

СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЭС КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Джунуев Т., Джунуев Т. Т., Абдылдаева М. Т., КГТУ им. И. Раззакова

В статье проведен анализ статической устойчивости энергосистемы Кыргызской Республики, которая является электроэнергетической системой ограниченной мощности.

На примере энергосистемы Юга Кыргызстана рассмотрены условия статической устойчивости с учетом реальных перетоков по ВЛ-220 кВ по основным критериям статической устойчивости, выявлены условия, при которых системы сохраняет устойчивость.

In article the analysis of static stability of a power supply system of the Kyrgyz Republic which is electrical power system of limited power is carried out.

On the example of a power supply system of the South of Kyrgyzstan conditions of static stability taking into account real overflows on VL-220 of kV by the main criteria of static stability are considered, conditions under which systems are kept by stability are revealed.

Основной задачей расчетов статической устойчивости в нормальной и ремонтных схемах в процессе эксплуатации является проверка возможности схемы сети по выдаче мощности, выявление ограниченной по статической устойчивости или по условию токовой загрузки элементов сети и уровней напряжения в расчетных узлах, как в нормальных, так и в послеаварийных режимах.

Одной из основных проблем сети Юга Кыргызской энергосистемы являлась ограниченность выдачи мощности с Курпсайской (800 МВт), Ташкумырской (450 МВт) и Шамалдысайской (240 МВт) ГЭС. Через энергоузел включающий в себя Курпсайскую ГЭС и ПС Кристалл связь с энергосистемой осуществлялась через четыре ВЛ-220 кВ:

- ВЛ-220 кВ КГЭС- Торобаев (2*АС-300 Ином-1380 А, Рном-540 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл- Кызыл-Рават (2*АС-300 Ином-1380 А, Рном-540 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл- Сардор (АС-300 Ином-690 А, Рном-270 МВт),
- ВЛ-220 кВ Кристалл- Юлдуз (АС-400 Ином-825 А, Рном-330 МВт).

При фактической располагаемой мощности трех ГЭС 1490 МВт, возможно, было выдать в энергосистему не более 1350 МВт, в основном из-за токовой загрузки ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз. При номинале в 825 А данная линия загружалась до 1000 А. После ввода в работу первого гидрогенератора на Камбар-Атинской ГЭС-2 подключенного к данному энергоузлу через Курпсайскую ГЭС по сетям 110 кВ, величина запертой мощности увеличилась еще на 120 МВт.

Большой переток по ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз, а также и по ВЛ-220 кВ Кристалл - Кызыл-Рават и Кристалл-Сардор обусловлен отсутствием генерирующей мощности, при очень большом потреблении (более 1500 МВт) в Ферганском энергоузле Узбекской энергосистемы, т.е фактически вся генерация станций вытягивается в дефицитный энергоузел. Перегруз ВЛ-220 кВ Кристалл-Юлдуз, в некоторых случаях приводил к ее аварийному отключению с последующим набросом мощности и нарушением устойчивости на остающихся в работе ВЛ-220 кВ. С вводом новых объектов по проекту «Модернизация ЛЭП Юга Кыргызстана», в частности, с вводом ПС Датка и двухцепной ВЛ-220 кВ Кристалл-Датка вышеуказанная проблема была устранена.

В качестве примера рассмотрим статическую устойчивость станций Юга Кыргызстана (нижние станции каскада Нарынских ГЭС), это Курпсайская, Ташкумырская, Шамалдысайская и Камбаратинская ГЭС-2. Расчеты выполнялись для максимальных часов нагрузки характерных летних и зимних суток.

Утяжеление режима выполнялось за счет увеличения генерации станций при увеличении нагрузки на Юге Республики.

Контроль выдачи мощности станциями нижнего каскада, установленной мощностью 1610 МВт осуществляется по сечению:

- Л – Кристалл–Сардор;
- Л – Кристалл – Кызыл-Рават;
- Л – Кристалл – Датка (две цепи);
- Л – Курпсайская ГЭС – Датка;
- Л – Кристалл – Юлдуз.

По условию предотвращения токовой загрузки элементов схемы допустимый переток в рассматриваемом сечении принимается равным 1400 МВт.

Уровень напряжений в узле нагрузки на шинах 220кВ по критерию $\frac{dQ}{dU} < 0$. При этом схема за-

мещения содержит два эквивалентных генератора (Ташкумырская и Шамалдысайская ГЭС), работающих через ЛЭП на узел нагрузки. Параметры схемы замещения и исходного режима (в относительных единицах): $x_1=0,735$; $x_2=0,694$; $T_{j1}=5$ с; $T_{j2}=8$ с; $E_{10}=1,54 \angle 28,5^\circ$; $E_{20}=1,69 \angle 28,1^\circ$; $U_0=1$; $S_{10}=1+j0,485$; $S_{20}=1,3+j6,15$; $S_{н0}=2,3+j1,1$. Нагрузка задана статическими характеристиками при тех же базисных величинах, что и остальные параметры:

U	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,775
P_n	2,30	2,23	2,16	2,105	2,045	2,025
Q_n	1,10	1,035	0,985	0,946	0,952	0,990

Требуется определить запас устойчивости по напряжению узловой точки для заданного режима энергосистемы.

$$\text{Запас устойчивости определяется по выражению } K_U = \frac{U_0 - U_{кр}}{U_{кр}} \cdot 100\%$$

Для определения критического значения напряжения узловой точки $U_{кр}$ воспользуемся упрощенным методом с применением $\frac{dE_1}{dU} > 0$. С этой целью для ряда значений U рассчитываем зависимость

$$E_1 = f_1(U) = \sqrt{\left(U + \frac{Q_1 x_1}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_1 x_1}{U}\right)^2};$$

$$\text{где } Q_1 = Q_n - Q_2; \quad Q_2 = \sqrt{\left(\frac{E_2 U}{x_2}\right)^2 - P_2^2} - \frac{U^2}{x_2}$$

$$P_1 = P_{10} + (P_n - P_{н0}) \frac{T_{j1}}{T_{j1} + T_{j2}}; \quad P_2 = P_{20} + (P_n - P_{н0}) \frac{T_{j2}}{T_{j1} + T_{j2}}$$

Результаты расчетов следующие

U	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,775
P_1	1	0,973	0,946	0,925	0,902	0,894
P_2	1,3	1,257	1,214	1,180	1,143	1,131
Q_2	0,615	0,635	0,655	0,660	0,653	0,645
Q_1	0,485	0,400	0,330	0,286	0,299	0,345
E_1	1,54	1,465	1,400	1,355	1,360	1,390

Зависимость $E_1 = f_1(U)$ графически представлена на рис. 1.

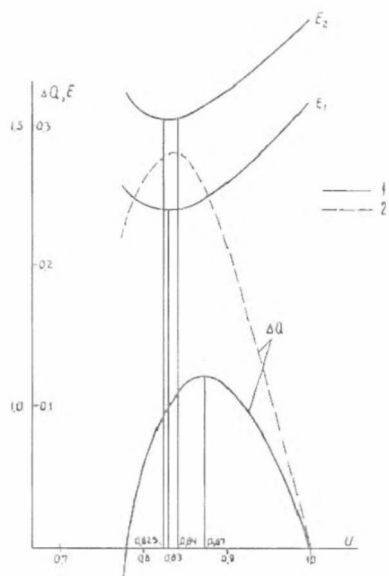


Рис. 1. Зависимости $\Delta Q(U)$ и $E(U)$ при допущении $P_1=const$; $P_2=const$ с учетом $P_1(U)$, $P_2(U)$

По этой зависимости определим $U_{кр}=0,83$; $K_U=17\%$. Таким образом, полученное значение K_U значительно превышает нормативное (10%).

Аналогично может быть определено значение $U_{кр}$ с помощью критерия $\frac{dE_2}{dU} > 0$. Проведенные расчеты дали следующие результаты $U_{кр}=0,825$; $K_U=17,5\%$.

Определим $U_{кр}$ с помощью критерия $\frac{d\Delta Q}{dU} > 0$. С этой целью для ряда значений U рассчитываем зависимость

$$\Delta Q = Q_1 + Q_2 - Q_n = \varphi(U)$$

где

$$Q_1 = \sqrt{\left(\frac{E_1 U}{x_1}\right)^2 - P_1^2} - \frac{U^2}{x_1}$$

Результаты расчетов следующие

U	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,775
Q_1	0,485	0,510	0,540	0,543	0,550	0,543
Q_2	0,615	0,635	0,655	0,660	0,653	0,645
ΔQ	0	0,110	0,210	0,267	0,261	0,218

По зависимости $\Delta Q = \varphi(U)$ определяем (см. рис. 1.) $U_{кр}=0,84$; $K_U=16\%$.

Как следует из результатов, различно в значениях $U_{кр}$, полученных по критериям $\frac{d\Delta Q}{dU} > 0$, $\frac{dE_1}{dU} > 0$ и $\frac{dE_2}{dU} > 0$ составило около 1%.

Результаты расчетов $U_{кр}$ с помощью критерия $\frac{d\Delta Q}{dU} > 0$ при условии $P_1=P_{10}=const$ и $P_2=P_{20}=const$ (см. рис.1.) показывают, что такое упрощение в данном случае приводит к увеличению $U_{кр}$ на 3% ($U_{кр}=0,87$).

Вывод: Проведенные расчеты показывают, что запас устойчивости по напряжению в узловой точке при утяжелении режима соблюдается. При этом разница в значениях $U_{кр}$ по различным критериям устойчивости составляет около 1%.

Литература

1. Жданов П.С. Устойчивость электрических систем. - М.-Л.: ГЭИ, 1948. - 400 с., ил.
2. Лукашов Э.С. О расчёте переходных электромеханических процессов в электрических системах с учётом изменения частоты. // Известия Сиб. АН СССР, 1974, № 8. Сер.техн. наук, вып. 2.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ

*Джунуев Т., Джунуев Т. Т., Мамакеева А. К.
КГТУ им. И. Раззакова*

В статье рассмотрены условия применимости метода малых колебаний для анализа статической устойчивости ЭЭС ограниченной мощности с учетом возможности самораскачивания. При этом условия устойчивости рассматриваются с заведомо устойчивого режима вплоть до исследуемого режима.

In article conditions of applicability of a method of small fluctuations for the analysis of static stability of EES of limited power taking into account possibility of self-rocking are considered. Thus stability conditions are considered from obviously steady mode up to a studied mode.

Применение метода малых колебаний для анализа статической устойчивости ЭЭС ограниченной мощности оправдано, если требуется учет всех или большинства факторов, влияющих на нее. Наряду с этим инженерная практика пользуется до настоящего времени расчетами устойчивости по так называемым практическим критериям статической устойчивости. Поэтому представляет интерес вопрос об условиях и пределах применимости данных критериев статической устойчивости [1, 2, 3].

Все применяемые в настоящее время практические критерии статической устойчивости $\frac{dP}{d\delta} > 0$; $\frac{dQ}{dU} < 0$ и т.д. при известных, установленных выше условиях соответствуют критерию П. С. Жданова, т. е. требованию положительного знака у свободного члена характеристического уравнения. Следовательно, применение практических критериев статической устойчивости, даже при выполнении условий, указанных выше, не учитывает возможности самораскачивания и может дать ответ на вопрос, возможно ли в системе аperiodическое нарушение статической устойчивости, лишь в том случае, если знак критерия исследуется, начиная с заведомо устойчивого режима, при его ухудшении вплоть до исследуемого режима. Если при этом знак практического критерия статической устойчивости не изменяется, то исследуемый режим устойчив при указанных выше предположениях. Применение практических критериев значительно проще, чем определение знака у свободного члена характеристического уравнения (критерия Л. С. Жданова).

Рассмотрим физический смысл наиболее часто применяемых практических критериев статической устойчивости.

Критерий $\frac{dP}{d\delta}$ является исторически первым практическим критерием статической устойчивости.

Применение его характерно для одной станции, работающей через электропередачу на шины бесконечной мощности или на мощную концентрированную систему, причем статическая устойчивость этой системы заведомо обеспечена. В этом случае P — тормозящая электромагнитная мощность генераторов удаленной станции, объединенных в один эквивалентный генератор, а угол δ характеризует сдвиг ротора этого генератора относительно вектора напряжения шин бесконечной мощности или центра приемной системы [1].

Производная $\frac{dP}{d\delta}$, обычно называемая синхронизирующей мощностью, характеризует изменение электромагнитной мощности генератора на единицу изменения угла сдвига (при очень малых его изменениях). Если знак синхронизирующей мощности положителен, то ее величина служит мерилем реакции генератора на изменение угла δ . Этой реакцией генератора и обеспечивается поддержание синхронизма. В самом деле, при случайном — небольшом — увеличении угла тормозящая мощность возрастает, вследствие чего это небольшое увеличение угла быстро устраняется. Наоборот, при случайном небольшом уменьшении угла тормозящая мощность падает, вследствие чего это небольшое изменение угла также быстро устраняется. Только такая реакция генератора на отклонения угла сдвига обеспечивает сохранение его синхронизма с системой. Этим и объясняется название «синхронизирующая мощность». Более точно было бы говорить не о синхронизирующей мощности, а о синхронизирующем моменте на валу; замена момента мощностью в данном случае возможна вследствие неучета изменений скорости. Таким образом, наличие статической устойчивости генератора характеризуется

положительным знаком производной $\frac{dP}{d\delta}$, так как при этом всякое случайное отклонение угла от исходного значения будет устранено.

При учете насыщения стали генераторов, переходных электромагнитных процессов в генераторе и действия автоматического регулятора возбуждения критерий $\frac{dP}{d\delta} > 0$ сохраняет свой смысл. Но в

этом случае при исследовании знака $\frac{dP}{d\delta}$ должны быть учтены дополнительные факторы.

Производная $\frac{dP}{d\delta}$ может определяться с учетом или без учета переходных электромагнитных процессов в генераторах. Если не учитывается действие автоматических регуляторов возбуждения, то определение этого критерия производится при условии $E_q = const$.

Исходные данные: $x_d=1,15$; $x_q=0,95$; $E_q=1,65$; $U=1$

δ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$A=(E_q * U/x_d) * \sin\delta$	0	0,717	1,243	1,435	1,2427	0,7176	0
$B=U^2 * (x_d - x_q) / (x_d * x_q) * \sin 2\delta$	0	0,143	0,143	0	-0,143	-0,143	0
$A+B$	0	0,86	1,386	1,435	1,0996	0,5745	0

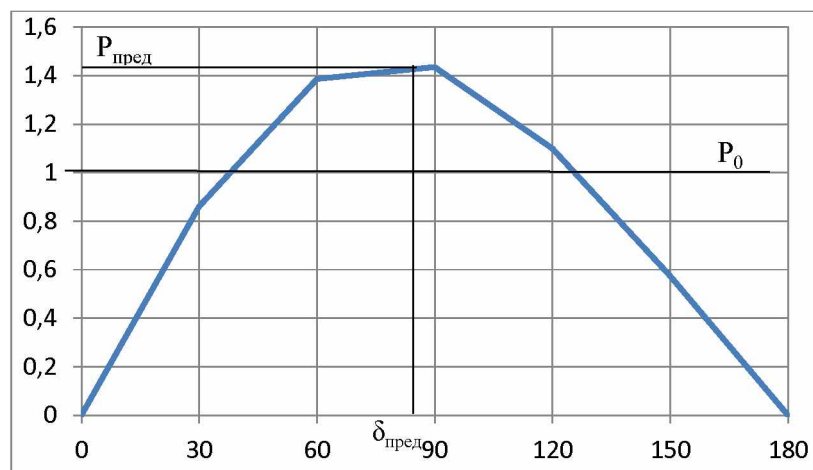


Рис. 1. Характеристика мощности гидрогенератора.

Предельный угол определяется решением квадратного уравнения:

$$\cos^2 \delta_{пред} + \frac{A}{2B} \cos \delta_{пред} - \frac{1}{2} = 0;$$

$$D = B^2 - 4 \cdot A \cdot C = \sqrt{17,3566016} = \pm 4,166125$$

$$\cos \delta_{пред} = 0,124, \quad \delta_{пред} = 82,9^\circ$$

Решая квадратное уравнение, определяем предельный угол отключения $\delta_{пред} = 82,9^\circ$, при этом предельная мощность составила 1,42. Тогда коэффициент запаса будет:

$$K_3 = \frac{P_{пред} - P_0}{P_0} \cdot 100\% = \frac{1,42 - 1}{1} \cdot 100\% = 42\% .$$

Приближение к предельным значениям угла сдвига роторов генераторов требует бдительности персонала, который должен принять все меры во избежание дальнейшего ухудшения режима и нарушения устойчивости.

Из вышесказанного, можно прийти к следующим выводам:

1. Все практические критерии позволяют судить о статической устойчивости системы только при аperiodических процессах, т. е. при отсутствии возможности самораскачивания.
2. При указанных выше допущениях устойчивость проверяется путем выяснения знака производной по «сомнительной» координате, входящей в состав критерия,— начиная с заведомо устойчивого режима, при ухудшении его вплоть до исследуемого режима.

Литература

1. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. // Под ред. А.Жукова. - М.: Энергия, 1979. - 456 с. ил.
2. Конторович А. М., Крюков А. В. Локализация слабых звеньев электрических систем с помощью практических критериев устойчивости. – Изв. Вузов.: Энергетика, 1983, №9.
3. Савалов С. А. Режимы единой энергосистемы. - М.: Энергоиздат, 1983.

УДК 621.39.075

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Дараев А. М., Казахский национальный технический университет им.Сатпаева г.Алматы. e-mail.majit_2006@mail.ru

APPLICATION SYSTEMS SOLAR TRACKING FOR SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANT

Daraev A.M. - Ph.D. associate professor KazNTU Satpaeva

В данной статье рассматриваются вопросы повышения качества переходных процессов в следящих электроприводах, с целью снижения времени перерегулирования и числа колебаний.

The paper deals with the problem of emprovement of quality of transients in watching electric devies, for the purpose of decrease in time of reregulation and number of flucenations are considered

Повышения качества переходных процессов системы регулирования следящего электропривода (СЭП) солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) является одной из основных задач проектирования этой установки. Структурная схема СЭП СФЭС представлена на рисунке 1 [1].

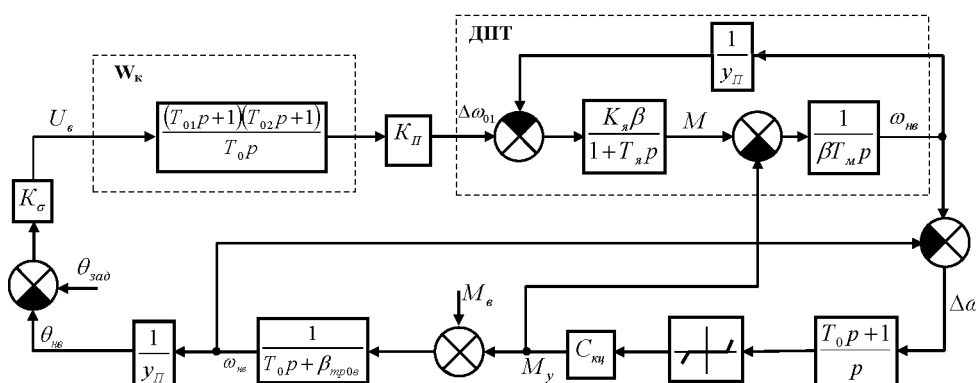


Рисунок 1 – Структурная схема СЭП СФСП

где W_k - корректирующее звено,
ДПТ – двигатель постоянного тока

Корректирующее звено предназначено для компенсации возмущающих воздействий. Исследование переходных процессов СЭП СФСП на модели в системе MATLAB (рисунок 2), показывает, что переходной процесс скорости вала гелиоустановки имеет явно выраженный колебательный характер при набросе ветровой нагрузки (рисунок 3).

Приближение к предельным значениям угла сдвига роторов генераторов требует бдительности персонала, который должен принять все меры во избежание дальнейшего ухудшения режима и нарушения устойчивости.

Из вышесказанного, можно прийти к следующим выводам:

1. Все практические критерии позволяют судить о статической устойчивости системы только при апериодических процессах, т. е. при отсутствии возможности самораскачивания.

2. При указанных выше допущениях устойчивость проверяется путем выяснения знака производной по «сомнительной» координате, входящей в состав критерия,— начиная с заведомо устойчивого режима, при ухудшении его вплоть до исследуемого режима.

Литература

1. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. // Под ред. А.Жукова. - М.: Энергия, 1979. - 456 с. ил.

2. Конторович А. М., Крюков А. В. Локализация слабых звеньев электрических систем с помощью практических критериев устойчивости. – Изв. Вузов.: Энергетика, 1983, №9.

3. Совалов С. А. Режимы единой энергосистемы. - М.: Энергоиздат, 1983.