ٤ وات كاهش مي‌يابد.

۲۰ را به ازاي تغييرات ٤٠W و Wشكل ۱۸ تغييرات نور خروجي لامپ مهتابي فركانس خروجي بالاست نشان مي‌دهد. همانطور كه در شكل مشخص است لامپ مهتابي در ۲۰ ، بهره‌وري بين ۱۵-۱۰ درصد افزايش مي‌يابد. بوسيله اين بالاست KHZفركانس بالاي ۱۰۰ افزايش يافته است.Lm/wو مهتابي‌هاي خاص راندمان لامپ‌هاي مهتابي تا

سازندگان زيادي بالاست‌هاي الكترونيكي عرضه مي‌كنند كه مشخصه‌هاي متفاوتي ٤٠ انجام Wدارد. بر اساس يك آزمايش كه بوسيله بالاست‌هاي الكترونيكي بر روي يك لامپ شده است بهره‌هايي از ٦٨ تا ٧٩ لومن بر وات بدست آمده است.

ديگر مشخصه‌های بالاست‌های الكترونيكی

- افزايش بازده مدار، يعني كاهش تلفات بالاست
- كاهش وزن، به ويژه براي لامپ‌هاي بزرگ
- افزايش بازده نور
- محو سو سو زدن
- ايجاد ضريب توان ۱ بدون نياز به خازن‌گذاري
- وسيله تسهيل كنترل دقيق توان با جريان لامپ
- راه‌اندازي كنترل شده بهتر و شرايط كاري مطلوب‌تر، در نتيجه افزايش عمر لامپ

۲-۷- چـــراغ‌ها

نور افكن‌ها يا چراغ‌ها جزئي از سيستم روشنايي‌اند كه جهت هدايت بهينه نور طراحي شدند و راحتي ديداري را در سطح بالايي تأمين كنند. شكل ۱۹ اجزاء مختلف يك چراغ را بطور نمونه نشان مي‌دهد.

جدا از لامپ‌ها كه تأثير بسزايي در راندمان كل مجموعه سيستم دارند. انعكاس دهنده‌ها و حفاظها نيز از اهميت ويژه‌اي برخوردارند. حفاظها مي‌توانند به صورت عدسي‌ها (لنزها) كركره‌هاي فلزي و پلاستيكي و .... باشند.

راندمان چراغ به صورت زير تعريف مي‌شود:

راندمان چراغ = کل روشنايي منتشر شده چراغ / کل روشنايي خروجي لامپ‌ها

به طور معمول، چراغ‌هايي بيشترين راندمان را دارند، که کمترين آسايش ديداري را تأمين مي‌کنند و متقابلاً لامپ‌هايي که خيرگي را به بهترين وجه کنترل مي‌کنند از کمترين راندمان برخوردارند.

جدول ۶ تأثير انعکاس دهنده‌ها را بر راندمان چراغ نشان می‌دهد که در آن اهميت تميز نگه داشتن چراغ‌ها نيز آمده است.

جدول ۷ تأثير حفاظها را بر روی راندمان چراغ نمايش می‌دهد منظور از VCP (visual comfort probability) يک شاخص است که نشان دهنده درصد افرادی است که در يک مکان مشخص شده ميزان درخشندگی را قابل قبول می‌دانند، است.

۲-۸- کنترل‌های سيستم روشنايی

کنترل کننده‌هاي روشنايي را مي‌توان به دو دسته کلي دستي و خودکار تقسيم نمود. سيستم‌هاي تمام خودکار معمولاً امکان کنترل دستي هم دارند که به نوعي سيستم کنترل مرکب را بوجود مي‌آورند. شکل ۲۱ طرز کار سيستم‌هاي کنترل را نشان مي‌دهد.

کنترل‌های خودکار را نيز می‌توان به دسته‌های زير تقسيم نمود:

الف – کنترل‌هايی که بر پايه زمانند

اين کنترل‌ها براي مکان‌هايي مناسبند که نيازمندي‌هاي روشنايي‌شان قابل پيش بيني و از قبل تعيين شده است. اين کنترل‌ها براي روشنايي داخلي و خارجي مورد استفاده قرار مي‌گيرد. در مورد روشنايي خارجي بر اساس زمان طلوع و غروب خورشيد تنظيم مي‌شوند و براي روشنايي داخلي با استفاده از جدول زماني کار تنظيم مي‌شود. اين کنترل‌ها بايد امکان کنترل دستي براي استفاده روشنايي در خارج از جدول زماني نيز داشته باشد.

ب – کنترل‌هایی که بر پایه حضور افرادند

این کنترل‌کننده‌ها براي مکان‌هايي مناسب هستند که داراي الگوي غير قابل پيش‌بيني و متغير براي حضور افراد مي‌باشد نظير دستشويي‌ها و انبارها. اين کنترل کننده‌ها با استفاده از سنسورهاي مافوق صوت يا مادون قرمز حضور افراد را در مي‌يابند.

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

فايده اين نوع کنترل استفاده حداکثر از روشنايي طبيعي و استفاده حداقل از روشنايي الکتريکي جهت تأمين سطح روشنايي مورد نظر است. اين روش علاوه بر صرفه‌جوئي انرژي، کاهش اضافه روشنايي و درخشندگي و ديماند مصرفي کلي را نيز به همراه دارد، اين سيستم‌ها داراي وسيله تضعيف نوراند، و سنسورها ميزان تضعيف نور را مشخص کرده که بستگي به ميزان روشنايي روز دارد. به اين وسيله اغلب « جبران کننده روشنايي با استفاده از نور روز» نيز مي‌نامند.

۲–۹– تعمیر و نگهداری سیستم‌های روشنایی

روشنايي اوليه نصب شده به مرور زمان به دلائل زير کاهش مي‌يابد:

- کاهش نور لامپ‌ها در طول عمر آنها که براي هر لامپ در مبحث مربوطه آمده است.
- کثيف شدن و نشستن گرد و غبار بر روي لامپ
- کثيف شدن چراغ‌ها
- کثيف شدن سطوح انعکاس دهنده نور از قبيل ديوارها و سقف و ....
- سوختن بعضي از لامپ‌ها

اين عوامل موجب مي‌شوند تا راندمان سيستم روشنايي تا ٦٠ درصد افت کند. اين امر در شکل ٢٢ نشان داده شده است.

شکل ٢٥ افت نور چراغ ناشي از کثيفي آن نشان داده شده است که در آن کاهش نور اوليه لامپ در نظر گرفته نشده است و مي‌توان فرض کرد با تميز کردن چراغ دوباره به حدود ١٠٠ درصد برگردد مگر بعضي از اجزا نظير لنزها طوري تغيير رنگ داده يا کدر شوند که قابل تميز کردن نباشند.

يكي از روش‌هاي مؤثر تعويض گروهي لامپ‌ها به همراه تميز كردن چراغ‌ها مي‌باشد. اين كار بدو صورت موجب صرفه‌جوئي مي‌شود يكي اينكه مجبور نيستيم نور اوليه را در طراحي بعلت افت زياد نور در طول زمان خيلي زيادتر از ميزان مورد نياز در نظر بگيريم كه اين خود موجب كاهش هزينه اوليه و هزينه جاري انرژي سالانه مي‌گردد. دوم اينكه هزينه دستمزد كارگر بازاي تعويض هر لامپ كاهش يافته (چيزي حدود ۲۵ درصد) قيمت لامپ‌ها به علت خريد عمده كاهش يافته و نيازي به اشغال فضايي از انبار جهت لامپ‌ها نمي‌باشد. زمان اقتصادي براي تعويض لامپ‌ها معمولاً ۷۰ درصد تقويم عمر آنها مي‌باشد.

طرح ريزي كرد (D & M)جهت اين كار بايد يك برنامه بهره‌برداري و نگهداري كه شامل بندهاي زير باشد:

- اوزاليد نقشه تأسيسات
- جداول چراغ‌ها و كنترل‌ها
- مشخصات وسايل و محصولات
- تأمين كننده‌هاي تجهيزات و خدمات و شماره تماس‌هاي آنها
- جداول تميز كردن چراغ‌ها و تعويض لامپ‌ها با گزارش‌هاي انجام خدمات
- روش‌هاي تعويض لامپ، بالاست و تميز كردن چراغ‌ها
- روش‌هاي تنظيم سنسورهاي نوري و حضور افراد
- روش‌هاي درس معدوم كردن چراغ‌ها و بالاست‌ها

۲–۱۰ – محاسبات اقتصادی روشنایی

براي محاسبه اقتصادي روشنايي ۲ راه مورد استفاده قرار مي‌گيرد.

۲– ۱۰–۱ – مدل باز پرداخت ساده

اين مدل بر اساس محاسبه مبلغ سرمايه گذاري شده و هزينه صرفه‌جوئي شده مي‌باشد و با تقسيم اين دو مقدار « دورة باز پرداخت ساده» را محاسبه مي‌كند و ساده‌ترين مدل اقتصادي مي‌باشد.

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 نمی‌کند.**
- **نرخ بهره یا هرگونه سرمایه‌گذاری مجدد را در طول عمر سیستم در نظر نمی‌گیرد.**

۲– ۱۰– ۲ – مدل ارزش کنونی خالص

این روش هزینه‌ها را در طول عمر سیستم روشنايي که واقعاً پیش مي‌آیند در نظر گرفته و با استفاده از نرخ بهره (تغییر ارزش پول در واحد زمان را در نظر مي‌گیرد) به زمان حال بر مي‌گرداند که موجب افزایش کیفیت آن به عنوان ابزار تصمیم‌گیري گشته و گسترش روز افزوني یافته است.

معادله زیر چگونگی استفاده از این مدل را نشان می‌دهد:

$$C_{tot} = I_{in} + \sum I_1 R_{1L} + E \times R_E + M \times R_M + \sum C \times R_{1C} - SV \times R_{1SV}$$

در این معادل علائم عبارتند از :

I_{in} : کل سرمایه‌گذاری اولیه شامل چراغ‌ها، لامپ‌ها، بالاست‌ها، نصب و ...

I_1 : سرمایه‌گذاری در قسمت‌های با عمر کوتاه (لامپ‌ها)

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

$$R_1 = \frac{1}{(1+i)^n} \qquad \text{و} \qquad R_{E,M} = \frac{\left(1+i\right)^{n-1}}{i(1+i)^n}$$

با استفاده از جداول ۹ و۱۰ 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 شکل۲۶ 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 زمانیکه 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 تجارتی و حفظ مواد انبار شده می‌باشد.

بعنوان مثال، در صنایع نساجی برای اینکه در سالن‌های ریسندگی و بافندگی الیاف 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

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، یاجریان نیروی جاذبه (انتقال طبیعی گرما) یا کوران اجباری ایجاد شود،که این معمول تأسیسات کوچکتری 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

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 دربست 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) یاچگالنده‌های با آب خنک در سیستم‌های بزرگ صورت می‌گیرد. برای خنک کردن آب چگالنده اغلب از یک برج خنک کن (مطابق شکل ۲) استفاده می‌شود.

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 هواي گرم و هم هواي سرد از طريق كانالهاي مجزا به هر منطقه تغذيه مي‌شوند. هواي گرم و سرد بسته به دماي مورد نياز ناحيه به نسبت‌هاي متفاوت مخلوط مي‌شوند. هنگامي كه درجه حرارت متوسط است مشكلاتي به وجود مي‌آيد. تجربه نشان مي‌دهد كه در اين حالت به محض اختلاط هواي گرم و سرد براي دستيابي به درجه حرارت مطلوب، گرمايش و سرمايش همزمان روي مي‌دهد. شكل۳ طرحي از اين سيستم است . ترموستاتهاي موجود در هر ناحيه ميزان هواي گرم و سرد تغذيه شده براي دستيابي به درجه حرارت مطلوب را كنترل مي‌كنند.

۳-۳-۲- سیستم‌های چند ناحیه‌ای

سيستم جند ناحيه‌اي مشابه سيستم مجراي دوگانه است با اين تفاوت كه واحدهاي (جعبه‌هاي) اختلاط به جاي آنكه در سرتاسر ساختمان پخش شده باشند، در پروانه قرار گرفته‌اند . دريچه‌هاي هر ناحيه مخلوط هواي گرم و سرد لازم براي رسيدن به درجه حرارت مطلوب را كنترل مي‌كنند. بدين ترتيب واحد تهويه قادر است به طور همزمان هواي گرم را به يك ناحيه و هواي سرد را به ناحية ديگر تغذيه كند (شكل ٤ را ملاحظه كنيد) دريچه‌ها توسط ترموستاتهاي واقع در هر ناحيه كنترل مي‌شوند.

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 کردو در نتیجه توان لازم برای فن راکاهش داد. هوای خنک فشار بالا به هر ناحیه تغذیه می‌شود. ترموستات موجود درهر 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 راکاملاً 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

خنك‌كنهاي تبخيري در اماكن مسكوني و سيستم‌هاي كوچكتر با آب و هواي گرم و خشك به كار مي‌روند. اين سيستم‌ها با تبخير آب به هوا و در نتيجه خنك كردن ۲/۳ MJ/Kg آن كار مي‌كنند. هوا ، گرما (گرماي نهان تبخير) را با نرخ تقريبي ۱۰۰۰) از آب تبخير شده (بسته به دماي تبخير) از دست مي‌دهد. اين فرآيند در Btu/lb(امتداد خط دماي ثابت حباب مرطوب صورت مي‌گيرد و در نتيجه دماي حباب مرطوب محيط ، حد پائين سرمايش قابل حصول است. در عمل از شرايط اشباع پرهيز مي‌شود. مصرف انرژي سيستم‌هاي تبخيري از سيستم‌هاي تبريد كمتر است ولي اين سيستم‌ها براي ايجاد سرمايش كافي به جريانهاي بيشتري از هواي بيرون نياز دارند زيرا درجه حرارتهاي هواي خنك تمايل به افزايش دارند، يك ابتكار جديد خنك كاري غير مستقيم توسط سيكل تبخير است (شكل ۷ را ملاحظه كنيد).

۳-۳-۶- واحدهای سقفی – پنجره‌ای یا (سیستم‌های تک منطقه‌ای)

این واحدها دارای محدوده‌ای از ۰/۳ KW تا ۳۰ KW (۰/۵ p تا ۴۰ 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 جوری 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 ۰/۱۴ 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 ورودي‌ها و خروجي‌هاي حرارت را براي يك خانه كه تحت تهويه مطبوع قرار دارد را نشان مي‌دهد.

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 ($Kcal/m^2.h.°C$)

Δt_e : اختلاف دمای مؤثر در دو طرف دیوار (°C)

t_O : هوای خارج (C°)

I : انرژی نور خورشید که بوسیله سطح دیوار جذب می‌شود

$\alpha_\circ$: ضریب انتقال حرارت هوا در سطح خارجی دیوار

جدول ۲ انتقال حرارت از ترکیب‌های نمونه دیواررا 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 $t(°C)$ و $t_w(°C)$ 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 $(Kcal/m^2.h.°C)$ و مساحت A سطح جامد (m^2) می‌باشد. جدول شماره۳ 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 $(q_G[Kcal/h])$ 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} : شار حرارتی تشعشعی $(Kcal/h)$

q_{GC} : شار حرارتی هدایتی $(Kcal/h)$

A_G : سطح شیشه (m^2)

C_S : ضریب شفافیت سطح شیشه و غیره

q_{SG} : استاندارد بار تشعشعی خورشید $(Kcal/m^2.h)$

q_{CG} : ضریب انتقال حرارت هدایتی $(Kcal/m^2.h)$

جدول ٤ ضريب شفافيت را براي شيشه پنجره با پرده داخلي نمايش مي‌دهد.

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 = حجم اتاق (m^3) × دفعات تهویه (دفعه / ساعت)

$$q_V = q_{VS} + q_{VL}$$

$$q_{VS} = 0.29(t_O - t_r) \times V_S$$

$$q_{VS} = 720(x_O - x_r) \times V_S$$

علائم عبارتند از :

q_{VS} : بار حرارت محسوس بوسیله تخلیه $(Kcal/h)$

q_{VL} : بار حرارت نهان بوسیله تخلیه $(Kcal/h)$

V_S : مقدار تخلیه (m^3/h)

t_O : درجه حرارت خارج $(°C)$

t_r : درجه حرارت داخل $(°C)$

χ_O : رطوبت مطلق هوای خارج (Kg/Kg-dry)

χ_r : رطوبت مطلق هوای داخل (Kg/Kg-dry)

۰/۲۹ (Kcal/m^3.°C) = ۱/۲ (Kg/m^3) وزن مخصوص هوا × ۰/۲۴ (Kcal/Kg.°C) حرارت ویژه

۷۲۰ (Kcal/m^3) = ۱/۲ (Kg/m^3) وزن مخصوص هوا × ۶۰۰ (Kcal/Kg) حرارت نهان بخار

۳-۴-۱- ۵ - بار هوای تازه

بار حرارتی هوای تازه (q_{OA} [Kcal/h]) از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$q_{OA} = 1.2 V_O \times (h_O - h_V)$$

این معادله می‌تواند به صورت مشابه قسمت ٤ نوشته شود.

علائم بکار رفته عبارتند از :

V_O : حجم هوای تازه مورد استفاده (m^3/h)

h_O : آنتالپی هوای خارج (Kcal/Kg-day)

h_r : آنتالپی هوای داخل (Kcal/Kg-day)

جدول شماره ٦ تعداد تهویه لازم را در موقعیت‌هاي مختلف و در زمان‌هاي سرمایش وگرمایش نشان مي‌دهد.

۳-۴-۱-۶- سـایـــر

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 خانگي 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 جزیی داشته باشند.

ج) حرارت تولید شده توسط بدن انسان

بدن افرادی که در محیط‌های تحت تهویه مطبوع قرار دارند بعنوان یک منبع حرارتی ۳۷°C بار حرارتی تولید می‌کنند که ناشی از فعالیت‌های متابولیسمی آنها می‌باشد. جدول شماره ۸ حرارت محسوس و نهان تولید شده افراد بازای فعالیت‌های مختلف داده شده است .

۳-۴-۱- ۷ - بار فن‌ها

بار حرارتي توليد شده توسط فن‌ها از فرمول زير محاسبه مي‌شود:

$$q_F = 860 \times L_F$$

$$L_F = \frac{P_T \times Q}{6120 \times \eta_F}$$

L_F : قدرت شفت فن (KW)

P_T : فشار کلی فن (mm H_2O)

Q = حجم هوا (دقیقه / m^3)

η_f : راندمان فن

کل بار حرارتي موتور فن از رابطه زير بدست آمده است.

بار حرارتی کل $q'_F = \frac{q_F}{\eta_M}$

راندمان مقدار : η_M

جداول شماره ۹ و شماره ۱۰ راندمان نوعي فن‌ها و موتورها را نشان مي‌دهد.

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 می‌شود:

V_S = حجم اتاق (m^3) × تعداد دفعات تهویه (دفعه / ساعت)

$$q_V = q_{VS} + q_{VL}$$

$$q_{VS} = 0.29 \times (t_r - t_O) \times V_S$$

$$q_{VL} = 720 \times (x_r - x_O) \times V_S$$

۳-۴-۲-۳ - بار حرارتی هوای تازه

بار حرارتي منتقل شده توسط هواي تازه از طريق زير محاسبه مي‌شود:

$$q_{OA} = 1.2 \times V_O \times (h_r - h_O)$$

این معادله می‌تواند 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 ناشي از بار تشعشعي خورشيد، گرماي توليد شده توسط بدن افراد، روشنايي و لوازم اداري بطور مستقيم موجب گرم شدن اتاق نمي‌شوند و در محاسبات وارد نمي‌شوند.

۳-۵- استفاده از کامپیوتر جهت محاسبه بار سرمایش و گرمایش

با توجه به اهمیت سیستم تهویه مطبوع (HVAC) ومصرف زیاد آن در ساختمانها و همچنین امکان صرفه‌جوئی 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 تقريبي ديگر، روش درجه – روز مي‌باشد كه براي ساختمانهاي كوچك مورد استفاده قرار گرفته و از دماي هواي بيرون تبعيت مي‌كند. مقادير درجه روز گرمايش با تعيين ۱۸°) و دماي متوسط ۲٤ ساعته محاسبه مي‌شود و Cاختلاف بين يك دماي مرجع (معمولاً براي روزهاي گرمايش در هر سال با هم جمع گرديده و براي كل سال بدست مي‌آيد. اين روش منابع حرارتي داخل ساختمان را به حساب نمي‌آورد به همين دليل دماي مرجع را بالاتر در نظر مي‌گيرند چرا كه مي‌توان فرض نمود چراغ‌ها، تجهيزات و افراد حرارت كافي براي دقت اين روش را در ASHRAEافزايش دما بين ۲ تا ۳ درجه سانتي‌گراد توليد مي‌كنند. حدود ۲۰ درصد تخمين زده است.

روش دوم استفاده از يكي از چندين شبيه‌سازي كامپيوتري موجود است. روش كار و پيچيدگي اين برنامه‌ها با يكديگر متفاوت است اما اساس كار همه آنها استفاده از الگوريتم‌هايي و HVACبراي مدل‌سازي اتلافات و جذب حرارت ساختمان‌ها ، مشخصات كاري تجهيزات الگوهايي براي آب و هواي خارجي مي‌باشد.

بسياري از اين برنامه‌ها را مي‌توان براي مقايسه سرمايه سيستم و هزينه‌هاي كاري مورد استفاده قرار داد و لذا در تحليل‌هاي اقتصادي مفيد واقع مي‌شوند. دقت اين قبيل نرم افزارها تقريباً بين ٥ تا ۱۰ درصد مي‌باشد.

۳-۶- فرصت‌های صرفه‌جوئی انرژی در تهویه مطبوع

۳-۶-۱-کنترل‌ها را بهینه کنید

کنترل‌ها را بهینه کنید طوري که سرمایش و گرمایش تنها در مواقع لزوم صورت پذیرد. اولین گام بهبود کارآئي سیستم تهویه مطبوع بررسي مواردي است که با تغییرات سر راست و مستقیم قابل اجرا هستند. بعنوان نمونه بسیاري از صرفه‌جوئي‌ها از طریق استفاده از سیستم‌هاي کنترلي پیچیده (نظیر کامپیوترها و میکرو کامپیوترها) و سیستم‌هاي کنترلي ساده در دسترس هستند.(Time Clock)مانند

بعنوان مثال بسیاري از چیلرها براي حداکثر بار طراحي انتخاب مي‌شوند و اغلب زیر ظرفیت کار مي‌کنند و یکي از زمینه‌هاي مهم جهت بررسي، کارکرد در بارهاي کم است. استفاده دقیق از تجهیزات در شرایط بار جزئي مي‌تواند به صرفه‌جوئي‌هاي عمده‌اي در مصرف انرژي منتهي شود. مي‌توان وسایل کنترل را طوري تنظیم نمود تا بجاي اینکه چند چیلر در بار جزئي کار کنند یك چیلر با بار کامل کار کند یا بجاي اینکه یك چیلر بطور دائم در بار جزئي کار کند بصورت قطع و وصل در بار کامل کار کند که این خود ۵۰ درصد صرفه‌جوئي در مصرف انرژي به همراه دارد یا کنترل جهت خاموش کردن فن‌ها در حالتي که نیاز به تهویه نیست و یا کنترل پمپها ، زماني که چند پمپ دربار جزئي درحال کارند و ....

۳-۶-۲ - ظرفیت سیستم را بهینه کنید

کاهش ظرفیت سیستم به پائین‌ترین سطح قابل قبول (بر اساس استانداردها و آئین‌نامه‌هاي محلي) بطور مثال نسبت تصفیه هوا تنها باید به اندازه‌اي باشد که در یك روز که نیاز به حداکثر سرمایش است تأمین نماید. در صورت وجود ظرفیت اضافي ممکن است توان در پنکه تلف شود و یا موجب سرمایش 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 بجاي دمپر انرژي مصرفي پنکه‌ها به نصف کاهش مي‌یابد. چرا؟

۳-۶-۳ - کاهش بار ساختمان

تصفیه، بارهاي حرارتي خورشیدي، حرارت تجهیزات. بارها یا تلفات حرارتي هدایت یا تشعشع همگي مي‌توانند به راز منبع حرارتي ساختمان اضافه یا کم شوند. روش‌هاي قابل اجرا عایق‌کاري، درزبندي، پوشش‌هاي انعکاسي پنجره‌ها و ایجاد سایه، تخلیه حرارت خروجي و تلف شده تجهیزات و بهینه‌سازي سیستم روشنائي مي‌باشد.

عایق‌کاري جهت جلوگیري از انتقال حرارت از طریق هدایت مي‌باشد که تأثیر U (U-value)بسزایي در کاهش بار تهویه دارد. مقدار تأثیر عایق حرارتي با پارامترهاي بنام عدد آمده است و Kw با نام U بیان مي‌شود. در قسمت قبل عدد R (R-value) و عدد بر ساعت بر فوت مربع بر اختلاف درجه بر حسب Btuواحد آن مقدار در واحد انگلیسي، فارینهایت مي‌باشد و معادله انتقال حرارت بصورت زیر محاسبه مي‌شود.

Q = U(اختلاف درجه حرارت) × (سطح) ×

است و در واقع حسن کار با آن این است که در U در واقع عکس عدد Rعدد کلي مي‌توان Rصورتیکه لایه‌هاي مختلفي در کنار هم قرار گیرند براي بدست آوردن عدد را بدست آورد یا U تك تك آنها را با هم جمع نموده و سپس با محاسبه معکوس آن عدد Rعدد مستقیماً از معادله زیرگرماي انتقال را محاسبه نمود.

$$Q = \frac{1}{R} (\text{اختلاف درجه حرارت}) \times (\text{سطح}) \times$$

براي چند عايق حرارتي جهت انتخاب عايق حرارتي نمونه Rجدول ۱۱ مقادير عدد براي مصالح ساختماني نيز آمده است.Rآمده است و در قسمت پائين جهت مقايسه عدد

توجه شود، بلكه بسته به Rجهت انتخاب عايق حرارتي مناسب تنها نبايد به عدد مورد استفاده بايد به خواص ديگر آن، نظير قابليت اشتعال، هزينه نصب، قيمت و برخي خواص ديگر توجه شود.

مثال برای نصب عایق :

هر چه ضخامت عایق بیشتر باشد، صرفه‌جوئی انرژی نیز بیشتر می‌باشد. اما سرمایه‌گذاری یک عامل محدود کننده می‌باشد و باید میزان صرفه‌جوئی به اندازه‌ای باشد که مقدار سرمایه‌گذاری انجام شده را توجیه کند. هدف از این مثال نشان دادن بهترین ضخامت عایق‌کاری 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 ۳۰°F می‌باشد.**
- **هزینه تلفات انرژی $ ۱۰ بازای هر میلیون Btu می‌باشد.**
- **هزینه بالاسری مقدار ثابت $ ۰/۱۲ بازای فوت مربع می‌باشد.**
- **هزینه دستمزد کارگر $ ۰/۲ بازای فوت مربع می‌باشد.**
- **هزینه اضافی دستمزد کارگز بازی افزایش واحد R $ ۰/۰۱ بر فوت مربع می‌باشد.**
- **هزینه مواد $ ۰/۰۹ بازای فوت مربع می‌باشد.**

برای اعداد داده شده بالا محاسبات اقتصادی در جدود 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 مي‌تواند به تغییراتي در الگوهاي اجرايي منجر شود که حاصل آن صرفه‌جوئي‌هاي عظيم باشد.

بجاي راه‌روها، فضاهاي ارتباطي، فضاهاي خالي و ... مکان‌هايي را که در آن افراد مشغول کارند را بايد تهويه کنيم. جهت انجام چنين کاري بهتر است ساختمان را از ديدگاه حرارتي بصورت افقي و عمودي بصورت زير تقسيم‌بندي کنيم.

الف) فضاها را از ديدگاه نياز و يا عدم نياز به تهويه مطبوع مرتب کنيد. اتاق‌هاي که نياز به تهويه مطبوع ندارد نزديك ديوار بيروني قرار دهيد (بدين ترتيب يك ديوار دو جداره براي قسمت تهويه شوند ايجاد کرده‌اند)

ب) اتاق‌ها بر اساس نيازمنديشان (نوع کار و شغل) دسته‌بندي بهينه کنيد.

- جداول زمان کاري
- حرکت پرسنل و اثاثيه
- اتاق‌هايي که توليد بار حرارتي بالايي دارند نزديك ديوار بيروني قرار دهيد.

ج) از يك صفحه کمکي براي جداسازي ناحيه‌هاي مختلف حرارتي مي‌تواند استفاده شود.

د) ورودها بايد به سمت محيط‌هاي بسته يا حفاظت شده در مقابل باد باشند.

۳–۶–۵ – انتخاب کار آمدترین فرآیند گرمایش و سرمایش است

در ساختمان‌سازي جديد، ترکيب ساختمانهاي با عايق‌بندي مناسب و جنبه‌هاي طراحي انفعالي مي‌تواند انرژي گرمايشي را به مقدار زيادي کاهش دهد.

در شرايط آب و هوايي خاص مصرف انرژي سرمايش تبخيري و تر يا خشك از مصرف انرژي تبريد کمتر است بررسي استفاده از سرمايش موضعي و يا مرکزي نيز مي‌تواند در مواقعي مفيد باشد.

- در مورد گرمايش نيز مي‌توان استفاده از بويلرها و مشعل‌هاي راندمان بالا ، استفاده از اکونومايزر و ... را پيشنهاد نمود.

براي يك اندازه خاص موتور ، محدوده نسبتاً وسيعي از راندمان (كارآيي) موتور الكتريكي وجود دارد. بطور مشابه در محركهاي موتوري يا پمپ‌هاي سرعت متغير امكان صرفه‌جوئي وجود دارد.

۳–۶–۶ – بکارگیری کارآمدترین تجهیزات

به عنوان مثال ۳ نوع چيلرهاي فشرده سازي مكانيكي وجود دارد. گريز از مركز، پيچشي و رفت و برگشتي (پيستوني) معمولاً چيلرهاي قديمي از ۰/۸ تا ۱ كيلووات ساعت بر تن راندمان دارند در صورتيكه چيلرهاي جديد راندمان نشان تا مقدار ۰/٤۹ KWh/ton افزايش يافته و مصرف انرژيشان نصف گرديده است.

۳–۶–۷ – بکارگیری مؤثر تجهیزات

استفاده از موتورها دو بارگذاري مناسب، تعمير و نگهداري مناسب تجهيزات ، تنظيم مناسب كنترلها مي‌تواند از اين دست باشد.

۳–۶– ۸ – استفاده از مفاهیم طراحی انفعالی

طرح ساختمان (يا بار سازي مجدد آن) به طريقي باشد كه جريان انرژي به محيط و از محيط را بهينه سازد و از انرژي خورشيد و روشنايي روز و دماي هواي خارج حداكثر استفاده گردد.

۳–۶– ۹ – بازیافت حرارت

اين موضوع خاصه در هواي سرد مهم و داراي ارزش اقتصادي است . در واقع حتي اگر تفاوت درجه حرارت‌هاي كم و توجيه اقتصادي فرآيند دشوارتر باشد باز هم مي‌توان « سردي» را بازيافت نمود.

۳-۶-۱۰- امکان ذخیره انرژی

ذخیره سازي سرمايه به معني استفاده از انرژي الكتريكي در ساعات غير پيك براي ايجاد سرمايش و استفاده از سرمايش ذخيره شده در ساعات پيك مي‌باشد. اين كار مي‌تواند با ذخيره‌سازي آب سرد، يخ باشد. ذخيره‌سازي يخ نياز به حجم كمتري دارد. اين كار مي‌توانند موجب كوچك شدن اندازه چيلر در مرحله طراحي و يا نياز به خريد چيلر يا ظرفيت جديد براي سيستم كه نياز به افزايش ظرفيت دارند گردد. شكل ۱۳ كاهش ظرفيت چيلر در صورت امكان ذخيره‌سازي انرژي را نشان مي‌دهد.

فصل ۵– مباحث ویژه در مدیریت انرژی الکتریکی

۱ – هارمونیک‌ها

۱–۱ – مقدمه

تکرار مي‌شود را مي‌توان با مجموعه از موجهاي f هر موج پريوديك كه با فركانس و .... بيان نمود كه فرمول زير : 3f ، 2f ، f سينوسي با فركانس

$$f\ (\alpha) = \sum_{i=1}^{\infty} ai \sin\ (2\Pi ift + \varphi_i)$$

مي‌باشد موجي اصلي و بقيه (f)به موج سينوسي كه فركانس آن برابر فركانس موج اصلي موج‌ها را هارمونيك‌هاي موج اصلي نامند.

بعضي از موج‌ها ممكن است تنها تركيبي محدود از چند موج سينوسي باشد. مانند شكل ۱ كه موجي را نشان مي‌دهد كه تركيبي از موج‌هاي اصلي و هارمونيك‌هاي ۳ و ۵ و ۷ مي‌باشد. همچنين بايد توجه داشت در صورتيكه موج كاملاً سينوسي باشد آنگاه يك موج بدون هارمونيك خواهد بود.

با اين مقدمه مي‌خواهيم نتيجه بگيريم، در صورتيكه به هر دليل شكل موج سينوسي ولتاژ و يا جريان برق دچار اعو جاج و تغيير شكل شوند به معني وجود هارمونيك‌ها در موج اصلي سينوسي بوده و مي‌تواند مشكلاتي را در شبكه توزيع و مصرف كنندگان بوجود آورند.

- علت ايجاد اعو جاج (هارمونيك) درشكل موج ولتاژ و جريان

كوره‌هاي القايي، كوره قوس الكتريكي، سيستم‌هاي الكترونيك قدرت، لامپ‌هاي كم مصرف، كنترل كننده‌هاي دور متغير، لوازم خانگي مانند تلويزيون و كامپيوتر، شارژرها ، دستگاه‌هاي جوشكاري و بارهاي غير خطي و .... جهت بيان ميزان اعواج شكل موج سينوسي كه از رابطه زير محاسبه مي‌شود:(THD)از معياري بنام خرابي كلي هارمونيكي

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{n} ai^2}}{a_1} \times 100$$

علائم عبارتند از :

: دامنة هر موج سينوسي مي‌باشد.a

۱–۲– اثر هارمونیک‌ها روی تجهیزات برقی

۱–۲–۱– اثر روی هادی‌ها

در اثر عبور جريان‌هاي غير سينوسي از هادي‌ها دو اثر تحت عناوين:

۱ – اثر پوستي

۲ – اثر پوستي مغناطيسي

روي مي‌دهد. اثر پوستي به دليل توزيع غير يكنواخت جريان‌هاي متناوب در هادي‌هاست كه رأكتانس مغز هادي نسبت به پوسته آن جريان كمتري را عبور مي‌دهد و در نتيجه تلفات و افت ولتاژ افزايش مي‌يابد.

اثر پوستي مغناطيسي به دليل ايجاد جريانهاي گردابي در هادي‌ها مي‌باشد كه هم باعث افزايش تلفات مي‌گردد و هم اينكه باعث توزيع غير همگن جريان مي‌شود و افزايش فركانس هارمونيك‌ها اين مسائل را تشديد مي‌كند.

افزايش تلفات در هادي‌ها باعث داغ شدن و كاهش عمر، همچنين اثرات مكانيكي نظير افزايش شكم هادي و كاهش استقامت آنها مي‌شود.

اثر ديگري كه ناشي از هارمونيك‌هاي مضرب ۳ است، عبور جريان از سيم نول مي‌باشد. مجموع هارمونيك‌هاي مضرب ۳ از جنس مؤلفة صفر و مقدار آن سه برابر هر كدام است. لذا موجب تلفات و نيز برقرار شدن سيم نول مي‌گردد كه مشكل ايمني و كم شدن سطح مؤثر ولتاژ را به همراه دارد.

جريانهاي خازني بيشتر در كابل‌ها مطرح مي‌باشد كه در اثر ولتاژهاي هارمونيكي، نوسانات ولتاژ و بيشبودهاي ولتاژ ايجاد مي‌شود. يكي از مشكلاتي كه شركت‌هاي برق با آن

روبرو هستند ترکیدن سر کابل‌ها و خود کابل‌ها مي‌باشد که در اثر عوامل بالا مي‌باشد و در محیط‌هاي هارمونیکي باید کابل و دیگر وسایل را در مقادیري کمتر از مقدار نامي نمود.derateبهره‌برداري کرد یا اصطلاحاً باید آنرا را

۱-۲-۲- اثر روی کلیدها و فیوزها

وقتي جریان هارمونیکي با دامنه زیاد از مدار عبور مي‌کند باعث عملکرد غیر صحیح کلیدها و فیوزها خواهد شد.

- در كنتاكتورهايي كه با كويل تحريك مي‌گردند عبور جريان هارمونيكي باعث افزايش درجة حرارت و باعث عملكرد رله‌هاي بي‌متال در جرياني پائين‌تر از جريان قطع مي‌گردد.
- در فيوزها جريان هارمونيكي ممكن است باعث شيفت منحني عملكرد فيوز شود. و در نتيجه باعث عملكرد اشتباه فيوز شود. همچنين در فيوزها مخصوصاً فيوزهاي كاردي كه المان مشبك دارند، در فركانس‌هاي بالا افزايش مقاومت و در نتيجه عملكرد در جريان پائين‌تر را سبب مي‌شود.

۱-۲-۳- اثر روی ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها به عنوان بخش مهمي از سيستم قدرت محسوب مي‌شوند و عملكرد صحيح آنها بسيار مهم مي‌باشد لذا اثرات آلودگي‌هاي توان روي آنها را در زير بررسي مي‌نمائيم.

موج هارمونيكي در ترانسفورماتورها باعث ايجاد مسألة رزونانس احتمالي بين سيم‌پيچ‌هاي ترانس‌ها و خازن‌هاي شبكه، ايجاد لرزش در هسته و سيم‌پيچ‌ها شود.

با افزايش تلفات هسته حرارت اضافي در ترانس توليد مي‌شود لذا بايد آن را در f^2B^2قدرت كمتري بكار گرفت بخش مهم تلفات هسته بخاطر جريان گردابي مي‌باشد چون با متناسب است و اگر هارمونيك و يا عدم تعادل ولتاژ وجود داشته باشد خيلي بيشتر از تلفات هيسترزيس اثر مي‌گذارد به همين منظور يك ضريب براي كاهش توان در محيطهاي آلوده به فرم زير تعريف مي‌شود:

$$K_1 = \frac{\sum_{h=2}^{n} I_h^{\,2} h^2}{\sum I_h^{\,2}}$$

اين ضريب معرف اين است كه چقدر بايد ظرفيت ترانس را كاهش دهيم.

$$P_T = \frac{P_n}{K_f} \ldots\ldots\ldots K_f \rangle 1$$

در محيطهايي كه آلودگي هارمونيكي دارند بايد از ترانس‌هاي مخصوص استفاده نمود كه معمولاً حجم و وزن آنها نسبت به نوع معمولي ۱۵ درصد بيشتر مي‌باشد و قيمت آنها معمولاً ۲ برابر نوع معمولي آنها مي‌باشد. معمولاً خنك كنندگي سه مرحله‌اي دارند : (روغن – آب – هوا) .

- شكست عايقي (حالتهاي گذرا)

تعداد دور ترانس بر حسب اينكه چقدر مي‌توانند ولتاژ بين هر دو را تحمل كنند تعيين مي‌شود و در حالت پايدار، توزيع ولتاژ يكنواخت بين دورها خواهيم داشت، اگر اضافه ولتاژهاي گذرا پيش آيد، توزيع ولتاژ يكنواخت نبوده و ممكن است كه ولتاژ اعمالي به بعضي

از دورهاي ابتدايي از ولتاژ شكست آنها هم بيشتر شود و بدون نياز به حرارت بيشتر يا اضافه ولتاژهاي بيشتر شكست عايقي حاصل شود. لذا كليد زني و برق آسمان مي‌توانند باعث سوختن ترانس‌ها شوند.

- پديده فرو رزونانس

ترانس تغيير مي‌كند لذا ممكن است در بعضي X_1در ولتاژهاي هارمونيكي مقدار هارمونيك‌ها رزونانس بين سلف معادل ترانس و خازن‌هاي شبكه حاصل شود كه باعث تقويت ولتاژ و كمك به شكست عايقي مي‌شود.

- نوسانات ورقه‌ها و سيم‌ها

در اثر عبور جريان‌ها و شارهاي هارمونيكي ممكن است تنش‌هاي اعمالي به ورقه‌ها و سيم‌ها باعث ايجاد نوسان شود كه اين لرزش‌ها باعث ايجاد نويز و سر و صدا و ازدياد تلفات مكانيكي و در نتيجه ازدياد حرارت ترانس مي‌شوند.

- مؤلفه‌هاي صفر و هارمونيك سوم در ترانس سه فاز

اگر اتصال ترانس به گونه‌اي باشد كه جريان هارموني سوم نتواند عبور كند، (مثل اتصال ايزوله) آنگاه شار مؤلفة هارموني سوم پيدا مي‌كند و در نتيجه ولتاژ مؤلفة هارموني سوم Y پيدا مي‌كند. عدم عبور مؤلفة صفر جريان باعث شيفت خنثي در ترانس مي‌شود، لذا ولتاژ‌هاي فاز ترانس تغيير مي‌كنند و ممكن است در چنين شرايطي رله‌هاي زير ولتاژ نامي ترانس عمل كنند و باعث خاموشي و قطعي ولتاژ مصرف كننده شوند.

اگر يك طرف ترانس هم مثلث باشد باعث حذف مؤلفة سوم ولتاژ در ولتاژ خط خواهد شد ولي جريان هارموني سوم شديدي در اتصال مثلث عبور خواهد كرد كه باعث ازدياد تلفات شود.Derateشده و ظرفيت سيم‌پيچ را كم مي‌كند و لذا ترانس بايد

- مؤ لفة dc در ترانس

مثل يك dc گردد در اين صورت ترانس براي جريان dcاگر جريان به دليلي داراي مؤلفة پيدا مي‌كند و لذا باعث به اشباع رفتن ترانس و حرارت dcفيلتر عمل مي‌كند و لذا شار مؤلفة اضافي و كاهش عمر ترانس و .... مي‌گردد ولي مهمتر از همه باعث غير سينوسي شدن ولتاژ اين حالت مي‌تواند عملكرد VT و CTهم مي‌گردد بخصوص در ترانس‌هاي خاص مثل يكي از بدترين پديده‌هاي كيفيت توان و بخصوص dcترانس را به شدت مختلف كند. لذا مؤلفة براي ترانس‌ها كه جزء مهمي از شبكه هستند، مي‌باشد.

مثالي از اثرات هارمونيك بر تلفات و راندمان ترانسفورماتورها

همانطور كه در جدول ١ ديده مي‌شود در شرايطي كه بار يك ترانسفورماتور تنها شامل هارمونيك فركانس اصلي باشد تنها ٢/٥ درصد تلفات مسي و ٢/٥ درصد تلفات آهني وجود دارد درحاليكه با افزايش هارمونيكي بودن جريان به علت آنكه تلفات آهن شامل تلفات هيسترزيس و تلفات جريان گردابي تقريباً با مجذور فركانس متناسب است، اين تلفات به ميزان قابل توجهي افزايش مي‌يابد. در اينجا فرض شده است كه تلفات مسي ثابت باقي مي‌ماند. البته مقاومت سيم پيچي‌ها نيز به علت اثرات پوستي افزايش مي‌يابد كه به معناي افزايش تلفات مسي است. در هر صورت مي‌بينيم كه در صورتي كه تمام جريان هارمونيكي باشد راندمان ترانسفورماتور تا ٦٧ درصد كاهش مي‌يابد.

در منحني صفحة بعد كاهش راندمان يك ترانسفورماتور وقتي كه بار آن يك منبع تغذيه سوئيچينگ باشد ديده مي‌شود. همانطور كه مي‌بينيم اگر تمام بار اين ترانس منبع تغذيه سوئيچينگ باشد راندمان ترانس به ٤٠ درصد نيز مي‌رسد كه با توجه به افزايش تلفات آهني قابل توجيه است.

۱-۲-۴- اثر بر روی ماشین‌های الکتریکی

تمام پديده‌هاي مطرح شده در ترانس‌ها براي موتورها نيز صادق مي‌باشند به علاوه اينكه درموتورها متناسب با درجة هارمونيك، رأكتانس نشتي افزايش مي‌يابد.

اگر موتور با يك منبع ولتاژ هارمونيكي تغذيه شود براي كاهش جريان هارمونيكي بهتر است كه موتور داراي امپدانس نشتي بالاتري باشد و اگر موتور از يك منبع جريان هارمونيكي تغذيه شود، بايد جهت كاهش هارمونيك ولتاژ از موتور با رأكتانس نشتي كمتر استفاده شود.

امواج غير سينوسي هارمونيكي در ماشين‌هاي الكتريكي تلفات اضافي با گشتاورهاي ضرباني لرزش و صداي زياد توليد مي‌كنند و تلفات ايجاد شده در روتور هم ايجاد مي‌كنند كه باعث داغ شدن روتور مي‌شوند. لذا موتور بايد در ظرفيتي كمتر از مقدار نامي بكار رود.

۱-۲-۵-اثر روی خازن‌ها

در بسياري از موارد براي بهبود عملكرد شبكة جبران توان راكتيو و اصلاح ضريب توان در بارهاي مختلف در قسمت‌هايي از شبكه خازن‌گذاري مي‌گردد، طراحي اين خازن‌ها براي انجام مي‌شود. خازن‌ها به فركانس بسيار حساس (f=50 Hz)فركانس مؤلفة اصلي شبكه در اثر تغيير فركانس، خازن‌ها در فركانس‌هاي بالا مثل چاه Cمي‌باشند و با فرض ثابت بودن عمل مي‌كنند و لذا با وجود مؤلفه‌هاي هارمونيكي ولتاژ با دامنه كم ولي فركانس بالا جريان عبوري از خازن حتي از مقدار نامي هم مي‌تواند بيشتر شود و باعث سوختن خازن و يا فيوز آن گردد. رابطه مربوطه:

$$X_C = \frac{1}{Cw} = K\frac{1}{f} \quad \text{و} \quad I_n = n(V_n)$$

يعني اگر هارمونيك هفتم ولتاژ داراي ۱۵% دامنة مقدار نامي باشد، مقدار جريان ناشي از اين هارمونيك دامنة ۱۰۵% دارد كه اين امر باعث سوخت فيوز خازن مي‌شود. در برخي از فركانس‌ها ممكن است بين خازن و سلف شبكه رزونانس پديد آيد كه در نتيجة آن ولتاژ و جريان زيادي ممكن است توليد شده و باعث سوختن خازن شود. در اثر پديده‌هاي گذراي ولتاژ، چون پديده‌هاي فركانس بالا مي‌باشند لذا خازن مثل اتصال كوتاه عمل مي‌نمايد و سريعاً از بين مي‌رود.

۱-۲-۶ - اثر روی لامپ‌ها

۱ – لامپ‌هاي رشته‌اي ، كه شديداً در اثر تغييرات ولتاژ بخصوص اضافه ولتاژ، كاهش عمر پيدا مي‌نمايد. زيرا در اثر افزايش ولتاژ جريان لامپ و دماي آن افزايش يافته و باعث تبخير سطحي رشته سيم و در نتيجه كاهش شديد عمر لامپ مي‌گردد. نور لامپ نيز در اثر نوسانات ولتاژ تغيير مي‌نمايد و پديده‌اي به نام فيليكر يا چشمك زني بوجود مي‌آيد كه مي‌تواند آزار دهنده باشد.

۲ – لامپ‌هاي تخليه‌اي (گازي) ، لامپ‌هاي تخليه‌اي هم جزء آلوده كننده‌ها هستند و هم شديداً به آلودگي حساس مي‌باشند. اگر دامنة ولتاژ از حدي كمتر 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

کمیت‌هاي مورد سنجش در وسایل اندازه‌گیري ممکن است پیك موج، متوسط موج و یا مقدار مؤثر موج باشند از نظر ساختماني نیز یا الکترومکانیکي (عقربه‌اي) و یا استاتیکي (الکترونیکي، دیجیتالي) مي‌باشد.

بر اساس موج سينوسي ولتاژ و acتنظيم يا كاليبراسيون وسايل اندازه‌گيري در حالت صاف مي‌باشد لذا dc بر اساس موج dcجريان با فركانس مشخصي انجام مي‌شود و در حالت ميزان و جهت خطاي ايجاد شده در دستگاه‌هاي اندازه‌گيري و بويژه كنتورها به نوع دستگاه، روش كار، جهت فلوي هارمونيكي و دامنة هارمونيك بستگي دارد.

براي ايجاد يك مؤلفة توان بايد هم مؤلفة جريان و هم مؤلفة 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 آلودگي روي وسايل، نياز به شناخت كامل دستگاه‌ها و نوع پديده‌ها دارد.

ضرب مي‌نمايند تا مقدار مؤثر $1/\sqrt{2}$وسايلي كه پيك شكل موج را مي‌سنجند آن را در موج بدست آيد و وسايلي كه مقدار ميانگين را مي‌سنجند آنرا در ۱/۱۱ ضرب مي‌نمايند تا مقدار مؤثر موج بدست آيد و در هر دوي اينها اين محاسبات براي سينوسي كامل مي‌باشد در حاليكه اگر شكل موج تغيير كند خطاي اين اندازه‌گيريها در جدول ۲ براي شكل موج‌هاي معروف آمده است. مشاهده مي‌شود در حالت‌هايي كه پيك ولتاژ و يا ميانگين موج اندازه‌گيري مي‌شود و در يك ضريب ثابت ضرب مي‌شود، اگر شكل موج سينوسي نباشد خطاهاي زيادي ايجاد مي‌شود.

كنتورها كه بر اساس گشتاور محرك و مقاوم توسط جريان گردابي در ديسك رتور عمل مي‌نمايد، در برابر جريان‌هاي غير سينوسي دقت خود را از دست مي‌دهند و معمولاً توان‌هاي هارمونيكي را بيشتر از مقدار واقعي اندازه مي‌گيرند اين خطاي اندازه‌گيري كه معمولاً بين ٦ نيز افزايش مي‌يابد.dcتا ۷ درصد است با كاهش ضريب توان و وجود مؤلفة

۱-۲-۸ - اثر بر رله‌های حفاظتی

تأثير پذيري يك رله، نسبت به اعوجاج به اصول كار رله بستگي دارد. يك وسيلة حفاظتي در بعضي مواقع خود مي‌تواند باعث اعوجاج شود.

ترانسفورماتورهاي حفاظتي وقتي در معرض اشباع قرار مي‌گيرند مي‌توانند باعث اعوجاج شوند.

CT[4]ها وقتي در معرض يك تغيير ناگهاني موج ورودي مانند خطا قرار مي‌گيرند، باعث اعوجاج در موج مي‌شوند و به دليل پاسخ فركانسي ضعيف در اثر انتخاب غير صحيح بار يا تنظيم داخلي مي‌توانند باعث اعوجاج موج شوند.

CVT[5]ها كه در سيستم‌هاي ولتاژ بالا استفاده مي‌شوند مي‌توانند عامل توليد گذراهاي اضافي باشند.

PT[6]ها در صورتي كه در ولتاژي بالاتر از مقدار نامي بكار گرفته شوند به اشباع مي‌روند و باعث ايجاد اعوجاج مي‌شوند.

۱-۲-۸ - الف - رله‌های الکترومکانیکی

اين رله‌ها شامل دو دسته زير مي‌باشند:

- رله‌هاي القايي سيلندري و فنجاني كه جهت عمل لحظه‌اي ساخته شده‌اند.
- رله‌هاي القايي با ديسك جهت ايجاد تأخير.

[4] - Current Transformator
[5] - Capacitor Voltage Transformer
[6] - Potential Transformer

رله‌هايي كه براي يك فركانس ساخته شده‌اند، فقط وقتي كه توسط سيگنال مربوطه تحريك شوند زمان تأخير قابل پيش بيني و مشخصي دارند و وقتي موج داراي هارمونيك و اعوجاج مي‌شود زمان عملكرد آنها ممكن است زيادتر يا كمتر از مقدار تنظيم شده شود. بنابراين رله‌هاي الكترومكانيكي بسته به ساختمان آنها و اجزاء مختلف و مشخصات الكتريكي و مغناطيسي حتي اگر مشخصه جريان – زمان آنها مشابه باشد در برابر اعوجاج عكس‌العمل‌هاي متفاوتي نشان مي‌دهند.

رله‌هاي الكترومكانيكي با دو ورودي علاوه بر تأثير پذيري‌هاي ذكر شده قبلي، عوامل ديگري مثل فاز سيگنال‌هاي هارمونيكي نيز در آنها اختلال ايجاد مي‌كنند.

در اينگونه رله‌ها كه شامل رله‌هاي جهتي و انواع رله‌هاي ديستانس هستند، در سيگنال ورودي با فركانس‌هاي مختلف، گشتاور عمل كننده مثبت يا منفي در رله ايجاد مي‌شود. لذا اگر يكي از ورودي‌ها معوج شود، مي‌تواند روي عملكرد رله‌هاي دو ورودي اثر بگذارد.

در رله‌هاي ديستانس باتوجه به اينكه اصول طراحي مختلفي براي آنها وجود دارد بنابراين بيان يك حالت كلي براي همة آنها عملي نمي‌باشد. براي مثال در رله‌هايي كه بر اساس امپدانس مشابه عمل مي‌كنند، اين امپدانس‌ها معادل امپدانس خط هستند و اساساً رله بايد بتواند در مواقع CT ، VTموج معوج جريان و ولتاژ به خوبي عمل نمايد ولي چون اعوجاج ايجاد شده توسط فاقد تشابه با اعوجاج روي خط است، ممكن است بر دقت رله ديستانس CVTو مخصوصاً اثر بگذارد.

۱–۲–۸–ب – رله‌های استاتیک

در اين رله‌ها نيز پاسخ به موج‌هاي غير سينوسي با توجه به ساختمان رله متفاوت است. رله‌هاي استاتيك جريان اضافي ممكن است ترانسفورماتورهاي اشباع شده را جهت محدود نمودن انرژي انتقالي به مدارهاي الكترونيكي و ايجاد شرايط مناسب براي ساختن يك منحني مشخصه معين در ورودي خود مورد استفاده قرار دهند، كه اين امر باعث ايجاد اعوجاج موج در داخل رله و تداخل اين اعوجاج با اعوجاج‌هاي خارجي رله گردد و بر پاسخگويي رله به يك سيگنال معوج اثر مي‌گذارد.

اكثر رله‌هاي استاتيك داراي يك ترانسفورماتور ورودي جهت تنظيم سيگنال در حد مجاز مدارهاي الكترونيكي مي‌باشند كه اين ترانسفورماتورها معمولاً داراي فاصلة هوايي در خود بوده كه چون به صورت مشتق‌گيري عمل مي‌كنند باعث حساسيت زياد ترانسفورماتورها به فركانس‌هاي بالا مي‌شوند.

۱–۲–۹ – اتلاف انرژی الکتریکی وافزایش کیلووات ساعت مصرفی و کیلووات دیماند

هارمونيك جريان بدون استفاده دركابل‌هاي انتقال و تجهيزات اتلاف مي‌شود، همينطور وجود هارمونيك سبب افزايش تلفات و كاهش راندمان تجهيزاتي مانند ترانسفورماتورها و

موتورها مي‌شود. به همين دليل با وجود هارمونيك‌هاي ولتاژ و جريان هم كيلووات ساعت مصرفي و هم كيلووات ديماند افزايش مي‌يابد.

۱-۲-۱۰- افزایش تعمیر و نگهداری تجهیزات

با وجود هارمونيك كه سبب افزايش تلفات و دماي تجهيزات مي‌شود، عمر تجهيزات كاهش يافته و در دوره‌هاي كوتاه‌تري نياز به تعمير و نگهداري پيدا مي‌كنند. به اين

ترتيب هزينه‌هاي تعمير و نگهداري به هزينه‌هاي ديگر افزوده مي‌شود. اثرات هارمونيك در افزايش ميزان خرابي تجهيزاتي مانند ترانسفورماتورها، ماشين‌هاي الكتريكي و خازن‌هاي الكتريكي در بسياري از كارخانه‌ها كاملاً محسوس است و سالانه مقدار زيادي از توقف خطوط توليد در نتيجه اين گونه خرابي‌ها به وجود مي‌آيد.

۱-۲-۱۱-كاركرد نا مطمئن تجهيزات الكترونيكي و ژنراتورها

تجهيزات الكترونيكي براي كار در فركانس اصلي طراحي شده‌اند و هرگونه تغيير در مشخصات تغذيه ورودي در كاركرد آنها تأثير خواهد داشت. ژنراتورها نيز با فيدبك گرفتن از ولتاژ خروجي به تثبيت ولتاژ مي‌پردازند كه در صورت اعوجاج اين ولتاژ و نوسان آن. اين فيدبك تحت تأثير قرار گرفته و خود باعث نوسان ولتاژ خروجي ژنراتور مي‌شود.

۱-۳- اثرات خازن‌ها بر روی ميزان هارمونيک

از آنجا كه امپدانس خازن‌ها با فركانس رابطه عكس دارد، امپدانس خازن‌ها با افزايش فركانس به شدت كاهش مي‌يابد كه خازن را به منبع خوبي براي جذب هارمونيك تبديل مي‌كند. وجود خازن در يك سيستم الكتريكي مانند يك كارخانه امپدانس ورودي آن سيستم را كاهش داده و سبب مي‌شود كه كارخانه به محل خوبي براي جذب هارمونيك تبديل شود. در شكل۲ ولتاژ يك سيستم واقعي در حضور خازن و بدون حضور آن را مشاهده مي‌كنيم همانطور كه سيستم تا ۲۱/٦ درصد افزايش يابد.THDديده مي‌شود با آمدن خازن در مدار

به همين ترتيب مي‌بينيم كه جريان سيستم نيز با وجود خازن به شدن هارمونيكي مي‌شود كه علت اصلي آن ايجاد رزونانس خازن با سلف ترانس و ساير سلف‌هاي موجود در مدار است. همانطور كه در شكل ۳ ديده مي‌شود بر خلاف تصور كه گمان مي‌رود خازن با حذف جريان راكتيو موجب كاهش اندازه مؤثر جريان مي‌شود، در اينجا با وجود خازن جريان مؤثر از ۱۷۱٦ تا ۲۰۳۳ آمپر افزايش مي‌يابد كه علت آن وجود جريان‌هاي هارمونيكي و تقويت آنها است. در نتيجه افزايش تلفات و متعاقب آن افزايش مصرف انرژي را به دنبال خواهد داشت.

۲ – بارهای مخصوص – کوره های القایی

۲–۱– مشخصات کوره های القایی

اساس کار این کوره ها بر مبنای گرمایش حاصل از جریان القایی است که در اثر القای الکترو مغناطیسی روی فلز داخل کوره به وجود می آید. این القای الکترومغناطیسی در اثر میدان مغناطیسی ناشی از سیم پیچ کوره (سیم پیچ اولیه) یا کویل می باشد.

در مقایسه با سایر کوره ها کوره های القایی دارای مشخصات زیر است:

الف) راندمان حرارتی آن بدلیل گرمایش مستقیم مواد در اثر القای الکترو مغناطیسی بالاست.

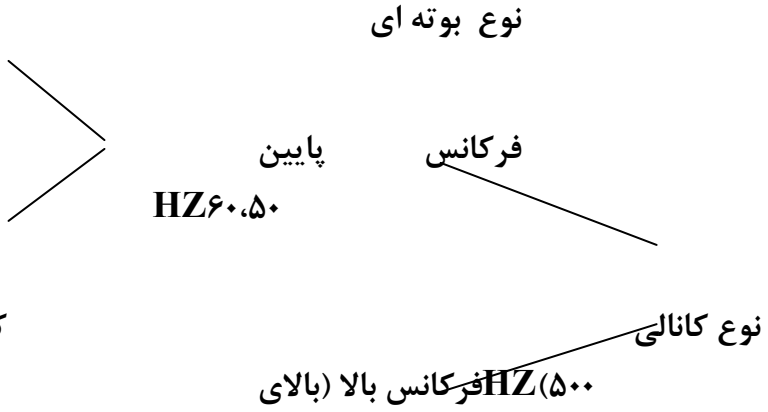
ب) بدلیل اینکه سوخت فسیلی در این کوره استفاده نمی شود انتشار Co_2 در آن وجود ندارد

ج) تلفات فلز بدلیل اکسید اسیون خیلي کم است و این بدلیل گرمایش بدون هوا است.

د) کنترل دما در آن ساده است

هـ) کوره های القایی بدلیل تمرکز انرژی و نیاز به جای کمتر برای نصب نسبت به سایر کوره ها، گزینه مناسب برای ذوب در دماهای بالا هستند.

از نظر ساختار و فرکانس اعمالی کوره های القایی به انواع زیر تقسیم میشوند:



۲–۲– موازنه انرژی درکوره های القایی

تلفات الکتریکی در کوره های القایی:

ـ ترانسفور مر

ـ مبدل فرکانسی

ـ کابلهای ارتباطی

ـ 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:

ـ تلفات هدایتی ناشی از فرار حرارت از دیواره‌کوره به سیم پیچ

ـ تلفات تشعشعی ناشی از سطح فلز مذاب

ـ تلفات سرباره

راندمان حرارتی کوره های القایی فرکانس بالا(۷۸٪-۶۰) کمی بیشتر از راندمان حرارتی کوره های القایی فرکانس شبکه (۷۱٪-۵۸) است.

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 تن کاهش می یابد . پس از آن نرخ مصرف در Kwh/Ton ۶۱۰ بدون تغییر باقی میماند. نرخ توان مصرفی در کوره های با ظرفیت پایین (۱ تا ۳ تن) غالب بر Kwh/Ton ۷۰۰ است.

۲-۴- راهکارهای صرفه جویی انرژی درکوره 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، نحوهٔ استقرار تجهیزات کارگاه ریخته گری و نحوهٔ ارتباط با خط ذوب ریزی اتخاذ گردد.

۲-۴-۲- محل استقرار تجهیزات Equipment Layout

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 درکوره با افزایش فرکانس کاهش می یابد. هنگامی که چدن در کوره القایی فرکانس بالا ذوب میشود، هیچگونه محدودیتی در اندازهٔ 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 آورندهٔ خود مخالفت میکند و لذا این مسئله سبب ایجاد تلاطم در فلز مذاب میشود. با افزایش فرکانس این تلاطم کم میشود. یعنی درکوره فرکانس شبکه تلاطم بالاست.

مزایای تلاطم

ـ داشتن دمای یکنواخت برای فلز مذاب

ـ داشتن کیفیت یکنواخت برای فلز مذاب در اثر اختلاط و نفوذ خیلی خوب مواد شارژ شده و ترکیب شیمیایی

معایب تلاطم

ـ آسیب رسیدن به نسور کوره

ـ سرریز شده مواد مذاب

۲–۴–۴– بهبود راندمان حرارتی در بهر ه برداری

الف – کاهش Tapping Temperature

افـزایش مـی یابـد و تلـف Tapping Temperature ظرفیت حرارتی فلز مذاب با افـزایش حرارتی کوره نیز کاملاً با افزایش دمای مذاب افزایش خواهد یافت. ظرفیت حرارتی آهن خاکستری ۲۰ افزایش می یابد: Kwh/Ton ۱۰۰ دما حدود ^0c با افزایش هر

تلفات مربوط به هدایت و تشعشع با روابط زیرمحاسبه میشود.

$$\mathbf{Q_c} = \frac{T-t}{R} \times ۱۰^{-۳}$$

Q_c = Conduction Loss (kW)

T= cooling water Temp (k)

T=Molten Metal Temp (k)

R= Heat Resistance of furnace wall (KW/°K)

$$Q_R = ۵/۶۷\times۱۰^{-۳} \cdot A \cdot \varepsilon \cdot (T/100)^4$$

Q_R= Radiation Loss (kW)

ε = Emissivity

A=Surface are of molten metal (m^2)

از معادلات بالا مشخص میشود که تلفات هدایت و تشعشع برای کوره القایی فرکانس بالا با این ظرفیت در دمای ^{0}c (Tapping ۱۵۰۰ ^{Hz} و ۵۰۰ ^{Hz} و ۹۰۰ ^{kw} به ترتیب ۵۰ و ^{0}C (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 چهارم دماست این تلفات در دمای ^{0}c حدود ۱۵۰۰ KW/m2. ۶۰-۷۰ میشود

در بهره برداری از کوره ها خصوصاً کوره های کوچک درپوش کوره گاهی اوقات دراثر بی دقتی باز میماند. آموزش پرسنل و نیز تمهیدات لازم برای شارژ سریع کوره و انجام آنالیزهای سریع روی مذاب می تواند 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 می توان تغذیه کوره را کم کرده یا در پایین ترین حد خود نگه داشت . در زمانیکه نیاز به مذاب وجود دارد دو باره میتوان توان اعمالی را برقرار نمود.

د – تمیز کردن خاک و شن و رنگ و روغن و سایر آلاینده‌ها

) که به قراضه چسبیده اند سبب تشکیل سرباره در مذاب میشوند. Feo,fe_2o_3شن و زنگ(۱۰ ^0c ۱۵۰۰ در دمای Kwh/tonسرباره به میزان ۱٪ در ذوب ۳ تن آهن تلف انرژی به میزان دارد.

هـ – بهره برداری از کوره در توان ثابت نامی

افزایش توان ورودی سبب بهبود راندمان حرارتی کوره میشود. بهره برداری از حداکثر ظرفیت کوره و کاهش حداکثر در نرخ توان مصرفی زمان تحقق مییابد که بهره برداری از کوره در توان ثابت نامی صورت می‌گیرد.

و – مواد اولیه در شروع ذوب

مواد اولیه بایستي تا حد امکان متراکم شارژ شوند. بهتر است که در ابتدا قراضه هاي برگشتي 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 بوته 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 می توان توان 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

۱۱۵۰) ^0cمقدار حرارتی که لازم است تا چدن در فرآیند ذوب شدن به دمای ذوب خود(حدود ۲۰Tapping) تا دمای ^0cبرسد، ۶۵٪ کل حرارتی است که لازم است چدن را از دمای محیط (۶۰۰-۵۰۰ با یک روش ^0c۱۵۰۰) برساند. بنابریان از طریق پیش گرم نمودن مواد تا دمای ^0c(کاراتر از کوره القایی می توان صرفه جویی قابل توجهی را درمصرف توان الکتریکی سبب شد.

اثرات پیش گرم کردن

ـ کاهش نرخ مصرف توان به میزان حدود ۲۵٪

ـ افزایش ظرفیت ذوب دهی تا حدود ۲۷٪

در این کوره های پیش گرم شاید به نظر چنین بربیاید که این کوره سبب اکسید اسیون اضافی در فرآیند پیش گرم شدن نموده و این مسئله باعث تلفات مواد میگردد.

۶۰۰ ونیز جدا بودن محفظه ^{0c}لیکن بدلیل اکسیداسیون خیلی کم فولاد در دمای پایین تر از ۶۰۰ با مواد از اثر این اکسیداسیون می ^{0}cاحتراق 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 کنترل کننده‌های 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. معمولاًکنترل کننده‌های 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 VSD (Variable Speed Drive) معروف‌اند وانواع 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 سرعته و نیز شامل موتورهای جدید می شوند. این موتورها از قابلیت مدرن کنترل الکترونیکی برای گسترش کاربرد

موتورهائی که قبلاً توسط کنترل کننده‌های مرسوم الکترومکانیکی کنترل می‌شدند استفاده می‌کند.

محرکه‌های الکترومکانیکی: موتورهای دور ثابت را با کنترل های مکانیکی یا الکترومکانیکی جهت تغییر سرعت سیستم بکار می‌برند.

کنترل کننده‌های موتور VSDها جایگزین راه‌اندازی‌های مرسوم الکترومکانیکی موتورها می شوند. و عمدتاً با قرار گرفتن در مجاورت این موتورها از لحاظ فیزیکی می‌توانند بزرگتر از راه‌اندازهائی 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

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 محدوده‌کاری 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 صرفه‌جوئی‌ها برای موتور ۳ کیلوواتی ۳/۳٪، برای موتور ۷/۵ کیلوواتی ۶٪ و برای موتور ۲۲ کیلوواتی ۴/۵٪ بوده همچنین صرفه‌جوئی‌های حاصله توسط سه موتور با راندمان

بالا در (شکل ۳) نشان می‌دهد که میزان صرفه‌جوئی‌ها در بارگذاری‌های مختلف در موتورهای ۷/۵ و ۲۲ کیلوواتی متغیر بود لیکن در موتور ۳ کیلو واتی 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 موردنیاز 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 کارآئی موتور در سرتاسر

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 کم‌کار 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 "تریستورهائی" که در کنترل کننده‌های موتور بکار رفته است این کنترل کننده‌های موتور قدرت را جذب می‌کنند. این امردر 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 می کند. همچنین راه‌اندازی نرم تنش‌های مکانیکی را در سیم‌پیچی‌های موتور و تجهیزات خارجی آن تقلیل می‌دهد.

۳-۲-۱-آزمون‌های کنترل کننده‌های موتور

تعدادی از کنترل کننده‌های موتور تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. مواردی از این داده‌های آزمون که انتخاب شده‌اند در شکل۵ نشان داده شده است. شکل۵ راندمان و ضریب قدرت را به تنهائی 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 صرفه‌جوئی‌های کمتری ارائه نمود. تفاوت کمی از لحاظ صرفه‌جوئی‌های برق قدرت راکتیو بین انواع کنترل کننده‌ها وجود داشت. (شکل۶) در شکل ۷ صرفه‌جوئی 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 کنترل کننده‌ها و بدون کنترل کننده‌ها کار تحقیقاتی انجام شد. جدول۱ صرفه‌جوئی‌های 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 کارکرد۱: 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٪.

صرفه‌جوئی‌های قدرت راکتیو (جدول ۱) به طور مهم و معنی‌داری بالاتر از صرفه‌جوئی‌های 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 صرفه جوئی در توان حقیقی نیز مهم بود.

KVAr,Kwhجدول ۱– نتایج دوره‌ای بار که نشان دهندهٔ 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
AOPC۱۰	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. بهرحال، 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.

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 صرفه‌جوئی در انرژی نصب نشده‌اند بلکه برای رفع حوایج 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 بوجود 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.

اکنون امکان بالقوه سیستم‌های متنوع با تأکیدهای 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 تغییردادن 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.

[7] - feedback
[8] - Sensor

شکل ۹ یک مورد کاربردی VSD که در آن سرعت پمپ جهت ثابت نگهداشتن فشار تخلیه صرف‌نظر از مقدار تقاضای مصرف کننده تغییر می‌کند، را نشان می‌دهد.

برخی از آخرین تجهیزات از منطق قابل برنامه‌ریزی مصرف کننده و یا نرم‌افزار پیچیده استفاده می‌کنند که مدل‌های غامض ریاضی را قادر به بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا سایر فاکتورهای مهم می‌نماید.

VSD ها علی‌الخصوص در مواردی جالب است که مدولاسیون جریان لازم باشد. مثال‌های آن شامل پمپ‌ها، بادبزن‌ها، کمپرسورهای هوا و تبرید است. کاربرد VSDها همچنین در مواردی است که در سرتاسر یک محدوده سرعت، توان یا گشتاور ثابتی لازم باشد.

۳-۳-۲- موتورهای 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 VSDهای الکترونیکی کنترل نمود. معیارهای عمده در ارزیابی مفید بودن یک موتور جهت VSDعبارتند از: موتور درکاربرد 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 VSDدر 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 درسرعت‌های 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

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٪)

۳-۳-۳-۱- 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.

۳-۳-۳-۲- 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 سرعت‌هائی که صرفاً و به تنهائی از فرکانس استاندارد برق اصلی بکار افتاده‌اند مورد استفاده واقع می‌شوند. بهرحال 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 می‌توان از ادوات فرعی استفاده کرد.

معایب

- می‌تواند ضریب قدرت کمی داشته باشد.
- می‌تواند گشت‌آورهای ضربه‌ای را در فرکانس‌های پائین به "روتور" وارد کند.
- کارآئی ضعیف در سرعت پائین

۳-۳-۳-۳- معکوس کننده یا "اینورتر" منبع شدت جریان ۶ مرحله‌ای

معکوس کننده‌ها یا "اینورترهای " منبع جریان ۶ مرحله‌ای بر اساس اصول ۶ مرحله‌ای که به شدت جریان اعمال می‌شود بکار می‌افتند. معمولاًمحدوده سرعت به ۲۰٪-۱۰۰٪ سرعت حاصله از فرکانس برق اصلی محدود می‌شود. وقتی که این نوع کنترل کننده را به یک موتور موجود اعمال می‌کنند لازم است که بخاطر موجهای هارمونیک و ولتاژهای بیش از حد و گذرا احتیاط کنند. شدت جریان‌های خط که وارد موتور می‌شوند حاوی موجهای هارمونیکی هستند که مخصوصاً در سرعت‌های کم ممکن است حرارت تولید کنند و بنابراین لازم است آن را از میزان بار اسمی خارج کنیم. بیش از حد شاید به عایق

فرسوده "استاتور" فشار آورد که در آن حالت بایستی شبکه‌های مناسبی برای پراکنده‌سازی موج‌های ضربه‌ای نصب گردد. در سرعت‌های کمتر از ۵۰٪ سرعت‌هائی 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 VSDدچار 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 موتوره این طور است. اگر کارآئی 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، قاعدتاً ابتدا بایستی بر روی تهیه کنندگانی متمرکز گردید که در محدوده‌ای از انواع VSD کار می‌کنند.

پیشـــگفتـــــار

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 درگذر از هر مرحله از این زنجیره خواه ناخواه تلفاتی از این انرژی راخواهیم 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 صرفه‌جوئی یک واحد انرژی الکتریکی در مصرف کنندگان نهایی علاوه بر صرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئی 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 صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی در مصرف کنندگان نهایی مانند الکتروموتورها ، کمپرسورها ، فن‌ها و پمپ‌ها ، کوره‌های القائی ، 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 صرفه‌جوئی انرژی به مطالب جدیدی مانند پارامترهای انرژی الکتریکی و کیفیت توان که هم اکنون 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 خلاء های 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