

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2024

РОЛЯТА НА ТУРБООАГРЕГАТИТЕ В ТЕЦ ЗА ЗАПАСА ПО УСТОЙЧИВОСТ И ИНЕРЦИЯТА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА

Валентин Колев, Ива Драганова – Златева

Производството на електроенергия от въглища в световен мащаб вероятно ще запише нов рекорд за 2023 година, когато износът на въглища прехвърли 1 млрд. тона за първи път в историята. Това се случва на фона на опитите за ограничаване на използването на изкопаеми горива, за да бъдат намалени емисиите въглероден диоксид, пише в анализ Ройтерс. Агенцията се позовава на данни на екологичната организация Ember, според които производството на електроенергия от въглища в периода януари - октомври 2023 г. се увеличава с 1% спрямо същия период на 2022 г. и достига 8 300 TWh. Производството на електроенергия от въглища беше рекордно през 2022 година – 10 200 TWh, е видно от статистиката на екологите.

Съответно и емисиите от производството на електроенергия от въглища достигат нов връх - 7,85 млрд. т. до октомври, спрямо същия период на 2022 г.

Най-големите производители на електроенергия от въглища през миналата година са Китай, Индия, Филипините, Турция и Виетнам. Япония намалява производството с 8,2%, но "освободеното пространство" се зае от Виетнам, където има значително повишение на производството.

През 2022 г. рекордните цени на природния газ доведоха до ръста в производството на електроенергия от въглища. Но след нормализирането на ситуацията повечето развити държави се върнаха отново на газ или заложиха на зелената енергия. В Азия потреблението на въглища все още е във възход, отбелязват от Ember в отделни свои анализи за въглищата. Те сочат още, че тенденцията с използването им е такава, че целите за намаляване на емисиите и недопускане на температурите да скочат с повече от 1,5°C до края на столетието едва ли ще бъдат постигнати.

Ройтерс цитират още данни на Kpler, според които износът на въглища се увеличава с 6,6% спрямо 2022 г. и с малко

надхвърля 1 млрд. тона. Основният доставчик на въглища в световен мащаб е Индонезия с 505 млн. тона, което е ръст от 12% спрямо 2023 г. За първи път Индонезия има толкова голям дял от световния износ - повече от половината.

Втора е Австралия със 198 млн. тона, което е увеличение от 7 на сто, следвана от Русия със 103 млн. тона.

Основен купувач на въглища е Китай с рекордните 325 млн. тона, спрямо 109 млн. тона през 2022 г. Страната има местни залежи, но цената на въглищата на световните пазари е по-изгодна и Пекин се възползва от това положение.

Вторият по големина вносител на въглища е Индия (172 млн. тона), следвана от Япония (109 млн. тона) и Южна Корея (80 млн. тона).

Към настоящия момент, в българската ЕЕС е наличен енергиен микс от генериращи източници, в който сигурността и устойчивостта се осигуряват само от конвенционалните електроцентрали със синхронни генератори от системно значение. Блоковете на големите кондензационни електроцентрали осигуряват производство на базисна и подвърхова електроенергия. Освен това осигуряват: първично регулиране на честотата, вторично регулиране на честотата и обменните мощности, ръчно вторично регулиране (третичен резерв), участие в регулирането на напрежението, потискане на локалните и междусистемните колебания, противоаварийно управление, участие в Защитния план и План за възстановяване на ЕЕС след тежки аварии.

За разлика от тях, ВЕИ осигуряват нестабилно производство на електроенергия, пропорционално на променливия първичен енергоносител или производство на електроенергия в принуден режим.

Значението на ТЕЦ "Марица изток 2", ТЕЦ "Ей и Ес Гълъбово" (МИ1), ТЕЦ "Контур Глобал Марица Изток 3" и ТЕЦ „Бобов дол“ за функциониране на ЕЕС на страната е в описаните по-долу основни направления:

- **Участие на големите кондензационни ТЕЦ в покриване мощностния баланс на страната** - Блоковете на споменатите ТЕЦ са с обща инсталирана брутна мощност 4874 MW, от които 3648 MW са базова генерираща мощност, а 2686 MW могат да се регулират в денонощен разрез и да се използват като базова или подвърхова генерираща мощност, с възможност за участие във

вторичното регулиране на честотата и обменните мощности, както е посочено по-нататък;

- **Участие на големите кондензационни ТЕЦ в първичното регулиране на честотата** - Първичното регулиране (Primary Control) е възможността за бързо възстановяване на равновесието между производство и потребление в цялото синхронно обединение, на принципа на солидарно участие на група агрегати в съответните електроенергийни системи (ЕЕС). Практически, това е честотна корекция по статична характеристика на заданието по активна мощност в турбинните регулатори на избрани конвенционални централи от системно значение, чието първично регулиране е активирано по нареждане на диспечерите на системния оператор;

- **Участие на големите кондензационни ТЕЦ във вторичното регулиране на честотата и обменните мощности на страната** - Вторичното регулиране на честотата и обменните мощности (Secondary Control) е автоматично управление от централен регулатор в реално време на предварително определени от системния оператор производители. Вторичното регулиране осъществява поддържане на договорените обмени на активна мощност със съседните страни и честотата, в съответствие с планираните графици при установен режим на ЕЕС и възстановяване плановата стойност на честотата в случаите на големи отклонения, причинени от загуба на генериращи мощности/товари в дадена зона. Техническите изисквания към агрегатите, предоставящи автоматично вторично регулиране, са посочени в Регламент ЕС 2016/631.

Блокове 1, 3 и 4 на ТЕЦ "Марица изток 2", участват във вторичното регулиране с диапазон 135...172MW и скорост на регулиране 1.5MW/min. Блок 2 на ТЕЦ "Марица изток 2", участва във вторичното регулиране с диапазон 135...157MW и скорост на регулиране 1.5MW/min. Блокове 5 и 4 на ТЕЦ "Марица изток 2", участват във вторичното регулиране с диапазон 155...222MW и скорост на регулиране 2MW/min. Блок 7 на ТЕЦ "Марица изток 2", участва във вторичното регулиране с диапазон 180...225MW и скорост на регулиране 2MW/min. Блок 8 на ТЕЦ "Марица изток 2", участва във вторичното регулиране с диапазон 155...225MW и скорост на регулиране 2MW/min. Блокове 1 и 2 в ТЕЦ "Ей И Ес Гълъбово" участват във вторичното регулиране с диапазон 150...343MW и скорост на регулиране 4MW/min. Блоковете 1, 2, 3 и 4 в ТЕЦ "Контур Глобал Марица Изток 3" участват във вторичното регулиране с диапазон 147...227MW и скорост на регулиране 2.7MW/min. Блокове 1, 2 и 3 на ТЕЦ "Бобов дол", участват във

вторичното регулиране с диапазон 140...190MW и скорост на регулиране 2MW/min. Хидроагрегатите на подязовирните ВЕЦ на НЕК с единична мощност над 10MW могат да предоставят автоматично вторично регулиране, но техният режим на работа е приоритетно върхов и в зависимост от хидроложката обстановка в страната.

- **Участие на големите кондензационни ТЕЦ в поддръжане нивата на напреженията в основните възли на ЕЕС** - Напрежението в електропреносната мрежа се регулира на базата на балансиране на реактивните мощности, чрез промяна на генерираната или консумирана реактивна мощност във възлите на ЕЕС. Централизираното денонощно регулиране на напрежението в ЕЕС на страната се осъществява чрез „График по напрежение”, разработван ежемесечно от системния оператор. Най-голям принос за денонощното изпълнение на Графика по напрежение имат синхронните турбогенератори на големите блокове в топлоцентралите, съвместно с работещите ВЕЦ от системно значение и статичните компенсиращи устройства в електропреносната мрежа. Сумарният диапазон за регулиране на реактивната мощност на при номинална активна генерация на големите синхронни генератори е 3085 MVAг. Редуциране работата на кондензационните блокове и тяхното поэтапно извеждане от експлоатация означава, необходимост от инсталиране на съответните статични компенсиращи устройства в електропреносната мрежа, което ще влоши качеството на управление на напреженията в основните възли на ЕЕС и ще увеличи технологичните загуби в електропреносната мрежа;

- **Участие на големите кондензационни ТЕЦ в поддръжане на запаса по устойчивост на ЕЕС на страната** - Устойчивост на ЕЕС е способността ѝ да самовъзстановява изходното си състояние, след снемане на смущаващото или управляващото въздействие. ЕЕС е устойчива, ако са устойчиви всичките процеси (движения), развиващи се в нея. Неустойчивата ЕЕС не притежава такова качество, даже при безкрайно малки смущаващи въздействия. **Запасът по статична устойчивост** може да се наруши при следаварийно увеличаване обmena на електроенергия между две области и претоварване на връзки, голямо изменение в генерацията на дадена област, изключване на паралелни линии или системни автотрансформатори, понижаване на напреженията под критичните стойности. **Запасът по динамична устойчивост** може да се наруши при къси съединения с отказ на прекъсвач и действие на УРОП, отказ или неселективно действие на релейната защита, асинхронен ход между две

области, аварийно отпадане на големи мощности, аварийно изключване на голям товар, колебания на активните мощности.

Всички електроенергийни обекти на територията на страната са свързани и функционират в единна електроенергийна система, с общ режим на работа и с непрекъснат процес на производство, пренос, междусистемен обмен, разпределение и потребление на електрическа енергия. Въртящите се инерционни маси на всички електрически агрегати са свързани помежду си през съпротивлението на електрическата мрежа. При възникване на смущения в електрическата мрежа, синхронните генератори и прилежащите им регулиращи системи в конвенционалните централи реагират, като се стремят да възстановят своята устойчива работа и устойчивостта на ЕЕС. Най-значителен принос за денонощното поддържане запаса по устойчивост в ЕЕС имат големите турбогенератори в кондензационните електроцентрали и АЕЦ.

Към настоящия момент, в българската ЕЕС е наличен енергиен микс от генериращи източници, в който сигурността и устойчивостта се осигуряват само от конвенционалните електроцентрали със синхронни генератори от системно значение.

Реакцията на ВЯЕЦ и ФЕЦ при смущения в електрическата мрежа, съществено се различава от тази при конвенционалните електроцентрали. При повреди в мрежата, те се отделят автоматично от нея заради конструктивните си особености и по този начин увеличават пропадането на напрежението и нарушават селективността на действие на релейните защиты. В тази връзка, използваните към момента ВЯЕЦ и ФЕЦ имат негативно влияние върху динамичните характеристики на мрежата и отрицателен ефект върху стабилността на системата при смущения и в следаварийни режими. В нормални режими, променливият характер на първичния ресурс при ВЯЕЦ и ФЕЦ провокира непрекъснато изменения и колебания на потоците активна мощност в системата. Това поражда необходимостта от работа на големите кондензационни блокове на въглищните електроцентрали за постигане на разумно съотношение на различните типове генериращи мощности в общия енергиен микс на страната, за обезпечаване на управляемост, статична и динамична устойчивост на енергийната система на България.

При свързване на централите с трифазната ЕЕС чрез реактивното съпротивление на мрежата, въртящата се маса на агрегатите образува система, която е податлива на колебания. Погледнато отвън (от към мрежата), тези колебания се проявяват като люлеене на активната мощност, а погледнато отвътре (от към централата) - като нестабилност на роторния ъгъл на съответния синхронен генератор. Енергийната система може да бъде сравнена с пружинираща система, в която синхронизиращият въртящ момент на даден генератор осъществява равновесие между системата и въртящият се ротор на машината. Зависимостта между синхронизиращия момент и изменението на товарния ъгъл не е линейна, а е пропорционална на синуса на товарния ъгъл.

Няколко условия влияят благоприятно върху затихването на колебанията на синхронните генератори:

- синхронизиращият момент, който в синхронните машини естествено се противопоставя на изменението на товарния ъгъл, спрямо точката на устойчива работа;
- асинхронният момент от успокоителната намотка на синхронния генератор, който е пропорционален на роторното хлъзгане и противодейства на изменението на товарния ъгъл;
- системният стабилизатор (PSS), който внася изкуствена корекция в товарния ъгъл на генератора, чрез системата за възбуждане, като произвежда компонента на електрическия момент, която се противопоставя на изменението на роторната скорост.

Блоковете на ТЕЦ "Марица изток 2", ТЕЦ "Ей и Ес Гълъбово" (МИ1), ТЕЦ "Контур Глобал Марица Изток 3", ТЕЦ „Варна“ и ТЕЦ „Бобов дол“ са оборудвани със съвременни системни стабилизатори (PSS) във възбудителните системи.

Работещите блокове от тези централи участват в потискането на локалните и нискочестотните (междусистемни) колебания на активната мощност и допринасят съществено за устойчивостта на ЕЕС на страната.

• Участие на големите кондензационни ТЕЦ в поддържане на общия запас по инерция на ЕЕС на страната - При внезапно отпадане на голяма генерация или голям товар, полученият дисбаланс на активните мощности в ЕЕС в първите секунди от процеса, се овладява благодарение на инерцията на

системата (въртящите се маси на синхронните генератори), до активиране на първичното регулиране.

При внезапна поява на дефицит на генерация, въртящите се маси на синхронните генератори се забавят, а при внезапна поява дефицит на товар, въртящите се маси на синхронните генератори се ускоряват. По време на преходния процес, честотата, която следва дисбаланса има по-високи отклонения при по-ниска инерция на системата и обратно. Междусистемните колебания също се влияят от цялостната инерция на системата, като честотата на колебанията се повишава, при намаляване инерцията на системата. Натискът за преминаване от класическо централизирано производство към децентрализирано производство на електроенергия за България ще е свързано със значително редуциране на производството от големи синхронни модули, за сметка на значително увеличаване на електропроизводството от ВЕИ. Това ще доведе до намаляване инерцията на системата, тъй като силовата електроника в конверторите на ВЕИ отделя от динамична гледна точка честотата на енергийната система от генериращото оборудване, дори ако това производство се основава на въртящи се маси като вятърни турбини. Практически инерционният момент от ВЕИ е нула. Въпреки големия натиск от ЕС за драстично увеличаване на генерацията от възобновяеми източници в общия мощностен и енергиен микс на страната, дялът на ВЕИ, който ще позволява нормална работа на българската ЕЕС е променливо число, което в реално време зависи от текущата конфигурация на електропреносната мрежа, направленията и обмените на мощностите със съседните страни, стойностите на напреженията в опорните възли, товарите и състава на работещите големи синхронни агрегати. От натрупания експлоатационен опит до момента се вижда, че дял на ВЕИ над 26% в общия мощностен микс на страната намалява значително устойчивостта на българската ЕЕС. Повишаване дела на генерацията от ВЯЕЦ и ФЕЦ в общия производствен микс на страната е технически възможно само, ако тяхната работа и реакция при преходни процеси стане аналогична на тези на синхронните агрегати. Тази идея е залегнала в Регламент ЕС 2016/631 с изискванията за присъединяване на производителите на електроенергия към електроенергийната мрежа. В този регламент, към новите паркови модули от ВЯЕЦ и ФЕЦ има изисквания за:

- непрекъснатост на производството при отклонение и динамично изменение на честотата;

- автоматично ограничаване на мощността при повишаване на честотата по статична характеристика;
- способност за поддържане непрекъснатостта на производството при повреди (fault ride through capability);
- способност за отдаване и консумиране на реактивна мощност;
- участие в свръхпреходния ток на к.с. в точката на присъединяване, при симетрични и несиметрични повреди в мрежата;
- поддържане на U-Q/Pmax и P-Q/Pmax характеристики;
- изкуствен инерционен момент при преходни процеси (synthetic inertia);
- автоматично участие в регулирането на напрежението в точката на присъединяване.

Описаните по-горе изкисвания към новите паркови модули от ВяЕЦ и ФЕЦ се очаква да бъдат реализирани в бъдеще чрез сложни технически решения в регулиращите и управляващите системи на тези генериращи източници и чрез допълнителни статични устройства. Тези нови функции са идейно разработени, но все още няма натрупан реален експлоатационен опит и не е определена тяхната ефективност. Наличието на такива системи ще повиши стойността на новите паркови модули и съответно финансовата тежест от тяхното бъдещо прилагане в страната.

В тази връзка, от гледна точка на бъдещия енергиен микс в страната е необходимо участието на блоковете на големите кондензационни ТЕЦ в поддържане запаса по инерция и устойчивост в ЕЕС на страната да бъде заменено с еквивалентно такова като например електрически акумулиращи устройства заедно с свързаните инвертори.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният анализ дава основание да се направят следните изводи:

- поэтапното извеждане от експлоатация на големите кондензационни блокове на ТЕЦ е неизбежно и е свързано с увеличаващите се разходи за вредни емисии;
- необходимо е всички описани в статията функции на тези производствени единици да бъдат заместени от ВЕИ, паралелно с въвеждане на ел. акумулиращи устройства, които

могат да осигурят разполагаемост за участие в първично, вторично (ръчно и автоматично) регулиране и резерв за заместване, запас по устойчивост и виртуална (изкуствена) инерция;

- също така е необходимо ВЕИ да се включат активно в балансирането на ЕЕС. Така например ФЕЦ могат да участват в регулиране надолу, което вече е факт.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://www.me.government.bg/files/useruploads/files/national_energy_and_climate_plan_bulgaria_clear_22.02.20.pdf
- [2] https://hidro-energia.org/wp-content/uploads/2017/10/doklad_2017.pdf
- [3] Колев В., И. Драганова-Златева, Развитие на допълнителните услуги като инструмент за балансиране на ЕЕС и функциите на бавното третично регулиране през годините досега Сп. Енергетика 2020, бр. 7.
- [4] Интегриран план в областта на енергетиката и климата на Република България, Министерство на енергетиката.
- [5] НАРЕДБА РД-16-869 от 2.08.2011 г. за изчисляването на общия дял на енергията от възобновяеми източници в брутното крайно потребление на енергия и потреблението на биогорива и енергия от възобновяеми източници в транспорта.
- [6] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

АВТОРИ

Проф. д-р инж. Валентин Колев, Технически университет - София
Доц. д-р инж. Ива Драганова – Златева, Технически университет - София