



УДК 006.73:005.6:629.064.5

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ТАКЫРБАШЕВ Б.К.
КГТУ им. И.Раззакова
izvestiya@ktu.aknet.kg

Рассматриваются показатели качества управления в ЭЭС, которые определяют работоспособность управляющих устройств (УУ), особенно при переходных процессах, обеспечивает управляющее устройство устойчивости объекта управления.

Описываются различные критерии качества управления. Анализируются особенности и недостатки различных критериев.

Indicators of quality of management in EPS which define operability of the actuation devices (AD) are considered, especially at transients, provides the actuation device of stability of object of management.

Various criteria of quality of management are described. Features and shortcomings of various criteria are analyzed.

Введение. Цель управления – это достижение экстремума некоторой величины критерия оптимальности.

В зависимости от требований получения максимума, либо минимума величины критерия.

В общем случае критерий оптимальности зависит от задающего воздействия и от выходной величины, а также может зависеть от времени и управляющего возмущающего воздействия.

Если применить критерии управления в зависимости от конкретного воздействия, которое может привести к ухудшению управления в целом, поэтому в литературе широко распространен обобщенный интегральный критерий.

Обобщенный интегральный критерий представляет собой функционал в виде

квадратичной формы интеграла $I_v = \int_0^{\infty} V dt(1),$ (1)

где V – квадратичная форма функции, зависящей от переходных составляющих координатных систем.

Здесь мы получаем быстрый и плавный переходный процесс без резких колебаний.



Критерий (1) служит для оценки переходного процесса $x_d(t)$, а для оценки $x_s'(t)$ установившегося процесса применяется другой критерий.

Одновременно достичь экстремума для 2-х и более функций нельзя.

Поэтому для обеспечения максимальной области устойчивости энергосистем можно использовать много критериев оптимальности. Ко многим критериям относятся: максимальное быстродействие, минимум интеграла квадрата отклонения напряжения, минимум отклонения угла δ и др.

В энергосистеме немаловажную роль устойчивости играет после завершения переходного процесса, последующие явления, которые могут нарушить работу энергосистемы (перегрузки элементов, срабатывание УРЗА и др.). Поэтому возникает необходимость в установлении новых критериев управления.

В многомашинной энергосистеме возникает ряд неблагоприятных факторов, которые соответствуют переходному процессу после большего возмущения [1,2]. К этим неблагоприятным факторам относятся: увеличение углов расхождения роторов синхронных машин, появление длительных незатухающих качаний роторов, значительные отклонения частоты энергосистемы от номинального значения.

В результате действия этих факторов увеличивается вероятность каскадной аварии в энергосистеме.

Качество автоматической системы управления определяется совокупностью свойств, обеспечивающих эффективное функционирование как самого объекта управления, так и управляющего устройства.

Свойства, составляющие эту совокупность и имеющие количественные измерители, называются критериями (показателями) качества управления.

Для анализа качества управления могут быть использованы прямые и косвенные методы оценки.

Прямые методы определения качества дают наиболее достоверную информацию с последующим определением показателей качества.

Выбор критериев качества управления отражающего динамические свойства системы является трудной самостоятельной задачей, которая имеет неоднозначные решения.

В инженерной практике используются интегральные критерии качества управления и критерии допустимого качества профессора В.В. Солодовникова.

Постановка задачи. Во время переходного процесса напряжение $U(t)$ не должна понижаться до величины опасных с точки зрения устойчивости генератора.

Поэтому оценка проводится относительно номинального напряжения генератора определяя среднеквадратичные отклонения от оптимального напряжения и номинальной частоты.



$$I_4 = \int_0^{\infty} \left[\frac{U(t) - U_0}{u_0} \right]^2 \cdot dt \quad (2) \text{ для отклонения напряжения}$$

$$I_5 = \int_0^{\infty} \left[\frac{\varpi(t) - \varpi_0}{\varpi_0} \right]^2 \cdot dt \quad (3) \text{ для отклонения частоты.}$$

Для сохранения устойчивости углов сдвига роторов синхронных машин δ_{ji} при качаниях не должны превышать критического значения $\delta_{ji \text{ Крит.}}$

Управляющее воздействие U должны обеспечивать $\delta_{ji \text{ max}}(U) \leq \delta_{ji}(U)_{\text{крит.}}$

где $\delta_{ji \text{ max}}(U)$ - наибольший взаимный угол сдвига роторов двух синхронных машин при заданном векторе управления.

Невыполнение условия ограничения приводит к нарушению синхронной динамической устойчивости $\Delta\delta_{\text{max}}(U_{\text{опт}}) \leq \Delta\delta_{\text{max}}(U) \in F(\Delta\delta(U))$

Для получения наибольшей области устойчивости оптимальное управление переходным процессом должно обеспечивать минимальные отклонения углов от значений в синхронном установившемся послеаварийном режиме

$$\Delta\delta_{\text{max}}(U) = \delta_{\text{max}}(U - \delta^{(0)}(U)), \quad \text{где } \delta^{(0)} - \text{угол послеаварийного}$$

режима.

При оценке качества переходного процесса в энергосистеме надо учитывать влияние элемента на режим всей энергосистемы. Поэтому качество переходного процесса в энергосистеме необходимо характеризовать не одним критерием, а комплексным критерием, отражающим группу влияющих факторов.

Влияние факторов должно учитываться не только непосредственно в переходном процессе, но и в послеаварийном режиме.

Методы исследования и пути решения

1. Критерии Веникова В.А.

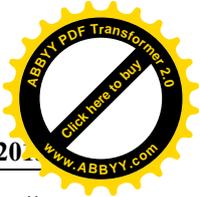
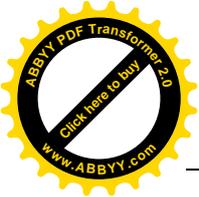
В общем виде комплексный критерий можно записать так

$$P_{\Sigma} = \sum_1^n K_i P_i + \sum_1^i K_e P_e \quad (4)$$

K_i – весовой коэффициент, отражающий значимость данного параметра в общем процессе.

P_i – показатель качества параметра режима (напряжения, частоты, угла и т.п.) данного переходного процесса.

K_e – весовой коэффициент, учитывающий вероятность появления последствия.



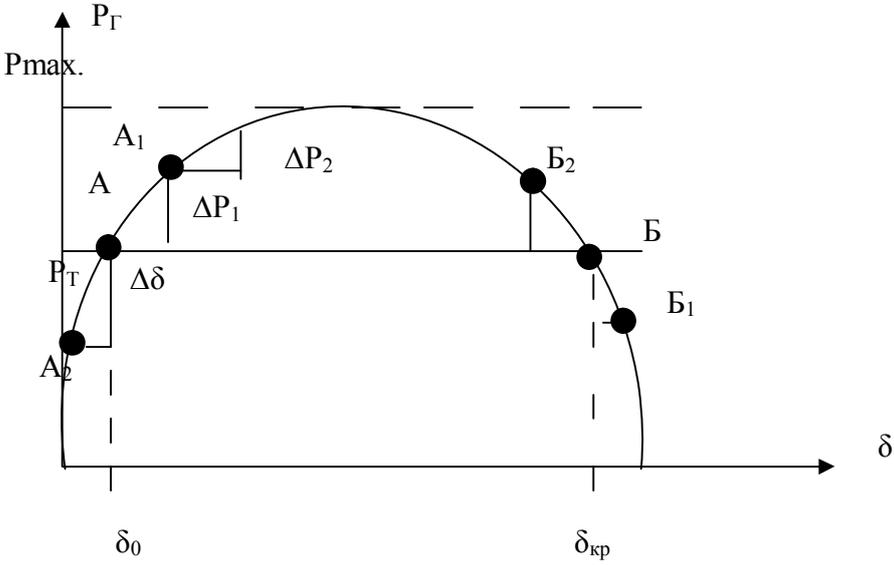
Π_e – показатель качества параметров процессов, развивающейся цепочки событий, который может вызывать данный переходный процесс.

$$\Pi_e = -\frac{1}{T} \int_0^T (\Delta x_i)^2 \cdot dt \quad (5)$$

T – время установления режима.

Δx_i - отклонения параметра режима от заданного.

Вследствие нелинейности угловой характеристики мощности синхронных машин (генераторов) одно и то же отклонение угла $\Delta\delta$ при разных исходных режимах и отклонения мощности ΔP будут разные. При малом изменении угла на $\Delta\delta$ от первоначального приведет к уменьшению частоты вращения генератора и уменьшению угла, а при $P_T < P_T$ угол увеличивается от точки А (установившийся режим).



- | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------|
| В точке А угол δ_0 | $P_T = P_T$ | } это режим устойчивый |
| В точке А ₁ угол $\delta_0 + \Delta\delta$ | $P_T > P_T$ | |
| В точке А ₂ угол $\delta_0 - \Delta\delta$ | $P_T < P_T$ | |
| | | |
| В точке Б угол $\delta_{кр}$ | $P_T = P_T$ | } это режим неустойчивый |
| В точке Б ₁ угол $\delta_{кр} + \Delta\delta$ | $P_T < P_T$ угол будет увеличиваться | |



Одним из показателей степени устойчивости по угловой характеристике мощности

считается $\frac{dP}{d\delta}$ или $\frac{\Delta P}{\Delta \delta}$ синхронизирующая мощности. [3]

При приближении к пределу ($P_{\Gamma} = P_{\max}$ $\delta = \delta_{кр}$) – синхронизирующая мощность уменьшается, при достижении мощности генератора к максимуму синхронизирующая мощность $\frac{dP}{d\delta} = 0$ будет равно 0.

2. Универсальный критерий нелинейного ОУ

Одинаковые настройки системы управления возбуждения как малых, так и больших отклонений являются противоречивыми. Исходя из этого, управление напряжением возбуждения синхронного генератора приводит к необходимости оптимизации системы управления по переменным фазовым пространствам.

Учитывая вышеизложенное, профессор А.А. Колесников предлагает использовать сопровождающий функционал вида $I_{\Sigma} = \int_0^{\infty} F(\psi, \dot{\psi}) dt$, где $F(\psi, \dot{\psi})$ - непрерывно дифференцируемая по своим аргументам определено положительная функция $\psi(x_1, \dots, x_n)$ - агрегированная макропеременная.

Желательно такому функционалу иметь переменную в пространстве состояний структуру, для того, чтобы полнее определить требования к показателям систем в режимах малых и больших отклонений, т.е. в известной мере был бы близок к универсальной схеме компромисса

$$F(\psi, \dot{\psi}) = m^2 \varphi^2(\psi) + c^2 \dot{\psi}^2(t) \quad (6)$$

$$I_{\Sigma} = \int_0^{\infty} [m^2 \varphi^2(\psi) + c^2 \dot{\psi}^2(t)] dt \quad (7)$$

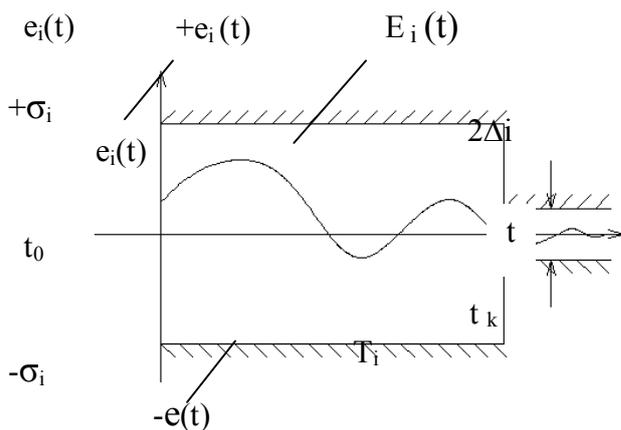
Функция $\varphi(\psi)$ должна удовлетворять следующим условиям:

- а) однозначности, непрерывности, дифференцируемости при всех значениях (ψ) .
- б) $\varphi(0) = 0$
- в) $\varphi(\psi) > 0$ при любых $\psi \neq 0$.

3. Критерий допустимого качества или прямой критерий качества управления

Прямые показатели качества: [5]

Основная идея критерия допустимого качества профессора В.В. Солодовникова состоит в том, что для каждой компоненты вектора $e(t)$ по заданным инженерным требованиям к быстродействию и точности проектируемой системы определяется следующими допустимыми областями (рис. 1).



t_k –конечное время затухания переходного процесса

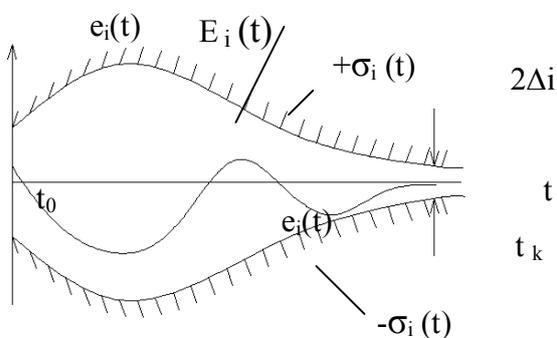


Рис. 1. Иллюстрация концепции допустимости переходных процессов

$$E_i(t) = e_i(t) \in R^1 : |e_i(t)| \leq e_i^+(t) \} \quad i = \bar{1}, \bar{N} \quad (8)$$

где положительная функция $e_i^+(t)$ - задает границу допустимых областей для переходной функции $e_i(t)$, которые определяются значениями допустимых ошибок управления в динамическом σ_i^* и в статическом Δ_i режимах, а также временем регулирования T_i^* по каждой управляемой переменной.

Исходные инженерные требования к проектируемой САУ, т.е. желаемое качество процесса управления задаются следующими векторами

$$\Pi_i [T_i^*, \sigma_i^*, \Delta_i] \quad i = \bar{1}, \bar{N} \quad (9)$$

Для упрощения синтеза ступенчатой функции $e_i(t)$ аппроксимируется гладкими положительными функциями $+\sigma_i(t)$.

Для решения зада управления используется теорема в рамках принципа гарантируемой динамики. [7]

ТЕОРЕМА. Пусть $|e_i(t_0)| \leq \sigma_i(t_0) \quad i = \bar{1}, \bar{N} \quad (10)$



При $t > t_0$ невязки $e_i(t)$ удовлетворяло условию $|e_i(t)| \leq \sigma_i(t)$

(11)

Достаточно выполнения соотношений [7]

$$\int_{t_0}^t e_i(t) \cdot e_i(t) \cdot dt \leq \int_{t_0}^t \sigma_i(t) \cdot \sigma_i(t) \cdot dt \quad t \in [t_0, t_k] \quad i = \bar{1}, \bar{N} \quad (12)$$

Функциональное неравенство (12) является критериальным ограничением, которое определяет достижения требуемого качества уравнения. Они связывают динамические режимы с инженерными показателями качества, это дает возможность использовать для построения методы и алгоритмы синтеза системы управления многомерными объектами энергосистем.

Заключение. Критерии качества управления ЭЭС считаются многокритериальными. Особенно нужно отметить, что после аварийного процесса возникают собственные низкочастотные колебания с периодом 5-6 сек. Поэтому при синтезе управляющего устройства необходимо учитывать и этот критерий. Наиболее подходящим критерием качества управления является критерий профессора Солодовникова В.В., который позволяет получать более реальные результаты.

Литература

1. Веников В.А. Управление переходными режимами энергосистемы. - М.: Высшая школа, 1982.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., Высшая школа, 1978.
3. Фуад А., Андерсон П. Управление энергосистемами и устойчивостью энергии. 1980.
4. Гуревич Ю.Е. и др. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. - М.: Энергоатомиздат, 1990.