

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СИСТЕМ ПО ТРАССЕ ДАЛЬНИХ ЛЭП ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПО РЕЖИМНЫМ ПАРАМЕТРАМ

Р. И. БОРИСОВ, В. И. ГОТМАН

(Представлена кафедрой электрических сетей и систем)

При решении режимных вопросов работы дальних ЛЭП переменного тока с промежуточными системами последние наиболее просто и строго могут быть представлены статическими характеристиками.

Под статическими характеристиками ограниченной части энергосистемы или любого из ее элементов относительно некоторой расчетной точки будем понимать зависимости параметров, описывающие реакцию этой части системы на приложенное к расчетной точке стационарное возмущение, источник которого находится вне рассматриваемой части системы. При этом должны быть неизменными состав оборудования, уставки регуляторов, коэффициенты трансформации трансформаторов, а также схема сети в рассматриваемой части системы.

В частности, под обобщенными статическими характеристиками промежуточной системы будем понимать зависимость параметров (Π_l^i) режима ветви l (рис. 1, *a*), определенных в месте примыкания этой ветви промежуточной системы к дальней ЛЭП, от параметров режима в самой узловой расчетной точке C (Π_j^c, Π_k^c) при соблюдении указанных выше общих условий, т. е. функциональные зависимости вида

$$\Pi_l^i = F(\Pi_j^c, \Pi_k^c).$$

При этом один из независимых аргументов обычно фиксируется как параметр.

Активная и реактивная мощности участка l (рис. 1, *a*) являются функциями двух параметров: модуля напряжения и угла рассогласования, если положить $U_r(E_q, E_q) = \text{const}$,

$$P_{эм} = P_l = \varphi(U_c, \delta),$$

$$Q_l = \Psi(U_c, \delta).$$

Если в части системы, для которой определяются статические характеристики, генерирующие источники оснащены только статическими регуляторами частоты, то условия неизменности уставок регуляторов источников можно заменить условием неизменности активных мощностей этих источников или частоты. При этом угол δ уже не является независимым аргументом и выражения (1) запишутся *

* Здесь и далее активные сопротивления элементов, равно как и активные потери, не учитываются.

$$P_l = \varphi'(U_C, \delta) |_{P_r = \text{const}} = \text{const}, \quad (2)$$

$$Q_l = \Psi'(U_C, \delta) |_{P_r = \text{const}}.$$

При наличии у генерирующих источников астатических регуляторов частота наряду с мощностью P_r может рассматриваться как дополнительный фиксированный параметр статических характеристик.

Мощность нагрузочного узла промежуточной системы при постоянстве частоты является только функцией напряжения

$$P_{\text{наг}}(U), Q_{\text{наг}}(U).$$

В этом случае зависимости (2) запишутся:

$$P_l = \varphi(U_C), \quad (P_r = \text{const}) \quad (3)$$

$$Q_l = \Psi(U_C).$$

Приведенные выражения справедливы для промежуточной системы произвольной структуры и конфигурации.

Таким образом, при принятых условиях о неизменности уставок регуляторов или, что то же — неизменной активной мощности источников питания, функциональные зависимости (3), однозначно описывая режим промежуточной системы (ПС), определяют величины обменных перетоков мощностей, через которые ПС проявляет себя при изменении напряжения в узле подключения к дальней ЛЭП, т. е. является ответной реакцией со стороны промежуточной системы при изменении режима в ДЛЭП.

Практически в ряде случаев условия, для которых данная статическая характеристика остается справедливой, должны соблюдаться лишь в «зоне влияния» режима расчетной точки, которая иногда может быть ограничена непосредственно примыкающим к этой точке участком системы.

Неизменность состава оборудования потребителей следует понимать в смысле неизменности их суммарных усредненных характеристик в режиме, для которого определялась данная статическая характеристика.

Статические характеристики могут быть сняты экспериментально или рассчитаны аналитически. При аналитическом расчете должны быть известны статические характеристики генераторов, нагрузки, а также некоторый исходный режим. За балансирующий узел следует принимать точку подключения ПС к дальней ЛЭП.

Синхронная продольная эдс генераторов ПС, оборудованных АРВ пропорционального действия, может быть определена через напряжение i -го узла по выражению [2]

$$E_q = \frac{E_{q0} + K_{0U} \frac{x_d}{x_{d\Sigma}} (F - \cos \delta)}{1 + K_{0U} \frac{x_{\text{ВН}}}{x_{d\Sigma}}}, \quad (4)$$

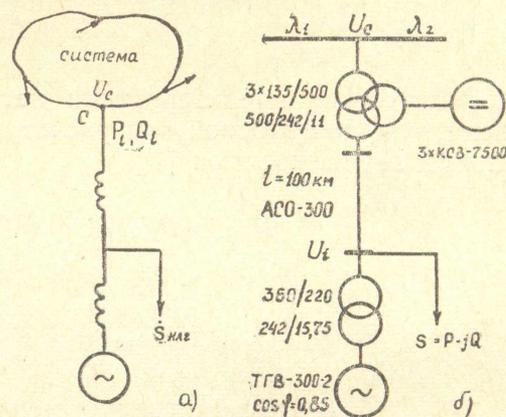


Рис. 1. Схема промежуточной системы

где

$$F = \sqrt{\left(\frac{x_{d\Sigma}}{x_d} \cdot \frac{U_{r0}}{U_i}\right)^2 - \left(\frac{x_q x_{d\Sigma}}{x_d x_{q\Sigma}}\right)^2} \sin^2 \delta;$$

E_{q0} — значение синхронной эдс в исходном режиме;

K_{0U} — коэффициент усиления по напряжению;

$x_{вн}$ — сопротивление связи между выводами генератора и i -м узлом,

U_{r0} — уставка АРВ по напряжению;

$$x_{d\Sigma} = x_d + x_{вн}, \quad x_{q\Sigma} = x_q + x_{вн}.$$

Дополнительную связь между величинами E_q и δ дает уравнение электромагнитной мощности

$$P_r = \frac{E_q U_i}{x_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{U_i^2}{2} \frac{x_d - x_q}{x_{d\Sigma} x_{q\Sigma}} \sin 2\delta. \quad (5)$$

Эдс синхронных компенсаторов, снабженных АРВ пропорционального действия, также может быть подсчитана по выражениям (4) и (5).

Пренебрегая активной мощностью компенсаторов, эти выражения приводятся к виду

$$E_q = \frac{E_{q0} + K_{0U} \left(\frac{U_0}{U_j} - \frac{x_d}{x_{d\Sigma}} \right)}{1 + K_{0U} \frac{x_{вн}}{x_{d\Sigma}}}. \quad (6)$$

Статические характеристики нагрузки в промежуточной системе (рис. 1, а) с достаточной для расчетов точностью аппроксимируются линейными зависимостями [3]

$$P_{\text{наг}} = P_{\text{ном}} \left[1 + (U_i - U_{\text{ном}}) \frac{dP}{dU} \right], \quad (7)$$

$$Q_{\text{наг}} = Q_{\text{ном}} \left[1 + (U_i - U_{\text{ном}}) \frac{dQ}{dU} \right],$$

где $U_{\text{ном}}$, U_i — соответственно номинальное и текущее напряжения i -го узла.

Порядок расчета статических характеристик рассмотрим применительно к схеме промежуточной системы, изображенной на рис. 1, б.

1. Задаться значением напряжения U_i , отличным от значения исходного режима. По (7) подсчитать новые значения мощностей нагрузки. Решить совместно уравнения (4) и (5) относительно E_q и δ .

2. По найденному значению E_q , соответствующей U_i и P_i , определить балансирующую реактивную мощность

$$Q = -\frac{U_i^2}{x_{d\Sigma}} + \sqrt{\left(\frac{E_q U_i}{x_{d\Sigma}}\right)^2 - P_r^2}. \quad (8)$$

3. По известным параметрам i -го узла можно определить модуль напряжения смежного j -го узла

$$U_j = \frac{1}{U_i} \sqrt{U_i^2 (U_i^2 - 2Q_i x_{ij}) + (P_i^2 + Q_i^2) x_{ij}^2}. \quad (9)$$

Реактивная мощность Q_j определяется по выражению, аналогичному (8), при подстановке в него соответствующих величин. Активная мощность участков определяется из уровня баланса в узлах. Подобные

расчеты ведутся до определения требуемых величин и повторяются многократно.

Нами были проведены расчеты статических характеристик для промежуточной системы, изображенной на рис. 1, б*. В исходном режиме по дальней ЛЭП протекала натуральная мощность, а промежуточная система считалась самобалансированной как по активной, так и реактивной мощности. В качестве ограничения принималась перегрузка генераторов и синхронных компенсаторов по току ротора в размере 3, 5. В расчетах выяснялось влияние регулирования генераторов (и синхронных компенсаторов), величины мощности нагрузки, $\cos \varphi$ нагрузки, регулирующих эффектов активной и реактивной мощностей нагрузки, величины сопротивлений связи узлов и исходного режима на обобщенные статические характеристики промежуточной системы. Полученные результаты позволяют сделать некоторые выводы, общие для любой промежуточной системы.

Так выяснилось, что коэффициент крутизны обобщенных статических характеристик ПС по активной мощности определяется в основном величиной активной мощности нагрузок и их регулирующих эффектов. Он уменьшается с уменьшением регулирующих эффектов, активной мощности нагрузок и с увеличением их электрической удаленности от узла подключения ПС к дальней ЛЭП.

Из всего многообразия факторов, которые учитывались в данной работе, наиболее существенное влияние на коэффициент крутизны обобщенных статических характеристик по реактивной мощности оказывает стабильность напряжения на шинах генератора и величины сопротивлений связи узлов ПС. С увеличением K_{0u} коэффициент статических характеристик увеличивается и достигает своего предела (при прочих равных условиях) при поддержании неизменным напряжения на выводах генератора. При принятых параметрах схемы (рис. 1, б) значение $K_{0u} = 50 \frac{\text{ед. возбужд.}}{\text{ед. напр.}}$ соответствует $U_r = \text{const}$. Изменение

$\cos \varphi$ нагрузки не сказывается на статических характеристиках. Два исходных режима ПС по реактивной мощности имеют одинаковые статические характеристики, сдвинутые друг относительно друга по оси ординат. Незначительное влияние оказывает величина регулирующего эффекта нагрузки (рис. 2 а, 1 — $dQ/dU = 2$, 2 — $dQ/dU = 4$).

Вторым фактором, оказывающим существенное влияние на коэффициент статических характеристик, являются величины сопротивлений связи узлов ПС. На рис. 2 б приведены статические характеристики, подсчитанные при разных значениях сопротивлений связи: в первом случае $x_{c1} = 0$, во втором — $x_{c1} = 0,142$, при этом на значительном интервале изменения напряжения характеристика прямолинейна. Искривление характеристик связано с нелинейностью потерь, доля которых значительно снижается с уменьшением сопротивлений.

Стабильность напряжения дальней ЛЭП в значительной степени может быть повышена синхронными компенсаторами, установленными на низшей стороне трансформаторов связи. Однако реализации мощности синхронных компенсаторов, так же как и резервной мощности источников питания, препятствует значительная величина синхронного сопротивления компенсаторов и трансформатора связи. Указанное затруднение может быть устранено включением конденсаторов в цепь синхронного компенсатора. Сказанное иллюстрируется на рис. 2 в (№ 1 $x_{c1} = 0$; № 2 $x_{c1} = 0,104$, $x_{c2} = 0,886$).

* Расчеты проводились в относительных единицах при $U_0 = 230 \text{ кВ}$, $S_0 = S_{\text{нат}} (220) = 137 \text{ мва}$, $Z_0 = 386 \text{ ом}$.

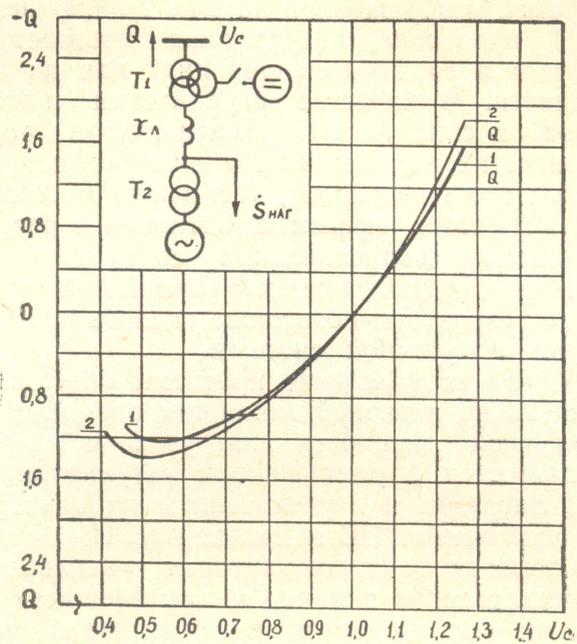


Рис. 2 а. Обобщенные статические характеристики промежуточной системы

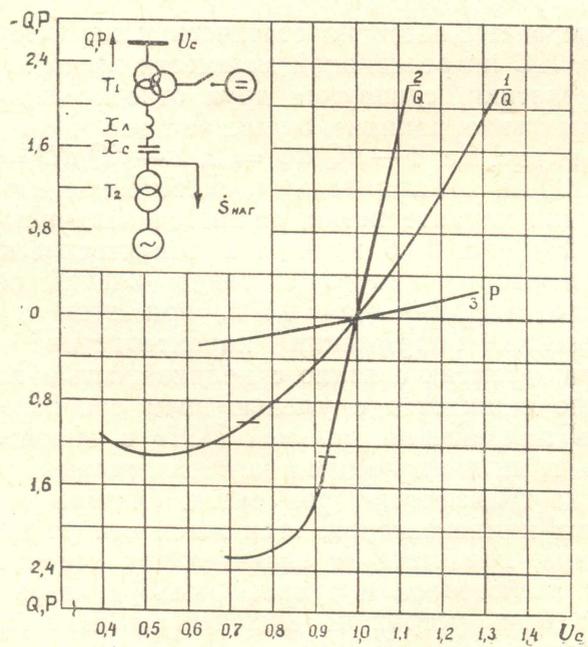


Рис. 2 б

Продольная компенсация индуктивности синхронных компенсаторов может явиться эффективным средством увеличения регулировочных возможностей промежуточных систем. Однако это требует своего технического и экономического обоснования.

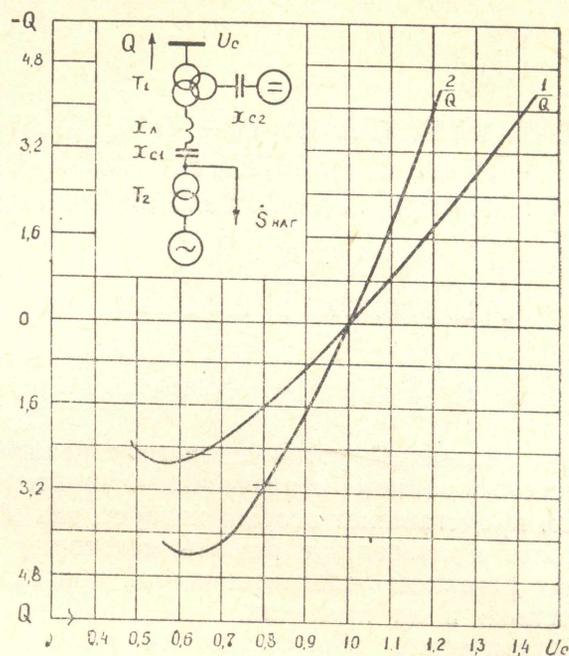


Рис. 2в

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Маркович. Режимы энергетических систем. Энергоиздат, М.—Л., 1963.
2. И. Д. Анисимова и др. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем, «Высшая школа», М., 1966.
3. Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин. Влияние статических характеристик нагрузки на мощности компенсирующих устройств для регулирования напряжения в электрических сетях. Сборник докладов. Регулирование напряжения в электрических сетях, «Энергия», М., 1968.