

Таблица 10.2

Атм. условия	ЗхАСО-500	ЗхАСО-500	Увеличение, %
Сухо време	0,53	1,64	309
Дъжд, мокър сняг	5,23	20,57	393
Скреж	20,32	59,2	291

ГЛАВА ЕДИНАДЕСЕТА

РЕГУЛИРАНЕ НА ЧЕСТОТАТА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА

11.1. БАЛАНС НА АКТИВНИТЕ МОЩНОСТИ

Стационарният режим в електроенергийната система се характеризира с равенство на произведената и консумирана активна мощност. Балансът на активната мощност има вида

$$(11.1) \quad \sum P_T = \sum P_n + \sum P_{св} + \sum \Delta P,$$

където $\sum P_T$ е произведената от генераторите активна мощност; $\sum P_n$ — потреблението на активна мощност в ЕЕС; $\sum P_{св}$ — потреблението на активна мощност за собствени нужди на електрическите централи и подстанции; $\sum \Delta P$ са загубите на активна мощност в електрическите мрежи.

Връзката между производство и потребление на активна мощност, дадена с (11.1) е твърда, без възможност за акумулация. Само при наличие на ПАВЕЦ съществува ограничена възможност за акумулация на активна мощност.

При баланс на активната мощност в ЕЕС се установява номинална честота f_n , при която консуматорите работят най-ефективно.

Активната и реактивна мощност на потребителите се изменя в зависимост от честотата. Тези зависимости $P(f)$ и $Q(f)$ представляват *статичните характеристики* на товара по честота. Потребителите по различен начин реагират на промените на честотата. Някои от тях като нагревателите и лампите с на-

жежаема жичка не променят консумацията си. Асинхронните двигатели изменят консумацията на активна мощност пропорционално на честотата, центрофугите — пропорционално на втората степен, а вентилаторите — пропорционално на третата степен на честотата. Товарът в ЕЕС представлява съвкупност от горните потребители, поради което статичните характеристики на съвкупния товар по честота се дават със следните зависимости:

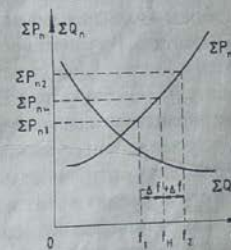
$$(11.2) \quad P_n = P_n \left(\frac{f}{f_n} \right)^{n_1} \quad \text{и} \quad Q_n = Q_n \left(\frac{f}{f_n} \right)^{n_2},$$

където P_n и Q_n са съответно консумацията на активна и реактивна мощност при номинална честота f_n , а n_1 и n_2 са степенните показатели, определящи съответно зависимостта на активната и реактивната мощност от честотата.

Обикновено стойността на n_1 е в диапазона (1,5 — 1,85), а n_2 е приблизително 1. Статичните честотни характеристики на сумарния товар са показани на фиг. 11.1.

При промяна в баланса на активната мощност (11.1) се изменя честотата, а в резултат на това и консумацията на активна мощност. Ако поради отпадане на генераторни мощности съпротивителният момент на товара надвиши двигателния момент на турбините, агрегатите забавят въртенето си. Разликата между необходимата и отдаваната от турбините мощност се покрива първоначално от кинетичната енергия на въртящите се маси на агрегатите, след което честотата на въртене на агрегатите намалява.

В зависимост от статичните честотни характеристики с намаляване на честотата се понижава консумацията на активна мощност и в ЕЕС се установява нов баланс при честота f_1 , по-ниска от номинал-



Фиг. 11.1. Статични характеристики на сумарния активен и реактивен товар по честота

ната (фиг. 11.1). Обратно, при отпадане на част от съвкупния товар на ЕЕС двигателният момент на турбините надвишава съпротивителния момент на товара и роторите на генераторите се ускоряват. Консумацията на активна мощност нараства и се установява нов баланс при честота $f_2 > f_n$.

Количествена оценка за влиянието на честотата върху изменението на сумарния активен и реактивен товар може да се получи чрез развитие на функциите $P_n(f)$ и $Q_n(f)$ в ред на Тейлор, като се отчетат само първите производни:

$$(11.3) \quad P_n = P_n + \frac{dP_n}{df}$$

и

$$(11.4) \quad Q_n = Q_n + \frac{dQ_n}{df}$$

Производните $\frac{dP_n}{df}$ и $\frac{dQ_n}{df}$ определят регулиращия ефект съ-

ответно на активния и реактивния товар на потребителите върху честотата. Регулиращият ефект на активния товар е положителен и благодарение на него е възможно устойчива паралелна работа на генераторите в ЕЕС. При значителни нарушения на генерираната или на консумираната активна мощност ЕЕС ще се устреми към ново равновесно положение, характеризиращо се с честота, различна от номиналната (фиг. 11.1).

Регулиращият ефект на реактивния товар на потребителите е отрицателен и влияе неблагоприятно върху устойчивата работа на генераторите. При понижаване на честотата силно нараства консумацията на реактивна мощност (фиг. 11.1). В резултат нарастват падовете на напрежение в електропроводите и се понижава напрежението във възлите на ЕЕС, което може да разстрои устойчивата работа на асинхронните двигатели.

Балансът на активната мощност е единен за цялата ЕЕС. Поради това честотата в даден момент е еднаква във всички точки от системата.

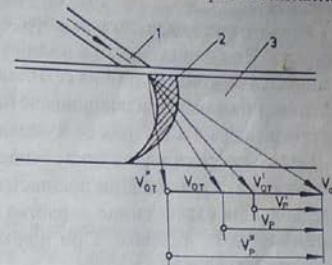
11.2. ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕТО НА ЧЕСТОТАТА ВЪРХУ ЕЛЕМЕНТИТЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА

Отклонението на честотата от номиналната влияе неблагоприятно върху основните съоръжения на електрическите централи.

Парните турбини са конструирани така, че при номинална честота на въртене парата да постъпва по соплото 1 без удар върху лопатката 2 (фиг. 11.2). Абсолютната скорост на парата $V_{аб}$ спрямо ротора 3 е постоянна по посока и големина, определена от конструкцията на турбината. Периферната скорост V_p на ротора 3 зависи от честотата на въртене. Относителната скорост $V_{от}$, с която парата постъпва върху движещите се лопатки, е векторна сума от $V_{аб}$ и V_p . При номинална честота на въртене относителната скорост има посока по допирателната към въртешната повърхност на лопатката, което гарантира продължителен експлоатационен срок на турбината. При намаляване на честотата намалява периферната скорост на ротора, която става V_p' и парата пада под ъгъл върху лопатката 2, което увеличава мощността на турбината, но съкращава живота ѝ. При повишена честота на въртене скоростта на ротора нараства до V_p'' и парата удря в края на лопатката, с което се намалява двигателният момент и се ускорява износването на лопатката.

Количеството на подаваната от захранващата помпа вода Q в котела зависи от ъгловата скорост на помпата и се дава с израза [1]

$$(11.5) \quad Q = \sqrt{\frac{k\omega^2 - P_{ст}}{R_г}}$$



Фиг. 11.2. Влияние на изменението на честотата върху посоката на относителната скорост на парата спрямо лопатките на турбината

1 — сопло; 2 — лопатка; 3 — ротор

където P_{cm} е статичното противоналягане;
 R_{Σ} — сумарното хидравлично съпротивление на тръбите;
 k — коефициент.

Захранващата помпа се преоразмерява значително, за да се осигури захранване на котела и при съществени изменения в честотата.

Изменението на честотата влияе и върху охлаждането на кондензата. При понижението ѝ количеството на охлаждащата вода намалява, кондензатът не се охлажда добре и к.п.д. на турбината се понижава. При повишаването на честотата кондензатът се преохлажда и к.п.д. пак се влошава.

Най-силно се отразява отклонението на честотата върху вентилационната уредба. При повишена честота количеството на постъпващия въздух силно нараства и отнася част от горивото преди неговото изгаряне. При понижена честота се получава напълно изгаряне.

Следователно малки отклонения на честотата значително понижават к.п.д. на електрическите централи и намаляват живота на основните им съоръжения.

Отклонението на честотата нарушава и икономичния режим на работа на ЕЕС. При номинална честота съвкупният активен товар се разпределя между електрическите централи по критериите за минимален разход на гориво и минимални загуби на мощност при преноса. При отклонение от номиналната честота разпределението на товара се извършва обратнопропорционално на наклона на характеристиките на честотните регулатори на отделните агрегати, с което се нарушава икономичният режим.

Отклонението на честотата е неблагоприятно и за преобладаващата част от потребителите на електрическа енергия. Най-масовият консуматор — асинхронният двигател, променя честотата на въртенето си, а следователно и производителността на присъединените към него механизми, пропорционално на изменението на честотата. Всичко това налага честотата в ЕЕС да се поддържа в определени граници.

11.3. ПОКАЗАТЕЛИ ЗА КАЧЕСТВОТО НА ЧЕСТОТАТА

Качествените показатели за честотата са отклонение и колебание на честотата.

Отклонение на честотата се нарича средната разлика за период от 10 min между действителната стойност на основната честота и нейната номинална стойност. То се обуславя от статични промени в баланса на активната мощност и се дефинира по абсолютна стойност или в проценти от номиналната честота:

$$(11.6) \quad \Delta f = f - f_n$$

или

$$(11.7) \quad \Delta f \% = \frac{f - f_n}{f_n} 100.$$

Съгласно БДС 10694 — 80 допустимото отклонение на честотата в ЕЕС е $\pm 0,1$ Hz или $\pm 0,2\%$. Тези изисквания могат да се постигнат само при наличие на автоматични регулатори на честота.

При бързи промени в активния баланс се появяват *колебания на честотата*. Те представляват разликата между най-голямата и най-малката стойност на основната честота при достатъчно бързи промени в режима на работа, когато скоростта на изменение на основната честота е не по-малка от 0,2 Hz/s. Колебанието на честотата се дефинира с израза

$$(11.8) \quad \Delta f = f_{\max} - f_{\min},$$

където f_{\max} е максималната, а f_{\min} — минималната стойност на два съседни екстремума на честотата.

Колебанията на честотата възникват при големи динамични промени в режима, като къси съединения и включване и изключване на мощни потребители. Особено неблагоприятни са периодичните колебания на честотата. Периодични резки промени в товара на двигателите довеждат до люлеене, което означава периодична промяна в честотата на въртене на двигателите. Когато мощността на двигателите е съизмерима с мощността на генераторите може, да се получи *люлеене на генераторите*.

Допустимите колебания на честотата по БДС 10694 — 80 са в границите $\pm 0,2$ Hz.

Неблагоприятното въздействие на отклонението на честотата налага регулиране на честотата в ЕЕС.

11.4. Регулиране на честотата

Промените на честотата са свързани с баланса на активната мощност и за нейното регулиране е необходимо да се въздейства върху регулаторите на турбините, задвижващи генераторите. За изясняване на начините за регулиране на честотата е необходимо да се разгледат устройството и принципът на действие на регулаторите на честотата.

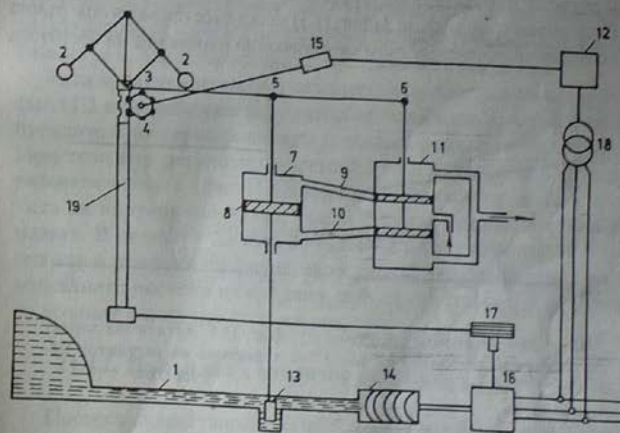
11.4.1. Регулатори на честота

Принципът на действие на регулатор на честота със статична характеристика е пояснен на фиг.11.3.

Протичащият по тръбопровода 1 флуид задвижва турбината 14, а тя привежда в движение генератора 16. Посредством предавката 17 валът 19 на центробежния регулатор се върти с честота на въртене, пропорционална на честотата на въртене на турбината. Чрез муфата 3 той е свързан с лоста на регулатора. Положението на сферите 2 на регулатора, а следователно и на самата муфта 3 се определя от съотношението на честотата на въртене и масата на сферите 2. При номинална честота на въртене отворите на маслопроводите 9 и 10 на маслоразпределителя 11 са затворени и от двете страни на буталото 8 на серводвигателя 7 налягането на маслото е изравнено. Лостът на регулатора 3, 5, 6 е хоризонтален.

Ако товарът се увеличи, честотата на въртене на турбината намалява и муфата 3 на регулатора се премества надолу. Поради изравненото налягане в серводвигателя 7 положението на точка 5 в този момент се запазва, а точка 6 се премества нагоре. В резултат се отварят отворите на маслопроводите 9 и 10. По тръбопровод 9 маслото постъпва над буталото 8, а по маслопровод 10 маслото от долния край на серводвигателя изтича. Поради това буталото 8 се премества надолу и клапанът 13 се спуска, като увеличава притока на работния флуид към турбината. Вследствие на това турбината повишава мощността и честота-

та на въртенето си, поради което муфата 3 се повдига, а точка 6 на лоста се спуска и буталата на маслоразпределителя запущават отново маслопроводите 9 и 10. В резултат муфата 3 заема ново устойчиво положение, малко по-ниско от изходното. Точ-



Фиг. 11.3. Принцилна схема на центробежен регулатор на честота със статична характеристика

1 — тръбопровод; 2 — сфери на регулатора; 3 — муфта; 4 — преводен механизъм; 5 и 6 — точки от лоста на регулатора; 7 — серводвигател; 8 — бутало; 9 и 10 — маслопроводите; 11 — маслоразпределител; 12 — честотен датчик; 13 — клапан; 14 — турбина; 15 — серводвигател; 16 — генератор; 17 — предавка; 18 — трансформатор; 19 — вал на регулатора

ка 5 също се измества малко по-надолу. Честотната характеристика на този регулатор се нарича *статична*.

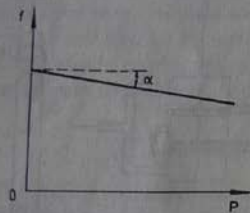
Характерно за него е, че при увеличаване на товара честотата на въртене на турбината, а следователно и честотата на произведения ток намаляват. Показател за характеристиката на този регулатор е нейният наклон, който се измерва с *коэффициента на статизъм* — k_c :

$$(11.9) \quad k_c = \frac{\Delta f}{\Delta P},$$

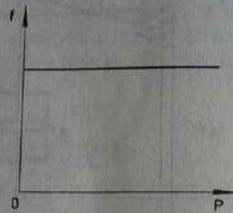
където Δf е промяната в честотата при изменение в натоварването на генераторите с ΔP .

Коефициентът на статизъм при съвременните регулатори е в диапазона от 2 до 4%. Статична характеристика на центробежен регулатор е дадена на фиг. 11.4.

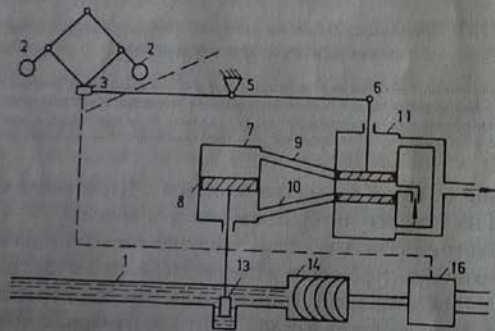
Положението на муфата 3 (фиг. 11.3) може да се променя още ръчно или автоматично посредством механизма за изменение на честотата



Фиг. 11.4. Статична характеристика на регулатор на честота



Фиг. 11.5. Астатична характеристика на регулатор на честота



Фиг. 11.6. Принципно схемата на центробежен регулатор на честота с астатична характеристика
— Означения на елементите — както на фиг. 11.3

на въртене, представен от честотния датчик 12, електродвигателя 15 и преводния механизъм 4. Посредством тях се измества успоредно на себе си статичната характеристика на регулатора.

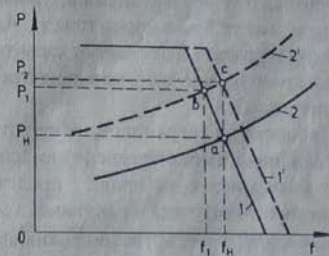
Има и регулатори на честота, при които честотата на въртене на турбината се запазва независимо от промените в натоварването. Тези регулатори се наричат *астатични*. При тях коефициентът на статизъм k_c е 0. Характеристиката им е дадена на фиг. 11.5.

Тази характеристика се осъществява, като на показания на фиг. 11.3 центробежен регулатор се прекъсне връзката между буталото 8 на серводвигателя и точка 5, която се застопорява. При този вид регулатор достът 3,5,6 се завърта около неподвижната точка 5 (фиг. 11.6). При увеличаване на товара честотата на въртене намалява, точка 3 слиза надолу, а точка 6 се издига. В резултат на това буталото 8 на серводвигателя слиза надолу и притока на флуид нараства до възстановяване на номиналната честота на въртене, при която точки 3 и 6 на доста се връщат в изходно положение.

11.4.2. Първично и вторично регулиране на честотата

Процесът на регулиране на честотата се разглежда първоначално в елементарния комплекс

един генератор и товар, който се състои основно от асинхронни двигатели. Генераторът има регулатор със статична характеристика 1 (фиг. 11.7). Хоризонталният участък от характеристиката на регулатора съответствува на невъзможност за регулиране поради превишаване на мощността на турбината. Статичната характеристика на товара е представена с кривата 2. При установения в дадения комплекс режим стойността на честотата се определя от точка *a* на пресичането на статичните характеристики на активната мощност на генератора 1 и на товара 2. При увеличаване на честотата на



Фиг. 11.7. Регулиране на честотата на ЕЕС

въртене под действието на регулатора на честота се намалява притока на постъпващия флуид в турбината и мощността на генератора намалява. Обратно, при намаляване на честотата на въртене регулаторът увеличава притока на флуид в турбината и мощността на генератора нараства. Увеличаването на товара на асинхронния двигател предизвиква успоредно преместване на характеристиката на товара от крива 2 в 2' (фиг.11.7).

Точката *b* на пресичане на характеристиките определя новата увеличена мощност на двигателите P_1 и намалената честота f_1 . Преходът от точка *a* в точка *b*, извършен под въздействието на регулатора на честотата се нарича *първично регулиране на честотата*. При статична характеристика на регулатора с повишаване на товара честотата неизбежно намалява.

Ефективността на първичното регулиране на честотата зависи от коефициента на статизъм. При малък статизъм, съответстващ на по-стръмна характеристика, отклонението на честотата е малко, а при нулев коефициент няма да има промени в честотата. За да се повиши честотата до предишната ѝ стойност f_{sp} е необходимо да се извърши *вторично регулиране на честотата*. За целта е необходимо посредством устройството за регулиране на честотата на въртене да се измести характеристиката на генератора от 1 в 1' чрез увеличаване на притока на енергоносителя в турбината до пресичане на 1' с характеристиката 2' на товара в точка *c*. Ако пресечната точка *c* попадне върху хоризонталната част от характеристиката 1, регулирането е невъзможно поради това, че турбината не може да поеме допълнителния товар.

Процесът на регулиране на честотата в ЕЕС е аналогичен на разгледания комплекс генератор-асинхронен товар. Необходимо е да се приеме, че права 1 представлява еквивалентна честотна характеристика на активната мощност на всички генератори, а крива 2 — съответно еквивалентната честотна характеристика на сумарния активен товар на ЕЕС. Този модел е идеализиран, тъй като е невъзможно да се въздейства едновременно върху регулаторите на честотата на всички агрегати, без да се наруши устойчивостта на регулиране на честотата.

Като се изхожда от дефиницията за коефициента на статизъм (11.9), който в относителни единици е

$$k_c = -\frac{\Delta f}{\frac{f_n}{P_n} \Delta P},$$

се съставя уравнението за регулиране на честотата

$$(11.10) \quad \frac{\Delta f}{f_n} + k_c \frac{\Delta P}{P_n} = 0.$$

Уравнение (11.10) представлява законът за регулиране на честотата в комплекса генератор-асинхронен двигател. То може да се използва и за цялата ЕЕС, ако се работи с еквивалентните статични характеристики. В този случай P_n представлява общата инсталирана мощност на ЕЕС, ΔP е сумарното изменение на активната мощност на ЕЕС, а k_c представлява средният коефициент на статизъм за цялата ЕЕС — k_{csp} .

При поява на допълнителен товар ΔP_c в ЕЕС той се разпределя между отделните генератори обратнопропорционално на коефициента на статизъм на техните регулатори.

Следователно отделните агрегати се натоварват допълнително със следните товари:

$$(11.11) \quad \begin{aligned} \Delta P_1 &= -\frac{P_{n1}}{k_{c1}} \frac{\Delta f}{f_n}; \\ \Delta P_2 &= -\frac{P_{n2}}{k_{c2}} \frac{\Delta f}{f_n}; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta P_m &= -\frac{P_{nm}}{k_{cm}} \frac{\Delta f}{f_n}. \end{aligned}$$

Чрез събиране на (11.11) се получава

$$(11.12) \quad \sum_{i=1}^m \Delta P_i = -\frac{\Delta f}{f_n} \sum_{i=1}^m \frac{P_{ni}}{k_{ci}}.$$

Като се има предвид, че $\sum_{i=1}^m \Delta P_i = \Delta P_\Sigma$ и ако се въведе по-натие *среден коефициент на статизъм* $k_{\text{ср}}$ за всички генератори в ЕЕС, който се получава от съотношението

$$(11.13) \quad \sum_{i=1}^m \frac{P_{ni}}{k_{ci}} = \frac{1}{k_{\text{ср}}} \sum_{i=1}^m P_{ni} = \frac{1}{k_{\text{ср}}} P_{\Sigma},$$

уравнението за регулиране на честотата добива вид, аналогичен на (11.10)

$$(11.14) \quad \frac{\Delta f}{f_n} + k_{\text{ср}} \frac{\Delta P_\Sigma}{P_{\Sigma}} = 0.$$

От (11.14) следва, че при $k_{\text{ср}} \neq 0$ се извършва статично регулиране на честотата.

Този начин на регулиране има следните неудобства:

1. Честотата се изменя в процеса на регулиране ($\frac{\Delta f}{f_n} \neq 0$) както при големи промени в натоварването могат да се получат значителни отклонения.

2. За да бъдат отклоненията на честотата малки, необходимо е средният коефициент на системата $k_{\text{ср}}$ да бъде малък. Но от (11.11) — (11.13) следва, че

$$(11.15) \quad \frac{1}{k_{\text{ср}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{ci}}$$

или малки стойности на $k_{\text{ср}}$ се получават, ако всички генератори в ЕЕС са включени в паралел постоянно. Това противоречи на икономичния режим на работа, тъй като при минимални товари някои агрегати работят почти в празен ход.

3. При промяна на активния товар на ЕЕС отделните агрегати се натоварват или разтоварват обратнопропорционално на коефициента на статизъм на регулатора си, което нарушава икономичното разпределение на активната мощност между агрегатите.

Когато регулаторът на един от агрегатите има астатична характеристика, се извършва астатично регулиране на честотата. При това регулиране честотата остава постоянна независимо от промените в баланса на активната мощност. Не е възможно всички или известен брой агрегати да снабдят с регулатори с астатични характеристики. Регулирането в този случай е неустойчиво, тъй като зависимостта между честотата и мощността на отделните агрегати не е еднозначна. Устойчиво астатично регулиране на честотата може да се постигне само при вторично регулиране. То се провежда обикновено с една достатъчно мощна и маневрена електроцентрала. Тя се нарича водеща по честота и поема всички промени на активната мощност, предизвикани от колебанията на товара. Най-удобни по технически и икономически показатели са подязовирните ВЕЦ. При липса на такива се използват ТЕЦ на газ или висококалорийни въглища, които са достатъчно маневрени.

При малки изменения на натоварването регулирането се осъществява от един агрегат с регулатор с астатична характеристика, а при значителни промени — и от помощни агрегати, характеристиките на които са със съвсем слаб статизъм. В този случай честотата се променя слабо. Ако мощността на водещата електроцентрала е недостатъчна, регулирането се поема от няколко централа. Такова регулиране се извършва по предварително разпределение на товара между тези електрически централни и отделните им агрегати. За целта се употребяват вторични електрически регулатори с пропорционални характеристики, които поради малката си нечувствителност гарантират съвсем малки отклонения.

Необходимото условие за успешното регулиране на честотата е да се осигури скорост на изменение на мощността на регулиращите агрегати, не по-малка от скоростта на изменение на активния товар.

При обединение от електроенергийни системи регулирането на честотата се усложнява, тъй като при промяна на товара се изменя и обменената между ЕЕС мощност. Ако не се контролират тези промени в обмяната на мощност, могат да се претоварят тези промени в обмяната на мощност, могат да се претоварят обменните електропроводи и да се наруши устойчива-

та съвместна работа. В този случай се прилага комбинираното регулиране *честота — мощност*. Същността на този метод се състои в това, че промените в товара трябва да се поемат от ЕЕС, в която те са възникнали.

При поява на дефицит на мощност в една ЕЕС намаляване на честотата ще има в цялата обединена ЕЕС. Намалява се отдаваната обменна мощност само в засегнатата система. В останалите ЕЕС обменната мощност напротив се увеличава. Само в засегнатата ЕЕС знакът на изменението на честотата и знакът на промяната на обменната мощност съвпадат, поради което автоматиката подава сигнал на водещата електроцентраля в тази система да започне регулирането. В останалите ЕЕС знакът на промяна на честотата и на обменната мощност са различни, поради което регулиращите електроцентрали няма да реагират.

Най-труден е проблемът за регулиране на честотата, когато електропреносните връзки между електроенергийните системи нямат достатъчна възможност за пренос на необходимата мощност. В тези случаи регулирането трябва да се провежда така, че да не се претоварят междусистемните електропроводи, за да не се наруши устойчивата работа на обединената ЕЕС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богатев, К.И.* Електрически системи и далечно пренасяне на електрическа енергия. Наука и изкуство, С., 1957.
2. *Буслова, Н.В.* и др. Електрически системи и сети. Вища школа, Киев, 1986.
3. *Василев, Н.И., С.Т.Сидеров.* Ръководство по проектиране на електроснабдителни системи на промишлени предприятия. Техника, С., 1988.
4. *Вещиков, В.А.* Електрически системи. т.П. Высшая школа, М., 1971.
5. *Вещиков, В.А.* Електрически системи. т.П. Высшая школа, М., 1973.
6. *Вещиков, В.А.* Електрически системи. т.V. Высшая школа, М., 1975.
7. *Вълчков, П.М.* Електрически мрежи и системи, ч.1. Техника, С., 1989.
8. *Вълчков, П.М.* Електрически мрежи и системи, ч.2. Техника, С., 1990.
9. *Генков, Н.Т., В.Т.Захариев.* Ръководство за проектиране на въздушни електропроводи. ВМЕИ, С., 1982.
10. *Генков, Н.Т.* и др. Ръководство за проектиране на електрически мрежи и системи. Техника, С., 1993.
11. *Генков, Н.Т., В.Т.Захариев.* Механична част на електрически мрежи. Техника, С., 1993.
12. *Генов, Л.Г.* Електроенергетика. Техника, С., 1985.
13. *Глазунов, А.А.* Електрически мрежи и системи. Наука и изкуство, С., 1957.
14. *Дино, П.* Модели РЕИ и параметри режима обединенных энергосистем. Энергоатомиздат, М., 1987.
15. *Жежеленко, И.Д.* и др. Качество энергии на промышленных предприятиях. Техника, Киев, 1981.
16. *Железко, Ю.С.* Компенсация реактивной мощности в сложных энергетических систем. М., Энергоиздат, 1981.
17. *Идельчик, В.И.* Установившихся режимов электрических систем. М., Энергия, 1977.
18. *Картов, Ф.Ф., Л.А.Солдаткина.* Регулирование напряжения в электросетях промышленных предприятий. М., Энергия, 1970.
19. *Козлов, В.А.* Городские распределительные электрические сети. Л., Энергоиздат, 1982.
20. *Козлов, В.А., Н.И.Билик, Д.Л.Файбисович.* Справочник по проектированию систем электроснабжения городов. Л., Энергоатомиздат, 1986.
21. *Маркушевич, Н.С., Л.А.Солдаткина.* Качество напряжения в городских электрических сетях. М., Энергия, 1975.
22. *Мельников, Н.А.* Электрические сети и системы. М., Энергия, 1975.
23. *Николов, Д.А.* Оперативно прогнозиране на товара на електроенергийната система посредством приложение метода на потенциалните функции при разпознаване на образи. С., АСУ, № 3-4, 1978.
24. *Поспелов, Г.Е., Н.М.Сыч.* Потери мощности и энергии в электрических сетях. М., Энергоиздат, 1981.
25. *Правилник за устройство на електрически уредби.* С., Техника, 1980.
26. *Сенди, К.* Современные методы анализа электрических систем. М., Энергия, 1981.