روشهای ذخیره‌سازی برق در ایستگاههای قدرت

دفتر مطالعات اقتصادی و ارتقاء بازار برق شرکت مدیریت شبکه برق ایران
مهندس سیدمحمدجعفر طباطبایی- مهندس محمدحسین عسکری

ذخیره‌سازی انرژی برق یکی از مباحث مهم صنعت برق کشور به شمار می‌آید. از آن گذشته استفاده مداوم از انرژی برق به دلیل کم باری در برخی از ساعات و درمدار قرارداشتن همه نیروگاهها امکان‌پذیر نیست. در مقاله پژوهشی زیر که به وسیله دفتر مطالعات اقتصادی و ارتقاء بازار برق شرکت مدیریت شبکه برق ایران با همکاری مهندس سیدمحمدجعفر طباطبایی و مهندس محمدحسین عسکری تهیه شده به روشهای ذخیره‌سازی برق در ایستگاههای قدرت اشاره شده است.

یکی از مسائلی که امروزه در سیستم‌های قدرت به ویژه شبکه قدرت ایران – بسیار مورد توجه برنامه‌ریزان و بهره‌برداران سیستم قرار دارد، تغییرات زیاد و عدم یکنواخت بودن منحنی بار در ساعات مختلف شبانه‌روز است. این موضوع منجر شده است تا تنها در ساعات پیک بار از تمامی ظرفیت نصب شده تولید کشور استفاده شود و در ساعات کم باری و میان باری مقدار زیادی از ظرفیت نصب شده خارج از مدار باشد که این مطلب به معنای خواب سرمایه است. این مشکل کمابیش در شبکه‌های قدرت دنیا که دارای منحنی‌های بار با تغییرات زیاد هستند مشاهده می‌شود. این موضوع محققان را برآن داشته است تا با نگاهی به تجربیات بشر و پیش‌زمینه ذخیره‌سازی از دیرباز، در اندیشه ذخیره کردن انرژی الکتریکی باشند.

از آنجا که هزینه تولید برق و قیمت فروش آن در ساعات مختلف شبانه‌روز با توجه به راه‌افتادن بازار برق، تفاوتهای چشمگیری دارد، بنابراین ایده ذخیره‌سازی برق در ساعات غیر پیک (برق ارزان) و استفاده از آن در ساعات پیک (برق گران) مطرح شد. روشهای مورد مطالعه ذخیره‌سازی برق به شرح زیر هستند: ذخیره‌ساز هوای فشرده، ذخیره‌سازی چرخ طیار، ذخیره‌ساز حرارتی، ذخیره‌ساز مغناطیسی ابر رسانا و ذخیره‌ساز ابرخازن.

ذخیره‌سازی هوای فشرده Compressed Air Energy Storage (CAES)

اجزای اصلی یک سیستم CAES شامل: موتور، کمپرسور، محفظه ذخیره هوا، محفظه احتراق، توربین و ژنراتور است.

نحوه عملکرد این سیستم به این صورت است که در ساعات غیر پیک برق را از شبکه می‌گیرد و به وسیله یک کمپرسور که به وسیله‌ی موتوری چرخانده می‌شود، هوا را فشرده ساخته و در داخل محفظه‌ای زیرزمینی می‌دمد. محفظه زیرزمینی نگهداری هوا را می‌توان به طور مصنوعی ساخت که هزینه بسیار زیادی دربر خواهد داشت و می‌توان از سفره‌های آب زیرزمینی و یا محفظه معادن مختلف برای این منظور بهره گرفت. هوای فشرده را می توان با تلفات بسیار اندک در محفظه نگاهداری کرد. در مواقع لزوم، هوای فشرده از محفظه خارج شده، در یک اتاق احتراق با مقداری سوخت مخلوط می‌شود و پس از احتراق وارد یک توربین گازی می‌شود و در نهایت با استفاده از ژنراتور، تولید برق صورت می‌گیرد. این ذخیره‌ساز در عمل کار کمپرسور در نیروگاه گازی را به انجام می‌رساند. از آنجا که بیش از نیمی از ظرفیت تولید توربین‌های گازی برای چرخاندن کمپرسور مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا با توجه به روش CAES و همچنین توجیه‌پذیرتر بودن استفاده از محفظه‌های طبیعی از نظر اقتصادی، ایده ساخت نیروگاههای گازی در محل‌هایی که امکان استفاده از محفظه‌های زیرزمینی وجود دارد، آشکار می‌شود. در این صورت می توان در ساعات غیر پیک، کار کمپرسور نیروگاه را با استفاده از CAES انجام داد و در ساعات پیک کمپرسور نیروگاه را از مدار خارج کرده، قابلیت تولید تقریباً دوبرابر را به دست آورد. هوا پیش از تزریق به داخل حفره خنک می‌شود تا از فضا بهترین استفاده صورت گیرد. فشرده‌سازی تا فشار در حدود bar ۷۵ انجام می‌شود. بعد از روش تلمبه ذخیره‌ای، سیستم CAES دارای بزرگترین ظرفیت بین ذخیره‌سازها است. ظرفیت‌های معمول سیستم‌های CAES در حدود ۵۰ تا ۳۰۰ مگاوات است و به دلیل کمی تلفات این سیستم، طول دوره ذخیره تا یک سال هم به طول می‌انجامد. زمان راه‌اندازی سیستم CAES در حد ۱۰ دقیقه است که نسبت به زمان مشابه برای نیروگاههای گازی (۳۰–۲۰ دقیقه) کمتر است. چگالی انرژی معمول هوای فشرده در حدود ۱۰۸۶ ژول بر گرم است. نمونه‌های سیستم CAES، شامل یک واحد ۲۹۰ مگاواتی در کشور آلمان و یک واحد ۱۱۰ مگاواتی در کشور آمریکا است.

ذخیره‌ساز چرخ طیار Flywheel Energy Storage (FES)

اجزای اصلی سیستم ذخیره‌ساز چرخ طیار موتور/ ژنراتور، چرخ طیار، یاتاقان‌ها، محفظه خلا و سیستم کنترل است.

طریقه عملکرد این سیستم به این گونه است که در ساعات غیر پیک انرژی را از شبکه گرفته و با استفاده از موتور خود، جرم چرخ طیار را به گردش در می‌آورد. سرعت گردش برای روتورهای معمول فلزی در حدود ۴ هزار دور در دقیقه و برای روتورهای جدید ساخته شده از رشته‌های کربن–کامپوزیت در محدوده ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار دور در دقیقه است.

با توجه به فرمولها و محاسبات به عمل آمده هرچه ممان اینرسی و یا سرعت چرخش روتور افزایش یابد انرژی جنبشی بیشتری در چرخ طیار ذخیره می‌شود. از این انرژی جنبشی می‌توان در ساعات پیک استفاده کرد. مطلبی که در اینجا مطرح می‌شود اینست که انرژی موجود پس از مدتی به صورت اصطکاک تلف می‌شود روتور از حرکت باز می‌ایستد و عملاً استفاده‌ای از FES نمی‌شود. چاره این مشکل اینگونه پیدا شده است که با استفاده از محفظه خلا و یاتاقان‌های مغناطیسی، اصطکاک به حداقل رسانده می‌شود و تلفات تقریباً ناچیز می‌شود. یاتاقانهای مغناطیسی روتور را با استفاده از میدان مغناطیسی نگاه می‌دارند و لذا از تماسهای مکانیکی که در یاتاقانهای معمولی موجب تلفات زیاد می‌شود جلوگیری می‌کنند. همچنین وجود خلا

مانع از تلفات اصطکاک با هوا می‌شود. سیستم مزبور برای بهبود کیفیت توان مورد استفاده قرار می‌گیرد و تا حدودی قابلیت پیک‌زدایی را داراست. یکی از معایب FES تنش زیاد وارد شده بر روتور در سرعت‌های زیاد و احتمال از هم پاشیدن آن به صورت انفجاری است.

ذخیره‌ساز حرارتی برق Electric Thermal Storage (ETS)

افزایش روزافزون سیستم‌های تهویه مطبوع جهت گرمایش و سرمایش باعث شیفت پیک بار الکتریکی به مدت چند دقیقه تا چند ساعت می‌شود. ذخیره انرژی به صورت حرارت یا سرما که بتواند در ساعات اوج مصرف به عنوان سیستم تهویه مورد استفاده قرار گیرد، در جهت کاهش این شیفت راه‌گشا خواهد بود. به عبارت دیگر در ساعات غیر پیک انرژی الکتریکی به فرم حرارتی ذخیره می‌شود و در ساعات پیک مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این سیستم می‌تواند برای هر دو منظور سرمایش و گرمایش مورد استفاده قرار گیرد. در ساعات غیر پیک انرژی برق از شبکه گرفته شده و با توجه به هدف گرمایش یا سرمایش، ماده واسط گرم و یا سرد می‌شود و در ساعت پیک تنها با دمیدن هوا از روی ماده واسط، گرما یا سرمای مطلوب به دست می‌آید.

براساس نوع ماده‌ای که به عنوان واسط ذخیره‌ساز انرژی حرارتی به کار می‌رود، دو نوع کلی ETS وجود دارد. نوع اول ETSها که Sensible نامیده می‌شوند، از آب ذخیره شده در تانک، لایه‌های زیرزمینی و یا فونداسیون بتنی ساختمان‌ها به عنوان واسط استفاده می‌کنند. این نوع ETS دارای چگالی حجمی انرژی به میزان ۲۵ کیلووات ساعت بر متر مکعب هستند. عیب این ETSها اینست که دارای دمای متغیر در هنگام دشارژ هستند. نوع دوم ETSها که Latent نام دارند، از ماده واسطی استفاده می‌کنند که در هنگام شارژ و دشارژ قابلیت تغییر فاز دارد. به عنوان مثال اگر از آب به عنوان ماده واسط استفاده شود، چگالی انرژی ۱۰۰ کیلووات ساعت بر متر مکعب و اگر از پارافین استفاده شود تا حدود۳۰۰ کیلووات ساعت بر متر مکعب قابل دسترسی است. با توجه به اینکه در حال تغییر فاز اختلاف دمایی در ماده واسط به وجود نمی‌آید، لذا دمای ثابت در هنگام دشارژ از مزایای ETS نوع دوم است. این سیستم برای مناطقی پیشنهاد می‌شود که روند تهویه مطبوع گرمایش آنها نیز مانند تهویه سرمایش با استفاده از انرژی الکتریکی صورت می‌گیرد.

ذخیره‌ساز مغناطیسی ابر رسانا Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

سیستم ذخیره‌ساز مغناطیسی ابررسانا از سه بخش اساسی: سیم پیچ ابررسانا، سیستم اصلاح و بهبود توان و سیستم خنک‌کننده تشکیل می‌شود. سیم پیچ ابررسانا به صورت یک سلف به کار می‌رود و در ساعات غیر پیک انرژی الکتریکی از طریق یک جریان مستقیم (DC) به صورت انرژی مغناطیسی در میدان سلف مذکور ذخیره می‌شود. سیستم خنک کننده وظیفه کاهش دمای ابررسانا را به منظور حفظ خاصیت ابررسانایی داراست. ابررسانابودن سیسم پیچ منجر خواهد شد که تلفات سیستم بسیار ناچیز باشد و جریان آن تقریباً بدون تغییر باقی بماند. سیستم اصلاح توان به منظور تبدیل جریان متناوب به مستقیم و مستقیم به متناوب به ترتیب در روال شارژ و دشارژ SMES استفاده می‌شود که این تبدیلات باعث تلفاتی در حدود ۲ تا ۳ درصد می‌شود.

با توجه به انرژی زیاد مورد نیاز برای خنک‌سازی و هزینه زیاد سیم‌های ابررسانا، SMESها در حال حاضر تنها برای ذخیره کوتاه مدت انرژی و بهبود کیفیت توان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

براساس فرمول و محاسبه انجام شده انرژی ذخیره‌شده به جریان عبوری از سیم‌پیچ ابررسانا و همچنین اندوکتانس سلف مورد نظر بستگی دارد. از آنجا که اندوکتانس سلف تابع مشخصات ساختمانی آن است، برای ذخیره انرژی زیاد، ابعاد سلف مورد استفاده افزایش چشمگیری خواهد داشت و هزینه آن نیز متقابلاً بسیار زیاد خواهد شد.

ذخیره‌ساز ابر خازن (Super Capacitor)

ابرخازن‌ها به عنوان باتری استفاده می‌شوند و در مقایسه با خازن‌های معمولی دارای چگالی انرژی بیشتری هستند. زمان شارژ ابرخازن‌ها (در حدود چند ثانیه) نسبت به باتری های قابل شارژ سنتی (در حدود چند ساعت) بسیار کمتر است. همچنین تعداد چرخه‌های قابل شارژ و دشارژ ابرخازن میلیونها بار است و نسبت به باتری‌های معمولی که تا ۱۰۰۰ بار قابلیت شارژ دارند، عمری طولانی‌تر دارند. مقاومت داخلی بسیار کم و راندمان زیاد این ابر خازن‌ها از دیگر مزایای آنهاست. ابرخازن‌ها در مقیاس‌های کوچک برای ذخیره انرژی بهره‌برداری می‌شوند و در صورت پیشرفت در افزایش چگالی انرژی آنها می‌توان انتظار داشت جای باتری‌های الکتروشیمیایی را بگیرند. در حال حاضر چگالی انرژی ابر خازن‌ها در حدود چند وات ساعت بر کیلوگرم است. در پایان باید خاطرنشان کرد دلایل عمده عدم استفاده گسترده از وسایل ذخیره‌ساز انرژی اینست که اولاً رقیب اقتصادی تولیدکنندگان استفاده کننده از سوخت فسیلی نیستند (به عبارت دیگر احداث نیروگاه فسیلی هزینه‌ای کمتر از برخی ذخیره‌کننده‌ها دربر دارد) و ثانیاً قابلیت اطمینان بالای آنها در دوره‌های طولانی بهره‌برداری به اثبات نرسیده است.