8

Регулација на фреквенција и активни моќности во ЕЕС

8.1. **Паралелна работа на синхроните генератори**

Современите електроенергетски системи го напојуваат голем број на синхрони генератори кои работат паралелно. Паралелната работа на поголем број на генератори има значајни предности. Пред сé, на тој начин се обезбедува сигурност во работата на системот, потоа, се смалува бројот на резервни генератори кои се вклучуваат во погон во случај на ремонт или дефекти кај други генератори, постои можност за економична и оптимална распределба на оптоварување меѓу поедини централи односно оптимална распределба на оптоварување меѓу термоцентрали и хидроцентрали заради максимално искористување на хидроенергијата.

Во текот на денот не работат секогаш ист број на синхрони генератори. Во зависност од дијаграмот на оптоварување, се вклучуваат или исклучуваат одреден број на генератори, настојувајќи оние кои работат да се максимално оптоварени (најекономичен режим на работа). Постапката на вклучување на генератор на мрежа се вика синхронизација. Пред да се приклучи на електричната мрежа, генераторот треба да се доведе во синхронизам со неа, што подразбира исполнување на следните услови:

1. Електромоторната сила на генераторот треба да е еднаква по големина со напонот на мрежата ($E=U$);
2. Фреквенцијата на електромоторната сила на генераторот треба да е иста со фреквенцијата на напонот на мрежата ($f_E = f_U$).

3. Електромоторната сила на генераторот треба да е во фаза со напонот на мрежата ($\underline{E}=\underline{U}$);

Доколку не е исполнет само првиот услов, во моментот на вклучување на генераторот ќе се случи струен удар на реактивна струја од или кон генераторот во зависност од тоа дали електромоторната сила на генераторот била повисока или пониска од напонот на мрежата. Ако не е исполнет вториот услов, постои фазно поместување помеѓу напоните на генераторот и мрежата. Ако генераторот се врти побавно , во моментот на вклучување се добива струен удар на активна струја која настојува да го забрза роторот на генераторот и го доведе на синхрон број на вртежи. Обратно, ако генераторот се врти побрзо, тој ќе оддава моќност во мрежата и на тој начин се прикочува. Според тоа, несовпаѓање на фреквенциите има за последица напрегање на осовината на роторот, а освен тоа доведува и до нишање на останатите генератори во мрежата. Неисполнување на третиот услов, особено ако фазите на напоните на генераторот и мрежата знатно се разликуваат, може да има уште потешки последици со појава на многу силен струен удар во моментот на вклучување.

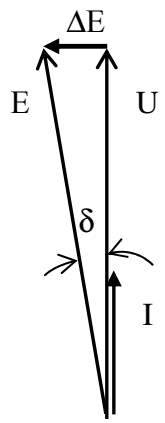
Во секоја централа постои посебна опрема за синхронизација т.е. за доведување на синхрониот генератор во паралелна работа со останатите генератори во мрежата. Се состои од два волтметра и два фреквенцметра (за контрола на напонот и фреквенцијата на генераторот и мрежата) и специјален уред – синхроноскоп кој овозможува контрола на совпаѓање на векторите на напоните на исоимените фази. Синхронизацијата може да се врши рачно или автоматски.

8.2. **Регулација на активна моќност на генераторите во ЕЕС**

Во случај на исправна синхронизација, во моментот на приклучување на генераторот на електричната мрежа, низ неговите статорски намотки не тече никаква струја, а тој се врти синхроно со останатите генератори во мрежата. Погонската турбина ја покрива моќноста потребна за совладување на загубите заради триење и вентилација во генераторот. Генераторот не оддава ниту прима моќност од мрежата. Ако се посматраат векторите на електромоторната сила на генераторот (E) и напонот на мрежата(U), тие се еднакви по големина и по фаза. Ако се зголеми возбудната струја на генераторот, расте и неговата електромоторната сила. Ако генераторот работи паралелно со поголем број на други генератори, така да моќноста му е мала во споредба со вкупната моќност на сите генератори во мрежата, тогаш со зголемување на

возбудната струја нема битно да се зголеми напонот на неговите краеви (крута мрежа). Тогаш се појавува разлика на напон *ΔE* помеѓу електромоторната сила и напонот на мрежата. Бидејќи активниот отпор на генераторот може да се занемари во однос на неговата реактанса, тогаш струјата предизвикана од напонот *ΔE* ќе има индуктивен карактер и генераторот ќе оддава реактивна моќност во мрежата. Според тоа, *со промена на возбудната струја се менува произведената реактивна моќност на генераторот.* Зголемување на напонот во целата мрежа е можно само со зголемување на возбудната струја кај поголем број на генератори.

Ако се претпостави дека после синхронизацијата генераторот не ја менува возбудната струја туку се зголеми доводот на пареа или вода во погонската турбина. Турбината заради тоа настојува да го зголеми бројот на вртежи и векторот на електромоторната сила на генераторот се поместува нанапред во однос на векторот на напонот на мрежата за одреден агол δ (сл.8.1). Заради тоа се јавува разлика на напон *ΔE* која ќе предизвика појава на струја која и во овој случај заостанува за 90^0 зад *ΔE*. Од векторскиот дијаграм на сл. 8.1 се гледа дека оваа струја има чист активен карактер бидејќи практично е во фаза со напонот на мрежата и генераторот почнува да оддава активна моќност. Со зголемување на аголот δ се зголемува и моќноста сé до $\delta = 90^0$, после што генераторот испаѓа од синхронизам.



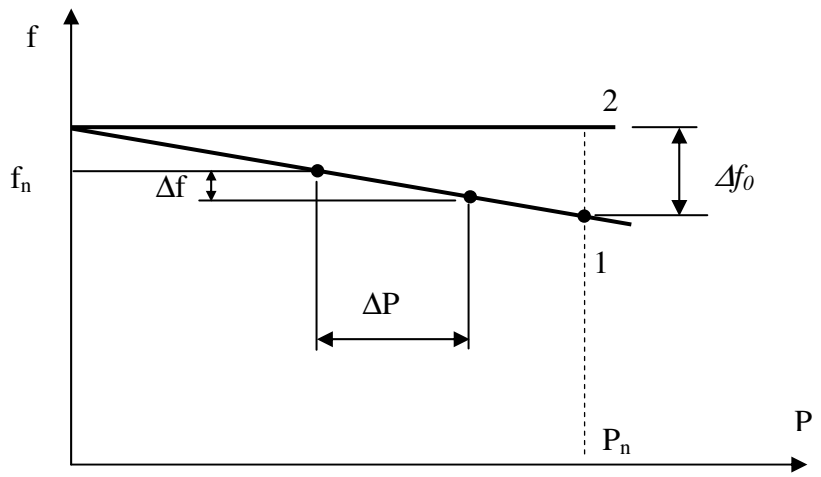
Сл. 8.1. Оптоварување на генератор со активна моќност

Според тоа, кога генераторите работат паралелно со јака мрежа, со зголемување на моќноста на погонската турбина, за последица нема битно зголемување на фреквенцијата, туку се зголемува оптоварувањето на генераторот со активна моќност. Промена на фреквенцијата во голем ЕЕС е можна само со регулација на доводот на пареа или вода кај поголем број на турбини во системот.

8.3. **Регулација на фреквенција во ЕЕС**

Еден од показателите за квалитет на функционирањето на ЕЕС е одржување на фреквенцијата во дозволени граници. За разлика од напонот за кој може да се каже дека е локална карактеристика на мрежата, фреквенцијата е воглавно единствена за целиот електроенергетски систем. Заради тоа, ако во некој дел од системот се случи пореметување кое за последица има промена на фреквенцијата, ќе се промени фреквенцијата на целиот систем, а не само на делот од системот во кој настанало пореметувањето. Денес се настојува да се одржува фреквенцијата во границите 49,9 ÷ 50,1 Hz, или ако се отфрлат краткотрајните пореметувања, во границите 49,95 ÷ 50,05 Hz што значи отстапување од номиналната фреквенција од 0,2%, односно 0,1%.

Фреквенцијата може да се одржува на константна вредност само ако постои еднаквост меѓу производството и потрошувачката на електрична енергија т.е ако генераторите произведуваат онолку енергија колку што потрошувачите трошат, се разбира, земајќи ги предвид сите загуби во преносот. Оваа рамнотежа треба да се одржува секој момент. Во случај на недостаток на активна моќност ќе дојде до намалување на бројот на вртежи на генераторот и пад на фреквенцијата. Затоа, секој агрегат во централите има турбински регулатор на брзина на вртење со кој се регулира доводот на погонското средство (вода, пареа, гориво). Зависноста на брзината на вртење т.е. фреквенцијата и моќноста кој ја произведува генераторот е дадена со карактеристиката на регулаторот (сл. 8.2):



Сл. 8.2. Карактеристики на турбински регулатор

Ако генераторот е подесен така да одржува константен број на вртежи независно од оптоварувањето, тогаш тој има *астатичка карактеристика* (карактеристика 2). Овие регулатори се погодни кај генератори кои самостојно напојуваат некое конзумно подрачје. Кај генераторите кои работат паралелно со останатиот систем потребна е т.н. *статичка карактеристика* на регулаторот. Регулаторот не ја одржува фреквенцијата константна, туку таа малку опаѓа со порастот на оптоварувањето (карактеристика 1 на сл. 8.2).

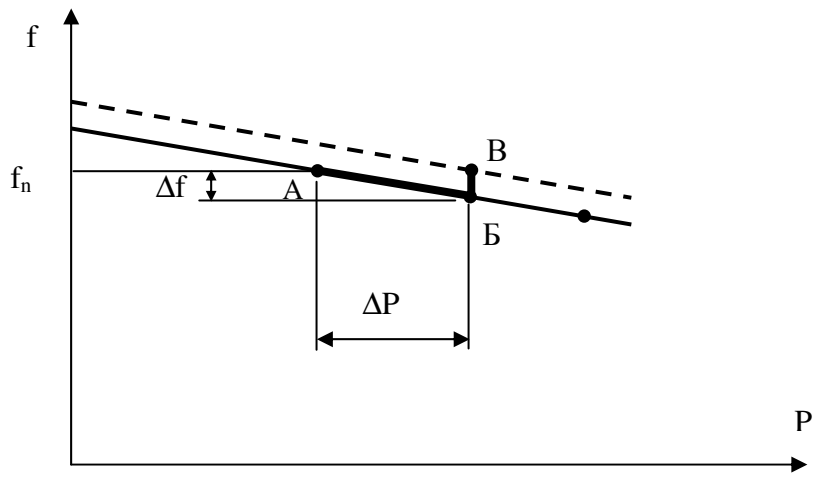
Односот помеѓу промената на моќноста и соодветната промена на фреквенцијата се нарекува регулациска енергија и се одредува од релацијата:

$$K = \frac{\Delta P}{\Delta f} \tag{8.1}$$

а статиката на регулаторот е дефинирана како:

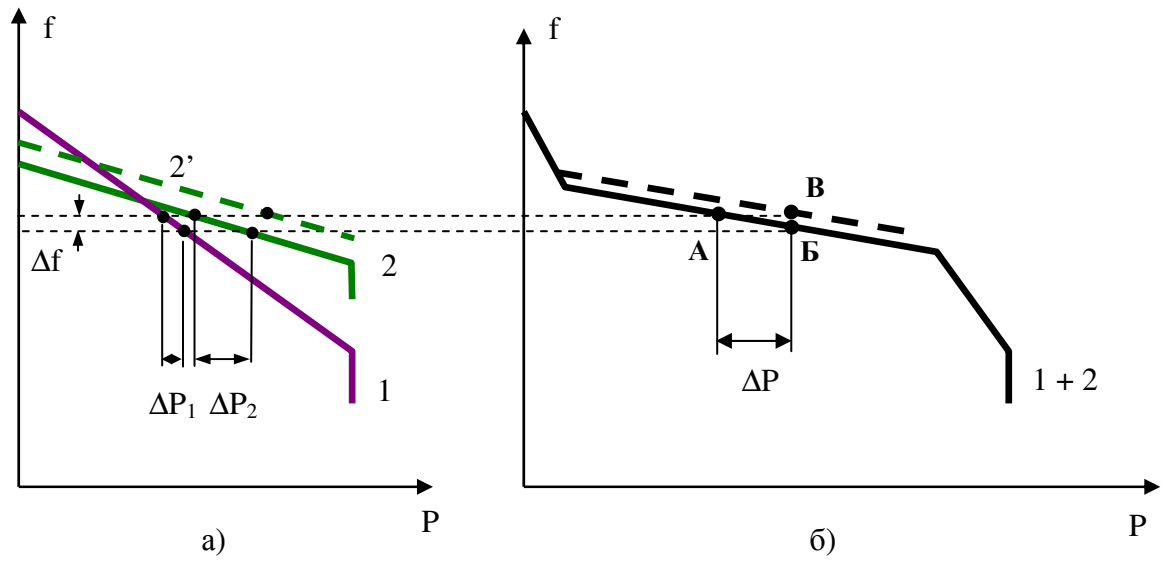
$$S = \frac{\Delta f_0}{f_n} \cdot 100 \quad (\%) \tag{8.2}$$

Статиката на регулаторот може да се менува, а обично изнесува околу 4% што значи дека фреквенцијата би се променила за 2 Hz при промена на оптоварувањето од празен од до номинално. Турбинскиот регулатор овозможува подигање и спуштање на карактеристиката со цел да се одржи константна фреквенција при промена на оптоварувањето (сл. 8.3). На пример, ако оптоварувањето се зголеми за ΔP, фреквенцијата ќе се намали за Δf т.е. работната точка се поместува од **А** во **Б**. Со паралелно поместување на карактеристиката нагоре (испрекината линија) се зголемува фреквенцијата при непроменето оптоварување и работната точка се преместува во **В.**



Сл. 8.3. Регулација на фреквенција при променливо оптоварување

Кога има повеќе генератори во ЕЕС, можно е да се одреди заедничка карактеристика на регулација. Таа се одредува со собирање на моќностите кои одговараат на иста фреквенција. Кога се посматраат односите помеѓу оптоварувањето и фреквенцијата, се тргнува од заедничката карактеристика на регулација (сл. 8.4 б). Ако се зголеми оптоварувањето за ΔP, фреквенцијата ќе се намали за Δf т.е. работната точка се поместува од **А** во **Б.** Тоа зголемување на оптоварувањето ќе го превземат сите агрегати така за $\Delta P_1 + \Delta P_2 = \Delta P$. Колкаво оптоварување ќе превземе секој агрегат зависи од статиката на неговиот регулатор. Агрегатите со регулатори со помала статика (карактеристика 2 од сл. 8.4.а) ќе превземат поголемо оптоварување ΔP_2 во однос на оние со поголема статика (ΔP_1).



Сл. 8.4 Регулација на фреквенција во систем со два агрегати со статички регулатори

Зголемување на фреквенцијата за Δf е можно со поместување на заедничката карактеристика (поместување на работната точка во **В**). Поместување на заедничката карактеристика може да се оствари со поместување на карактеристиките на повеќе регулатори. Но, вообичаено е, тоа поместување да се врши на еден однапред утврден агрегат кој ја има функцијата за регулирање на фреквенцијата во ЕЕС. Таа улога ја има агрегатот 2 од сл. 8.4.а. , а во електроенергетските системи таа улога ја имаат вршните хидроцентрали.

Колкаво оптоварување ќе превземат агрегатите кои работаат паралелно може едноставно да се пресмета ако се познава нагибот на нивните статичките карактеристики:

$$K = \frac{P_n}{\Delta f_0} \tag{8.3}$$

Промената на оптоварувањето тогаш изнесува:

$$\Delta P = \Delta f \cdot K \tag{8.4}$$

Ако парарелно работат повеќе генератори со константи $K_1, K_2, \ldots\ldots K_n$ тогаш при зголемување на оптоварувањето за ΔP на секој генератор ќе отпадне $\Delta P_1, \Delta P_2, \ldots \Delta P_n$ Бидејќи за сите генератори промената на фреквенцијата е иста (Δf) , следува:

$$\begin{aligned}
&\Delta P_1 = K_1 \cdot \Delta f \\
&\Delta P_2 = K_2 \cdot \Delta f \\
&\ldots\ldots \\
&\ldots\ldots \\
&\Delta P_n = K_n \cdot \Delta f \\
&\text{----------} \\
&\sum_{i=1}^{n} \Delta P_i = \Delta f \sum_{i=1}^{n} K_i
\end{aligned} \tag{8.5}$$

Ако се означи $\begin{array}{l} K_\Sigma = K_1 + K_2 + \ldots\ldots + K_n \\ \Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \ldots\ldots + \Delta P_n \end{array}$ тогаш може да се напише:

$$\Delta P = \Delta f \cdot K_\Sigma \tag{8.6}$$

$$\Delta f = \frac{\Delta P}{K_\Sigma} \tag{8.7}$$

и изразите (8.6) добиваат облик:

$$\begin{aligned}
&\Delta P_1 = \frac{K_1}{K_\Sigma} \cdot \Delta P \\
&\Delta P_2 = \frac{K_2}{K_\Sigma} \cdot \Delta P \\
&\ldots\ldots \\
&\ldots\ldots \\
&\Delta P_n = \frac{K_n}{K_\Sigma} \cdot \Delta P
\end{aligned} \tag{8.8}$$

Според тоа, оптоварувањата ќе се распределат во зависност од нагибот на карактеристиките на турбинските регулатори.

Разгледувањето направено за регулација на активна моќност важи и за регулација на реактивна моќност која ја произведува генераторот. Кога генераторот работи паралелно со јака мрежа, со зголемување на возбудата практично не може да се зголеми напонот на мрежата, туку генераторот, како што е веќе кажано, произведува

реактивна моќност. Недостатокот на реактивна моќност во системот се манифестира со намалување на напонот. Според тоа, регулацијата на реактивните моќности на себе ја превземаат регулаторите на напон. Слично како кај турбинските регулатори, регулаторите на напон чии карактеристики имаат поголема косина не реагираат многу на промената на напонот, додека оние со помала статичност ја превземаат на себе готово целата регулација на реактивна моќност во системот.