

Достоинства приборов заключаются в простоте конструкции, быстродействии, экономии реактивов, соизмеримой точности анализа. Прибор имеет малые габариты и вес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрометрическим методам анализа. — Л.: Химия, 1968. — 325 с. 2. Внуков А.К., Стриха И.И., Мурзо В.П. Усовершенствование аппаратуры для определения окислов азота в дымовых газах парогенераторов. — Изв. вузов. Энергетика, 1975, № 10, с. 67—72. 3. Северянин В.С., Горбачева М.Г. Об эмиссии окислов азота при пульсирующем горении. — В кн.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Минск: Выш. шк., 1982, вып. 9, с. 122—127.

УДК 621.311.1.016.351.001

С.М.РАТМАНОВ (БПИ)

ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПРИ РАСЧЕТАХ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При исследовании статической устойчивости сложных регулируемых электроэнергетических систем (ЭЭС) неизбежно возникает задача эквивалентирования. В соответствии с этим может быть выполнено разделение сложной ЭЭС на совокупность эквивалентных подсистем, статическую устойчивость режима которых возможно определить по каждой подсистеме. Выделение эквивалентных подсистем производится по условию инвариантности показателя устойчивости [1].

При построении эквивалентных подсистем узлы примыкания к вышестоящим подсистемам моделируются в виде шин бесконечной мощности, а связи по линиям электропередачи и через систему автоматического регулирования частоты и активной мощности (при учете ее влияния) с нижестоящими по иерархии расчетными подсистемами отражаются эквивалентами. При функциональном представлении элементов ЭЭС амплитудно-фазовыми частотными характеристиками, устанавливаемыми по векторным отклонениям режимных параметров, эквивалент преобразуемой части системы моделируется результирующими частотными характеристиками.

В развитие положений [2] в статье рассматривается методика определения результирующих частотных характеристик преобразуемой части сложной ЭЭС с учетом изменения и регулирования частоты.

Рассмотрим электроэнергетическую систему, в которой выделяется исследуемый район a и связанная с ним по шинам примы-

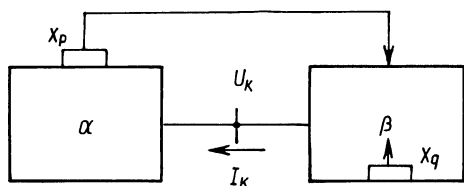


Рис. 1. Схема связей исследуемого района α с преобразуемой частью системы β .

канию k эквивалентруемая часть β (рис. 1), для которой известен состав образующих ее активных узлов, их уравнения и связи между ними. Под активными узлами здесь понимаются узлы присоединения генераторов, синхронных компенсаторов, комплексной нагрузки (или отдельных крупных синхронных и асинхронных двигателей), статических компенсирующих устройств, заданных соответствующими частотными характеристиками (узлы типа m). Электрическая сеть связи части β при пренебрежении ее электромагнитной инерцией моделируется матрицей собственных и взаимных проводимостей.

Активные узлы преобразуемой части β связаны с исследуемым районом α также через контур автоматического регулирования частоты и активной мощности (АРЧМ) по координатам (например, отклонению частоты, электрического времени, параметрам регулирования обменных потоков мощности на линиях) вектора внешнего регулирования \bar{X}_p . Кроме того, в самой эквивалентруемой части β учитывается регулирование АРЧМ по q ее параметрам, определяющим вектор \bar{X}_q внутреннего регулирования (рис. 1).

Режим гармонических колебаний эквивалентруемой части системы в матричной форме записи определяется уравнениями:

$$\bar{I}_k = \bar{Y}_{kk} \bar{U}_k + \bar{Y}_{km} \bar{U}_m; \quad (1)$$

$$\bar{I}_m = \bar{Y}_{mm} \bar{U}_m + \bar{Y}_{mk} \bar{U}_k; \quad (2)$$

$$\bar{I}_m = \bar{Y}_m(j\gamma) \bar{U}_m + \bar{Y}_p(j\gamma) \bar{X}_p + \bar{Y}_q(j\gamma) \bar{X}_q; \quad (3)$$

$$\bar{C}_{qk} \bar{U}_k + \bar{C}_{qm} \bar{U}_m + \bar{C}_q \bar{X}_q = 0, \quad (4)$$

где \bar{Y}_{ij} ; ($i = k, m; j = k, m$) — матрицы собственных и взаимных проводимостей; $\bar{Y}_m(j\gamma)$ — квадратная матрица частотных характеристик активных узлов преобразуемой части β ; $\bar{Y}_p(j\gamma)$, $\bar{Y}_q(j\gamma)$ — прямоугольные матрицы частотных характеристик регулирования соответственно по векторам \bar{X}_p и \bar{X}_q ; \bar{U}_k , \bar{U}_m , \bar{I}_k , \bar{I}_m — векторы-столбцы отклонений прямой и обратной последовательной напряжения и тока на шинах k и m .

Уравнение (4) является определением координат вектора \bar{X}_q .

Вводя матрицу отклонений входных параметров эквивалентруемой части системы

$$\bar{Z}_k = \left(\frac{\bar{U}_k}{\bar{I}_k} \right),$$

уравнения (2)–(4) можно записать в виде

$$\begin{pmatrix} \bar{Y}_{mk} & -\bar{Y}_p(j\gamma) \\ \dots & \dots \\ -\bar{C}_{qk} & \bar{0} \end{pmatrix} \bar{Z}_k = \begin{pmatrix} \bar{Y}_m(j\gamma) - \bar{Y}_{mm} & \bar{Y}_q(j\gamma) \\ \dots & \dots \\ \bar{C}_{qm} & \bar{C}_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{U}_m \\ \dots \\ \bar{X}_q \end{pmatrix} \quad (5)$$

Полагая, что

$$\begin{pmatrix} \bar{Y}_m(j\gamma) - \bar{Y}_{mm} & \bar{Y}_q(j\gamma) \\ \dots & \dots \\ \bar{C}_{qm} & \bar{C}_q \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \bar{A}_{11}(j\gamma) & \bar{A}_{12}(j\gamma) \\ \dots & \dots \\ \bar{A}_{21}(j\gamma) & \bar{A}_{22}(j\gamma) \end{pmatrix},$$

по выражениям (1) и (5) получим уравнение эквивалента преобразуемой части β относительно шин примыкания k :

$$\bar{I}_k = \bar{W}_3(j\gamma) \bar{Z}_k. \quad \text{Здесь} \quad \bar{W}_3(j\gamma) = \begin{pmatrix} \bar{Y}_3(j\gamma) \\ \dots \\ \bar{C}_3(j\gamma) \end{pmatrix} -$$

матрица результирующих амплитудно-фазовых частотных характеристик эквивалента относительно его шин примыкания с учетом изменения и регулирования частоты;

$$\left. \begin{aligned} \bar{Y}_3(j\gamma) &= \bar{Y}_{kk} + \bar{Y}_{km} (\bar{A}_{11}(j\gamma) \bar{Y}_{mk} - \bar{A}_{12}(j\gamma) \bar{C}_{qk}), \\ \bar{C}_3(j\gamma) &= -\bar{Y}_{km} \bar{A}_{11}(j\gamma) \bar{Y}_p(j\gamma). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Проведенные расчеты показали, что данные частотные характеристики, имея достаточно сложную форму, в значительной мере определяются параметрами установившегося режима эквивалентруемого участка, числом и типом входящих в него активных узлов и настройкой систем регулирования. Результирующие частотные характеристики (6) отражают усредненное движение преобразуемой части системы, они полностью характеризуют влияние преобразуемой части β на условия статической устойчивости исследуемого района α . Однако при неполной управляемости и наблюдаемости относительно шин примыкания в преобразуемом участке β выделяется изолированная часть [2], что требует в общем случае про-

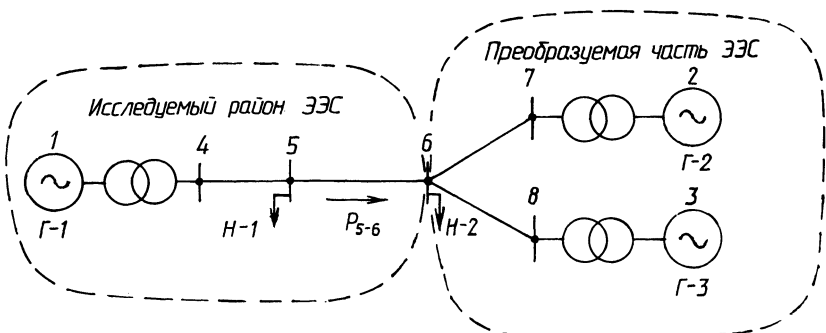


Рис. 2. Схема исследуемой электроэнергетической системы.

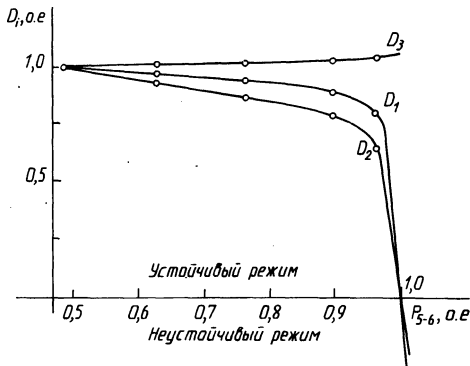


Рис. 3. Изменение показателей апериодической устойчивости при утяжелении режима.

верки устойчивости относительного движения преобразуемого участка.

Для иллюстрации рассмотренных положений на рис. 3 приведены графики изменения показателей апериодической устойчивости трехмашинной ЭЭС (рис. 2) в процессе утяжеления режима вплоть до нарушения устойчивости. Рассматриваемая ЭЭС содержит три эквивалентных генераторных и два нагрузочных узла (пять активных узлов), связанных между собой линиями электропередачи 220 кВ. В табл. 1 приведены параметры исходного (числитель) и предельного (знаменатель) режимов в относительных единицах ($S_{\text{баз}} = 353$ МВА, $U_{\text{баз}} = 230$ кВ). В процессе утяжеления режима выявляется предельное по апериодической статической устойчивости значение перетока по линии связи 5—6 в исследуемом районе ЭЭС ($P_{56}(\text{пред}) = 0,478$).

Таблица 1.

Параметры исходного и предельного режимов работы исследуемой ЭЭС

Параметры	Узлы исследуемой ЭЭС				
	Г-1	Г-2	Г-3	Н-1	Н-2
$P, \text{ о.е.}$	<u>0,453</u>	<u>0,679</u>	<u>0,679</u>	<u>0,17</u>	<u>1,542</u>
	0,691	0,585	0,577	0,17	1,542
$Q, \text{ о.е.}$	<u>0,267</u>	<u>0,457</u>	<u>0,53</u>	<u>0,223</u>	<u>0,617</u>
	0,381	0,509	0,598	0,223	0,617
$U, \text{ о.е.}$	<u>1,052</u>	<u>1,053</u>	<u>1,053</u>	<u>0,916</u>	<u>0,862</u>
	1,049	1,049	1,052	0,874	0,837
$\arg \dot{U}, \text{ рад}$	<u>0,111</u>	<u>0,0298</u>	0	<u>-0,0587</u>	<u>-0,220</u>
	0,425	0,0298	0	0,147	-0,184

Показатель D_1 определяет условия устойчивости для преобразованной схемы, в то время как показатель D_2 соответствует замещению преобразуемой части ЭЭС результирующими частотными характеристиками. Из рис. 3 хорошо видно полное совпадение расчетных пределов устойчивости в обоих случаях. Для оценки относительной устойчивости преобразуемого участка системы используется показатель D_3 , вычисленный в предположении введения в узле примыкания (узел 6) шин неизменного напряжения и частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ледянкин Д.П., Ратманов С.М. Разделение сложной электроэнергетической системы на эквивалентные подсистемы для исследования статической устойчивости. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1980, № 11, с. 8—13.
2. Ледянкин Д.П., Рыжов О.И. Управляемость и наблюдаемость при эквивалентировании участка электрической системы по частотным характеристикам. — Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт, 1973, № 5, с. 93—102.

УДК 621.315.1.004.6

В.И.НОВАШ, д-р техн.наук,
Н.Н.БОБКО (БПИ)

ВЫБОР АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ В СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Устройства для определения места повреждения (ОМП) по параметрам аварийного режима (ПАР) широко используются в сетях с глухозаземленной нейтралью при междуфазных и однофазных коротких замыканиях [1]. Однако эффективные способы ОМП при однофазных замыканиях в сетях с изолированной нейтралью в настоящее время отсутствуют. Между тем автоматизация процесса ОМП при таких повреждениях позволит значительно сократить время перерыва в электроснабжении потребителей сельскохозяйственного назначения.

В работе [2] предлагается производить ОМП при однофазных замыканиях с использованием тока и напряжения, зафиксированных в петле искусственного двойного замыкания (ИДЗ). Одной из точек такого ИДЗ является место естественного повреждения изоляции одной из фаз сети, а вторая создается искусственно путем замыкания на землю одной из неповрежденных фаз сети на шинах питающей подстанции.

Для получения формул, позволяющих производить ОПМ на отходящей от шин линии описанным способом, необходимо иметь выражения для токов и напряжений при двойных замыканиях в сети с изолированной нейтралью (рис. 1, а) в общем виде. Распределительная сеть получает питание через трансформатор Т от источни-