

УДК 621.311

ЭНЕРГЕТИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. Т. Адоин

Принцип разделения узлов энергосистемы на управляемые и неуправляемые для ее моделирования в задачах управления режимами

(Представлено 3/IV 1974)

Вопросы моделирования энергосистем (ЭС) и их объединений (ОЭС) для решения задач потокораспределения в электрических сетях, оптимизации режимов, устойчивости переходных процессов и ряда других, связанных с созданием автоматизированной системы управления (АСУ) в энергетике, представляют значительный теоретический и практический интерес.

К настоящему времени при моделировании сложных схем прибегают к замене части нагрузок и других элементов системы некоторыми приближенными эквивалентами. Однако этот способ эквивалентирования не обеспечивает необходимой точности расчетов.

Возникла необходимость разработки нового принципа учета сложности схем, обеспечивающего нужную точность расчетов и их пригодность для использования в АСУ.

Настоящая статья посвящена разработке нового принципа представления схемы замещения энергосистемы при помощи активного многополюсника.

1. *Разделение узлов энергосистемы на управляемые и неуправляемые.* Если энергосистема входит в состав объединения, то очевидно, что режим части из ее генераторных и нагрузочных узлов, а также узлы, соответствующие межсистемным линиям электропередач, оказываются управляемыми из центра диспетчерского управления (ЦДУ) объединенной энергосистемы. Для таких узлов примем название управляемых. Остальные узлы энергосистемы, не находящиеся под контролем ЦДУ, будем называть неуправляемыми. На рис. 1 показана схема объединения, содержащая, в качестве примера, три энергосистемы ($\varepsilon = 1, 2, 3$), связанные между собой межсистемными электропередачами. Управляемыми являются узлы (генераторные, нагрузочные и межсистемные), показанные вне границ контура $\varepsilon = 1, 2, 3$. Для этих узлов приняты обозначения $1.1; 1.2; \dots; 1.n_1 - 1; 1.n_1$ (управляемые узлы системы $\varepsilon = 1$), $2.1; 2.2; \dots; 2.n_2 - 1; 2.n_2$ (управляемые узлы системы $\varepsilon = 2$)

и $3.1; 3.2 \dots 3.n_3 - 1; 3.n_3$ (управляемые узлы системы $\varepsilon=3$). Неуправляемые узлы этих систем обозначены через: $n_1+1; n_1+2 \dots n_1+m_1$ (неуправляемые узлы системы $\varepsilon=1$), $n_2+1; n_2+2 \dots n_2+m_2$ (неуправляемые узлы системы $\varepsilon=2$) и $n_3+1; n_3+2 \dots n_3+m_3$ (неуправляемые узлы системы $\varepsilon=3$). Таким образом, общее число управляемых узлов объединения $\varepsilon=1, 2, 3$ равно $n_1+n_2+n_3$, а общее число неуп-

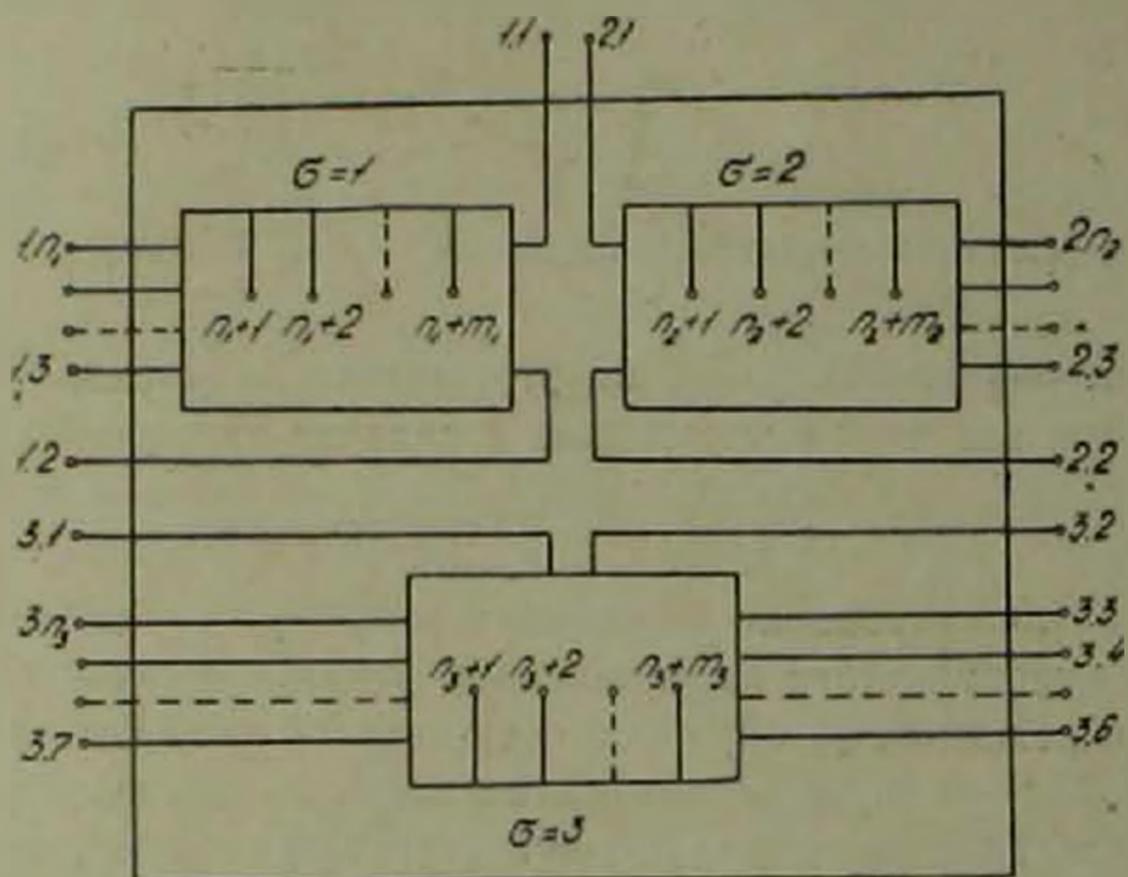


Рис. 1. Схема активного многополюсника, представляющего объединение энергосистем

равляемых узлов равно $m_1+m_2+m_3$. Узлы 1.1 и 2.1 представляют точку, соответствующую середине линии электропередачи, связывающей системы $\varepsilon=1$ и $\varepsilon=2$. Аналогично узлы 1.2 и 3.1 представляют среднюю точку электропередачи между $\varepsilon=1$ и $\varepsilon=3$. Узлы 2.2 и 3.2 представляют середину линии, связывающей $\varepsilon=2$ и $\varepsilon=3$.

2. О двух принципах представления управляемой энергосистемы в ЦДУ. Пусть, рассматривая схему на рис. 2, ЦДУ обеспечивает управление режимами только $n_1+n_2+n_3$ узлов объединения из общего числа $n_1+n_2+n_3+m_1+m_2+m_3$ узлов. Для учета режимов неуправляемых узлов $m_1+m_2+m_3$ в процессе управления ЦДУ могут быть использованы различные принципы и основанные на них методы. Рассмотрим два таких принципа.

Первый (ныне используемый) — представление неуправляемых узлов $m_1+m_2+m_3$ через эквивалентные управляемые узлы общим числом $n_1+n_2+n_3$.

Второй (предлагаемый) — представление неуправляемых узлов $m_1+m_2+m_3$ через определенные вычисляемые функции без необходимости замены узлов $n_1+n_2+n_3$ эквивалентными. Предлагаемый принцип, основанный на разделении генераторных и нагрузочных узлов n_1+m_1 на управляемые n_1 и неуправляемые m_1 , отличается от принципа замены n_1+m_1 узлов эквивалентными n_1 узлами тем, что не-

управляемые узлы m , не удаляются. Последние, как это принято, сами являются управляемыми для центра управления энергосистемой. Предлагаемый принцип дает возможность сформулировать и реализовать общий алгоритм и метод управления процессами как объединения энергосистем, так и отдельных систем, входящих в него. С этой целью рассмотрим некоторые вопросы функций управления, основанные на предлагаемом принципе разделения узлов.

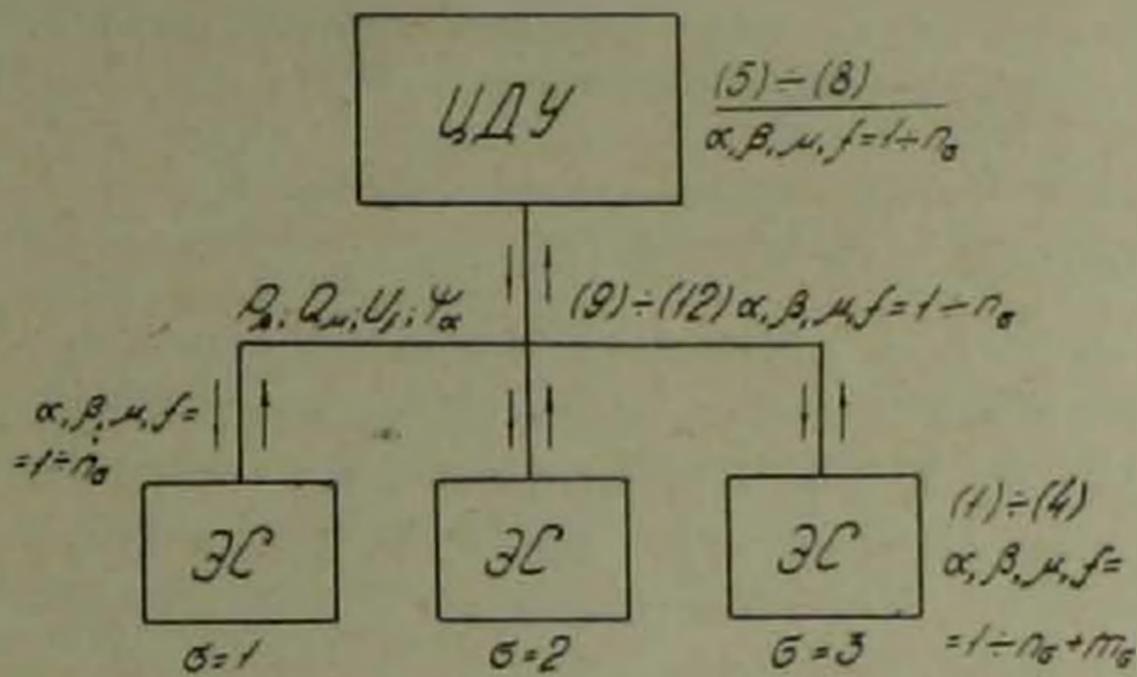


Рис. 2. Схема обмена информацией между центрами управления энергосистемами (ЭС) и объединенном энергосистем (ЦДУ)

3. Зависимые и независимые параметры управляемого режима.

Для обеспечения управления режимами энергосистем и их объединения необходимо выделение независимых и зависимых параметров режима. Для каждой из управляемых систем ($\sigma=1, 2 \dots$) с числом независимых узлов $n_\sigma + m_\sigma$, в качестве независимых (заданных) параметров режима могут быть приняты величины: активной мощности $P_{z,\sigma}$ узлов z , реактивной мощности $Q_{z,\sigma}$ узлов f , модулей напряжений $U_{z,\sigma}$ узлов μ , фаз напряжений $\Psi_{z,\sigma}$ узлов β . Зависимыми (искомыми) параметрами режима будут величины: $P_{z,\sigma}$ узлов β , $Q_{z,\sigma}$ узлов μ , $U_{z,\sigma}$ узлов f и $\Psi_{z,\sigma}$ узлов z . На индексы узлов: $z, f, \mu, \beta=1, 2 \dots n_\sigma + m_\sigma$, в указанном способе выделения зависимых и независимых параметров режима налагаются следующие ограничения:

$$\sigma, z \neq \sigma, \beta; \sigma, f \neq \sigma, \mu. \quad (a)$$

Из этих ограничений следует, например, что если в узлах z в качестве независимых (заданных) приняты величины активных мощностей, то для этих же узлов величины фаз напряжений являются зависимыми (искомыми). Аналогично представляются также зависимые и независимые величины Q и U для узлов z, f и z, μ .

Для объединения энергосистем в целом, управляемого из ЦДУ, приведенный выше способ выбора зависимых и независимых параметров режима сохраняется, но при условии, что индексы узлов: $z, f, \mu, \beta = z.1, z.2 \dots z.n$, ($z=1, 2 \dots$). Это означает, что узлы

$\alpha, f, \mu, \beta = n_2 + 1, n_2 + 2, \dots, n_2 + m_2$ всех систем, входящих в объединение, являются неуправляемыми, как это и было оговорено выше (п. 1).

4. *Уравнения управляемого режима.* Запишем в форме неявных функций уравнения режима управления для каждой из систем (о), входящей в объединение. Этими уравнениями представляются функции каждого из зависимых параметров режима от остальных зависимых переменных, имея в виду, что независимые параметры режима являются заданными, известными величинами.

$$P_{\alpha,\beta} = P_{\alpha}(\dots \Psi_{\alpha,\beta} \dots U_{\alpha,f} \dots) \quad (1)$$

$$Q_{\alpha,\mu} = Q_{\alpha}(\dots \Psi_{\alpha,\mu} \dots U_{\alpha,f} \dots) \quad (2)$$

$$U_{\alpha,f} = U_{\alpha}(\dots Q_{\alpha,\mu} \dots \Psi_{\alpha,\beta} \dots U_{\alpha,f} \dots) \quad (3)$$

$$\Psi_{\alpha,\beta} = \Psi_{\alpha}(\dots P_{\alpha,\beta} \dots \Psi_{\alpha,\beta} \dots U_{\alpha,f} \dots), \quad (4)$$

где $\alpha = 1, 2, \dots, \alpha, \beta, \mu, f = 1, 2, \dots, n_2 + m_2$

Выражения (1)–(4) в явной форме приводятся в (1) без использования индекса α . Для объединения в целом уравнения (1)–(4) приобретают следующий вид:

$$P_{\alpha,\beta} = P(\dots \Psi_{1,\alpha} \dots \Psi_{2,\alpha} \dots \Psi_{3,\alpha} \dots U_{1,f} \dots U_{2,f} \dots U_{3,f} \dots) + \sum_{\alpha=1}^3 P_{\alpha,\beta}^0 \quad (5)$$

$$Q_{\alpha,\mu} = Q(\dots \Psi_{1,\alpha} \dots \Psi_{2,\alpha} \dots \Psi_{3,\alpha} \dots U_{1,f} \dots U_{2,f} \dots U_{3,f} \dots) + \sum_{\alpha=1}^3 Q_{\alpha,\mu}^0 \quad (6)$$

$$U_{\alpha,f} = U(\dots Q_{1,\mu} \dots Q_{2,\mu} \dots Q_{3,\mu} \dots \Psi_{1,\alpha} \dots \Psi_{2,\alpha} \dots \Psi_{3,\alpha} \dots U_{1,f} \dots U_{2,f} \dots U_{3,f} \dots) + \sum_{\alpha=1}^3 U_{\alpha,f}^0 \quad (7)$$

$$\Psi_{\alpha,\beta} = \Psi(\dots P_{1,\beta} \dots P_{2,\beta} \dots P_{3,\beta} \dots \Psi_{1,\alpha} \dots \Psi_{2,\alpha} \dots \Psi_{3,\alpha} \dots U_{1,f} \dots U_{2,f} \dots U_{3,f} \dots) + \sum_{\alpha=1}^3 \Psi_{\alpha,\beta}^0 \quad (8)$$

где $\alpha, \beta, \mu, f = 1, 2, \dots, n_2$; $\alpha = 1, 2, 3$.

Функции: $P_{\alpha,\beta}^0$; $Q_{\alpha,\mu}^0$; $U_{\alpha,f}^0$; $\Psi_{\alpha,\beta}^0$ представляют параметры режима неуправляемых из ЦДУ узлов систем $\alpha = 1, 2, \dots$ и могут быть записаны в следующей неявной форме.

$$P_{\alpha,\beta}^0 = U_{\alpha,\beta} \sum_{i=n_2+1}^{n_2+m_2} M_{\alpha,\beta,i}(U_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,\beta}), \quad \text{где } \beta = 1 + n_2; \beta \neq \alpha \quad (9)$$

$$Q_{\alpha,\mu}^0 = U_{\alpha,\mu} \sum_{i=n_2+1}^{n_2+m_2} N_{\alpha,\mu,i}(U_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,\mu}), \quad \text{где } \mu = 1 + n_2; \mu \neq f \quad (10)$$

$$U_{\alpha,f}^0 = - \sum_{i=n_2+1}^{n_2+m_2} N_{\alpha,f,i}(U_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,f}), \quad \text{где } f = 1 + n_2; \mu \neq f \quad (11)$$

$$\Psi_{\alpha,\beta}^0 = - \sum_{i=n_2+1}^{n_2+m_2} \Phi_{\alpha,\beta,i}(U_{\alpha,i}; \Psi_{\alpha,i}), \quad \text{где } \alpha = 1 + n_2; \alpha \neq \beta \quad (12)$$

$\varepsilon = 1, 2 \dots$ индекс энергосистемы, входящей в объединение. Выражения функций (9) - (12) в явной форме без использования индекса ε приводятся в работе (2).

5. Передача информации об управляемом режиме между ЦДУ и центрами управления энергосистем, входящих в объединение. Каждая из энергосистем ($\varepsilon = 1, 2 \dots$) после определения по (1) - (4) параметров режима управляемых и неуправляемых узлов своей системы передает в ЦДУ информацию о параметрах режима неуправляемых узлов, вычисленных по (9) - (12). Эта информация используется для определения режима объединения в целом согласно (5) - (8).

Параметры режима управляемых узлов, определенные в ЦДУ, передаются в соответствующие энергосистемы для обеспечения управления согласно (1) - (4).

Таким образом, путем взаимной передачи информации о режимах управляемых и неуправляемых узлов отдельных энергосистем, входящих в объединение, и о режимах управляемых узлов объединения в целом обеспечивается иерархический принцип управления, без применения метода эквивалентирования отдельных генераторных и нагрузочных узлов энергосистемы.

В ряде случаев может оказаться возможным использование в ЦДУ данных о параметрах режима неуправляемых узлов энергосистем, вычисленных для дискретных моментов процесса управления, т. е. величин функции (9) - (12), для обеспечения управления в течение определенного интервала времени. При таком способе использования функций (9) - (12) в ЦДУ режим управления будет определен с некоторыми погрешностями, величины которых легко установить контрольными расчетами.

Таким образом, для решения задач управления режимами объединения электроэнергетических систем, представляемых схемами замещения в несколько сот и тысяч узлов, целесообразно разделение всех узлов на управляемые и неуправляемые. Такому разделению будет соответствовать приведение схемы системы к активному многополюснику.

Этим путем можно преодолеть значительные трудности, связанные с весьма приближенными методами упрощения сложных схем, применяемыми в электроэнергетике.

Армянский научно-исследовательский институт энергетики

Հայկական ՍՍՀՄ ԳԱ Բզրակից-անդամ Հ. Տ. ԱՊՈՆՅ

Էներգահամակարգի ուժիմների կառավարման խնդիրները մոդելացնելու համար հրա հանգույցներ կառավարողների և շկառավարողների բաժանման սկզբունքը

Էներգահամակարգերի (էՀ) և նրանց միավորումների (էՀՄ) մոդելացման ճարտիրես էլեկտրական ցանցերում հոսքաբաշխման, ուժիմների օպտիմալաց-

ման անցողիկ պրոցեսների կայունության և էներգետիկայում կառավարման ավտոմատացված համակարգերի (ԿԱՀ) ստեղծման հետ կապված մի շարք այլ խնդիրների համար նշանակալից տեսական և գործնական հետաքրքրու-
թյուն են ներկայացնում:

Առ այսօր բարդ սխեմաների մոդելացման ժամանակ դիմում են համա-
կարգի բեռերի և սյլ տարրերի մի մասի փոխարինման որոշ մոտավոր հա-
մարժեքներով:

Սակայն համարժեքավորման այդ եղանակը չի ապահովում հաշվարկ-
ների անհրաժեշտ ճշտությունը:

Անհրաժեշտություն է առաջացել մշակել սխեմաների բարդությունը հաշ-
վի առնելու նոր սկզբունք, որը կապահովի հաշվարկների անհրաժեշտ ճշտու-
թյունը և նրանց պիտանիությունը ԿԱՀ-ում:

Տվյալ հոդվածը նվիրված է էներգահամակարգի փոխարինման սխեման
ակտիվ բազմարևուակի օղնությամբ ներկայացնելու նոր սկզբունքի մշակ-
մանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ Г. Т. Адоиц, „Электричество“, 1970, № 2, стр. 10-14. ² Г. Т. Адоиц, „Элек-
тричество“, 1971, № 2, стр. 18-21.