

С. О. НОВИКОВ, Л. И. НОВИКОВА, В. Ю. ТИТКО

РЕЖИМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИКОЙ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ЧАСТОТОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Белорусский национальный технический университет

Характеристики генерирующих источников и потребителей, динамика изменения частоты в энергосистеме, анализ работы объектов при различных вариациях показателей энергосистемы. Анализ данных поступающие на входы объектов исследования, выходные сигналы систем.

Введение

Целью исследования является рассмотрение динамики изменения переходных процессов в энергосистеме при дефиците мощности, а также процесса выделения электрических станций на сбалансированную нагрузку.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) является основной автоматикой на любой электрической станции в энергосистеме, к ней предъявляется ряд условий и требований, при этом большая часть устройств АЧР и автоматического частотного деления (АЧД) устарели и не удовлетворяют требованиям действующих ТНПА [1][2].

АЧД согласно действующих ТНПА следует устанавливать на всех ТЭС мощностью свыше 25 МВт. В таком случае отделение электростанций от энергосистемы при системных авариях предотвратит полное отключение потребителей, а АЧР помогает сохранить значение частоты на требуемом уровне [3].

Особое внимание при рассмотрении генерирующих источников и электростанций уделяется выделению генераторов на сбалансированную нагрузку, а также автоматической частотной разгрузке электростанций

в аварийных режимах работы энергосистемы. При этом актуальность таких работ возрастет в разы при пуске БелАЭС, так как отключение только одного блока атомной станции в 1200 МВт приведет к существенному изменению частоты в энергосистеме.

Регулирующий эффект нагрузки зависит от состава потребителей, поэтому в различных энергосистемах он имеет свое значение и лежит в пределах $k_n = 1,0 - 3,0$. В течение суток состав потребителей меняется, вследствие чего регулирующий эффект нагрузки k_n также не остается постоянным. При действии АЧР величину и динамику снижения частоты в основном определяет плотность разгрузки и регулирующий эффект нагрузки.

Структурная схема агрегата, используемого в энергосистеме для регулировки небаланса мощности, показана на рис. 1 [4].

Регулятор частоты вращения реагирует на отклонение частоты от номинальной и воздействует на турбину. Мощность турбоагрегата уравнивается нагрузкой P_n .

При воздействии небаланса мощности ΔP изменение частоты во времени определяется выражением:

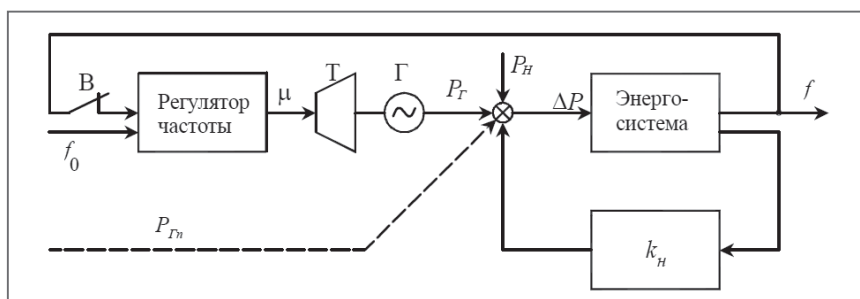


Рисунок 1 – Структурная схема для регулировки небаланса мощности

$$\Delta f = \frac{\Delta P}{k_i} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_j}} \right).$$

Если небаланс мощности $\Delta P < 0$, то частота снижается по экспоненциальному закону на величину $\Delta f_{уст} = \Delta P / k_n$ и в установившемся режиме будет равна $f_{уст} = 50 - \Delta f_{уст}$. Процесс снижения частоты показан в виде кривой «3» на рис. 2.

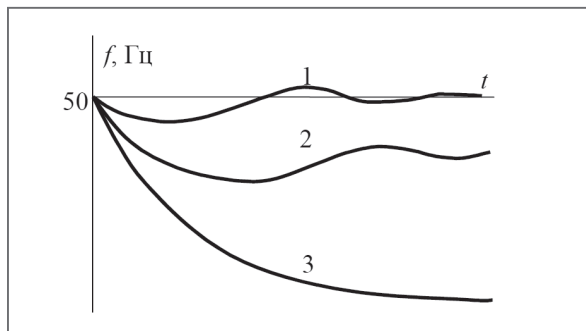


Рис. 2. Структурная схема агрегата при $P_g = \text{const}$

Если условится, что состав потребителей известен, тогда изменение состава нагрузки узла (потребителей) приводит к изменению регулирующего эффекта нагрузки, что в свою очередь даст возможность положительного регулирования (восстановления) частоты в режиме избытка и нехватки генерирующих мощностей, за счёт обратной связи. Данный процесс саморегулирования не приведет к восстановлению частоты до номинального значения, а лишь позволит сохранять частоту рассматриваемой системы

на более высоком уровне, и улучшит переходной процесс снижения частоты.

Авторами рассматривался вопрос изменения регулирующего эффекта нагрузки при работе автоматического частотного деления и при дефиците мощности, который компенсировался воздействием на турбины генерирующих источников в зависимости от частоты на шинах станции.

В момент времени « t_0 » система в равновесии и частота равна 50 Гц, в течении времени происходит ступенчатое изменение нагрузки во времени « tn » и мощность потребления растет. Приняв, что у генерирующих источников нет запаса по мощности, частота в рассматриваемом узле начинает снижаться. В разрезе времени происходит изменение регулирующего эффекта нагрузки в зависимости от нагрузки потребителей.

Постоянная времени энергосистемы 8 с, период рассмотрения процесса 11 секунд, ступень изменения мощности 1 секунда, изменения регулирующего эффекта нагрузки на 1 МВт изменения мощности равен $\Delta k_n = 0,05$.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

При расчете режима в зависимости от суммарной мощности потребителей производилась выборка требуемого регулирующего эффекта нагрузки, и расчет частоты в данный момент времени с соответствующим коэффициентом. Далее произведен расчет системы с постоянным коэффициентом и идентичными дефицитами мощности на всем промежутке времени. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 1 – Расчет режима при дефиците мощности и «хаотичном» изменении нагрузки потребителей

Нагрузка потребителей, МВт	Дефицит, МВт	Регулирующий эффект нагрузки кн (для выборки)	Постоянная времени энергосистемы с учетом регулирующего эффекта нагрузки T'j	t, с	Выбор требуемого кн, зависящего от нагрузки	Изменение частоты Δf, Гц	f, Гц
20	0	2	4	1	2	0	50
22	2	2,05	3,721	2	2,15	0,366	49,634
24,5	4,5	2,1	3,556	3	2,25	1,055	48,945
28,8	8,8	2,15	3,265	4	2,45	2,270	47,730
25,9	5,9	2,2	3,478	5	2,3	1,830	48,170
23,65	3,65	2,25	3,636	6	2,2	1,289	48,711
21	1	2,3	3,810	7	2,1	0,393	49,607
22,1	2,1	2,35	3,721	8	2,15	0,845	49,155
24,5	4,5	2,4	3,556	9	2,25	1,789	48,211
29,7	9,7	2,45	3,200	10	2,5	3,562	46,438
26,9	6,9	2,5	3,404	11	2,35	2,748	47,252
Мощность генерирующего источника, МВт	Постоянная времени энергосистемы Tj						
20	8						

На 10 секунде частота снижается ниже 46 Гц. Графики переходного процесса приведены на рис. 3 и 4.

Анализируя данные можно заметить, что наибольшее значение снижения частоты происходит на 10 секунде, дефицит в этот момент времени составляет 9,7 МВт.

Заключение

Сравнивая показатели системы с динамически изменяющимся коэффициентом k_H

можно более стабильно и плавно производить регулирования частоты.

По результатам анализа данных полученных с учетом плавной динамики изменения k_H системы у которой регулирующий эффект нагрузки может значительно изменяться во времени очевидно, что такой объект может производить регулирование частоты за счёт значительно меньшего изменения состава потребителей.

Т а б л и ц а 2 – Расчет режима при дефиците мощности и $k_H=2$

Дефицит, МВт	Регулирующий эффект нагрузки k_H	Постоянная времени энергосистемы с учетом регулирующего эффекта нагрузки T^j	t, c	Изменение частоты Δf при $k_H=2, Гц$	f при $k_H=2, Гц$	Частота f с $k_H var, Гц$	f с экспоненциальным снижением частоты, $Гц$
0	2	4	1	0	50	50	50
2	2		2	0,393	49,607	49,634	48,623
4,5	2		3	1,187	48,813	48,945	48,153
8,8	2		4	2,781	47,219	47,730	47,788
5,9	2		5	2,105	47,895	48,170	47,503
3,65	2		6	1,418	48,582	48,711	47,281
1	2		7	0,413	49,587	49,607	47,108
2,1	2		8	0,908	49,092	49,155	46,974
4,5	2		9	2,013	47,987	48,211	46,869
9,7	2		10	4,452	45,548	46,438	46,787
6,9	2		11	3,229	46,771	47,252	46,724

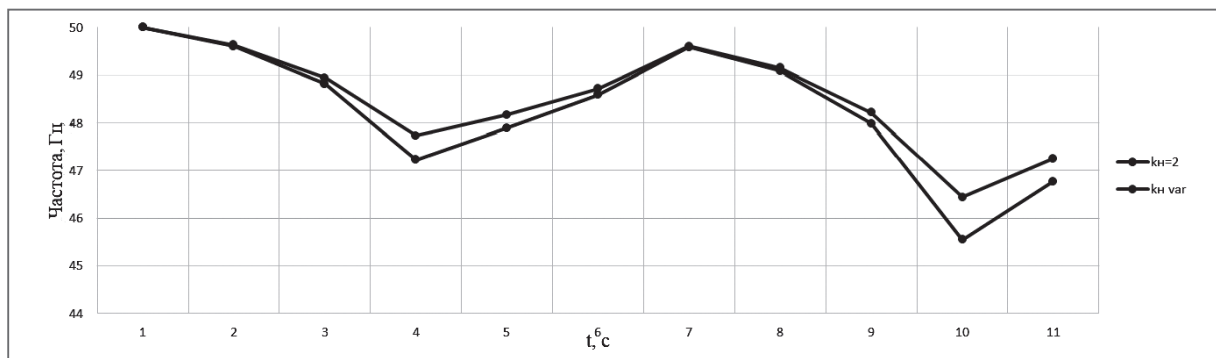


Рисунок 3 – Переходной процесс при изменяющемся k_H

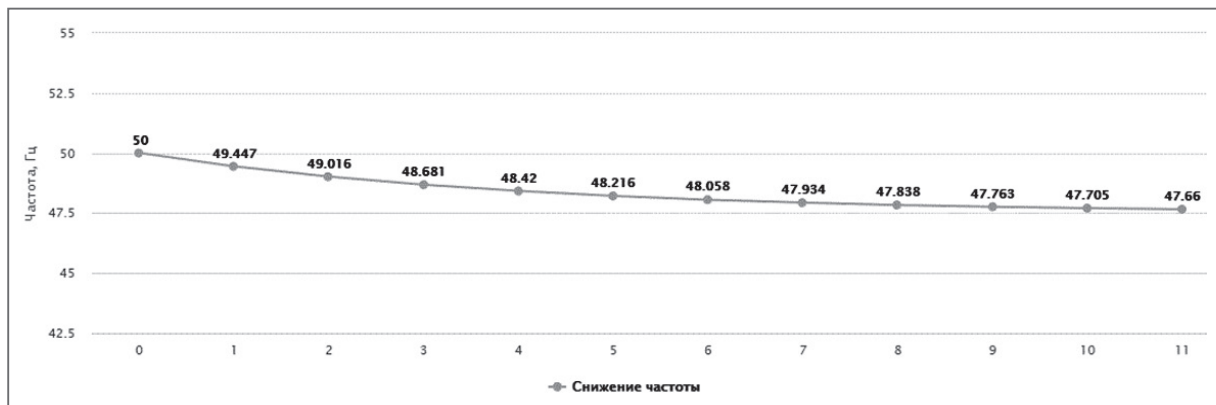


Рисунок 4– Переходной процесс при дефиците $\Delta P=5МВт$ в ПА АЧД

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок: сборник нормативных правовых актов Республики Беларусь / составители: Л. С. Овчинников, Н. В. Овчинникова. – Минск: Дизайн ПРО, 2012. – 1375 с.
2. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования: ГОСТ 34045–2017. – Введ. 30.01.2017. – М.: Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Межгос. Технический комитет по стандартизации, 2017. – 19 с.
3. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ: СТП 09110.35.677–07. – Введ. 01.11.2007. – Минск: Белэнергоремналадка, 2007. – 136 с.
4. **Окин, А. А.** Противоаварийная автоматика / А. А. Окин. – М.: МЭИ, 1995. – 212 с.

REFERENCES

1. Rules for electrical installations: collection of normative legal acts of the Republic of Belarus / compilers: L. S. Ovchinnikov, N. V. Ovchinnikova. – Minsk: Design PRO, 2012. – 1375 p.
2. Operational dispatch management. Automatic emergency management of power system modes. Emergency automation of power systems. Norms and requirements: GOST 34045–2017. – Introduction. 30.01.2017. – Moscow: Mezghos. Council for standardization, Metrology and certification: Mezghos. Technical Committee for standardization, 2017. – 19 p.
3. Rules for maintenance of relay protection devices, electrical automation, remote control and alarm systems for power plants and substations 110–750 kV: STP 09110.35.677–07. – Introduction. 01.11.2007. – Minsk: Belenergoremnaladka, 2007. – 136 p.
4. **Okin, A. A.** Anti-Accident automation / A. A. Okin. – Moscow: MEI, 1995. – 212 p.

Поступила
01.08.2020

После доработки
08.08.2020

Принята к печати
01.09.2020

NOVIKOV S. O., NOVIKOVA L. I., TITKOV V. Y.

CONTROL MODES FOR FREQUENCY TRACKING EQUIPMENT IN THE POWER SYSTEM

Characteristics of generating sources and consumers, dynamics of frequency changes in the power system, analysis of the operation of objects with different variations of power system indicators. Analysis of data coming to the equipment inputs and system output signals.



Новиков Сергей Олегович, доцент БНТУ, к.т.н. специальность 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации. Сфера интересов: программное управление технологическими комплексами.

Novikov Sergey Olegovich, Associate Professor of BNTU, Ph.D. specialty 05.13.01 – system analysis, management and information processing. Sphere of interests: software control of technological complexes.

E-mail: novikau@bntu.by



Новикова Людмила Ивановна, старший преподаватель БНТУ. современные технологии обучения.

Novikova Lyudmila Ivanovna, senior lecturer at BNTU. modern teaching technologies.

E-mail: novikova@bntu.by



Титко Вадим Юрьевич, РУП Минскэнерго, филиал минские тепловые сети, мастер производственного участка. Сфера интересов: энергоэффективные технологии в энергетике.

Titkov Vadim Yurievich, RUE Minskenergo, branch Minsk heating networks, foreman of the production area. Area of interest: energy efficient technologies in the energy sector.

E-mail: Vadik29071992@mail.ru