

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

К. А. ГАМБУРЯН

МОДЕЛЬ НАГРУЗОЧНОГО УЗЛА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Создание гибридных устройств, состоящих из ЦВМ, модели электрических систем и ряда аналоговых устройств, предназначенных для расчетов установившихся, электромеханических переходных процессов и других режимов энергосистем, представляет большой интерес [1].

В настоящее время в ряде организаций страны, а также за рубежом, проводятся большие работы по созданию специализированных гибридных вычислительных устройств, предназначенных для указанной цели. В этой связи проводятся также работы по усовершенствованию отдельных узлов и элементов такого комплекса.

Одним из элементов гибридного устройства является модель нагрузок энергосистемы.

При расчете установившегося режима энергосистемы для узла нагрузок заданными являются потребляемые активная и реактивная мощности. Поэтому на таких моделях нагрузки обычно моделируются устройствами, поддерживающими постоянство потребляемых активной и реактивной мощностей.

Известны модели нагрузок с постоянством потребляемых мощностей, построенные с применением электромеханических следящих систем [2], и устройство моделирования нагрузок, основанное на постоянстве потребляемой реактивной мощности [3]. Применение указанных моделей нагрузок имеет недостатки, заключающиеся в том, что в схеме по [2] значительно замедляется расчет установившегося режима на моделирующем устройстве, а по [3] — нагрузки энергосистемы моделируются не полностью.

В настоящей заметке предлагается схема модели нагрузок энергосистемы, построенная на элементах аналоговой вычислительной техники.

Из выражения тока нагрузки

$$i = \frac{P - jQ}{U} e^{j\psi} = i_a + i_p \quad (1)$$

следует, что активная (i_a) и реактивная (i_p) составляющие тока определяются из выражений:

$$i_a = \frac{1}{U} P e^{j\psi}; \quad i_p = -j \frac{1}{U} Q e^{j\psi}. \quad (2)$$

где U и φ — модуль и фаза напряжения U на зажимах нагрузочного узла.

При постоянстве потребляемых активной (P) и реактивной (Q) мощностей модули составляющих тока обратно пропорциональны приложенному напряжению U , а по фазе активная составляющая тока совпадает с вектором напряжения U , а реактивная — отстает от последнего на угол ± 2 (рис. 1).

Выражение (1) можно реализовать с применением «источника тока» (ИТ), построенного на операционных усилителях (ОУ) постоянного тока (рис. 2). При соответствующем подборе резисторов в схеме ИТ нагрузочный ток не зависит от приложенного напряжения и определяется из выражения [4]:

$$I = -k U_{\text{нп}}$$

При моделировании (1) и (2) с использованием ИТ в качестве управляющего напряжения $U_{\text{нп}}$ на вход ИТ можно подать два напряжения. По модулю одно из них пропорционально активной составляющей тока, а второе — реактивной, по фазе оба совпадают с фазой напряжения U . Первое из этих напряжений подается на вход ИТ через резистор, а второе — через конденсатор, чем осуществляется 90°-ый фазовый сдвиг относительно первого.

Блок-схема модели нагрузочного узла с постоянно потребляемыми активной и реактивной мощностями приведена на рис. 2.

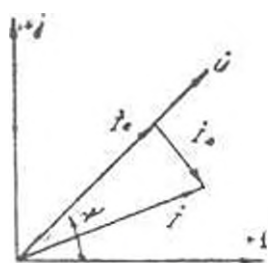


Рис. 1

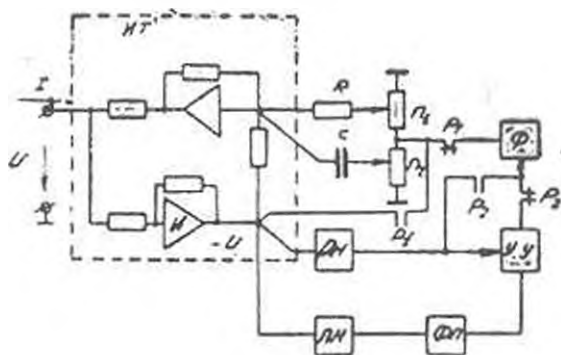


Рис. 2

Напряжение, снимаемое с выхода инвертора ИТ, равное напряжению на зажимах нагрузочного узла U , подается на входы ограничителя напряжения (ОН) и преобразователя напряжения (ПН), преобразующего напряжение переменного тока в постоянный. Выход преобразователя ПН через функциональный преобразователь ФП, реализующий обратную функцию от выпрямленного напряжения U , подается на первый вход устройства умножения (УУ), на второй вход которого подано выходное напряжение ОН. Последний предназначен для стабилизации модуля комплексного напряжения U . Выходное напряжение

УУ фильтруется избирательным фильтром Φ , на выходе которого получается напряжение, пропорциональное $\frac{A}{U} e^{j\omega t}$, где A — коэффициент пропорциональности.

Выходное напряжение фильтра Φ подается на потенциометры $П_1$ и $П_2$, снимаемые с которых напряжения являются управляющими. Последние соответственно через резистор R и конденсатор C подаются на вход ИТ.

Умножение на устройстве УУ осуществляется по методу пиротно-импульсной модуляции, построенной на транзисторном ключе. Такая же схема применена для преобразователя ФП. При этом УУ подключено в обратную связь операционного усилителя.

Модели нагрузочных узлов подключаются к соответствующим узлам модели электрической сети, где воспроизведена схема замещения исследуемой электрической системы. Заданные активные и реактивные мощности устанавливаются с помощью потенциометров $П_1$ и $П_2$. При изменении напряжения на зажимах нагрузок, например, в расчетах установившегося режима энергосистемы, ток нагрузки изменяется автоматически, тем самым поддерживая мощности постоянными.

Модель нагрузочного узла позволяет представить нагрузки, помимо постоянства потребляемой мощности, также постоянством проводимости и постоянством тока нагрузки при постоянном коэффициенте мощности. Для этой цели в схеме предусмотрены переключающие элементы P_1 и P_2 . При срабатывании переключающего элемента P_1 на входы тензиометров $П_1$ и $П_2$ в качестве управляющего напряжения подается напряжение нагрузочного узла $\dot{U}$. При изменении напряжения на зажимах нагрузок в определенном пределе ($U_{\min} = 0,5 U_{\max}$) ток нагрузки изменяется пропорционально напряжению $\dot{U}$, т. е. при этом модель нагрузки работает в режиме постоянной проводимости.

При срабатывании переключающего элемента P_2 на входы $П_1$ и $П_2$ подается напряжение, снимаемое с выхода ограничителя ОН через избирательный фильтр Φ . При изменении напряжения на зажимах модели нагрузок ток нагрузки I остается неизменным.

Лабораторный макет модели нагрузочного узла был собран на ОУ типа УУ-2. Исследование на этом макете при различных режимах работы модели показало высокую надежность и стабильность работы. Погрешность поддержания активной и реактивной мощностей при изменении напряжения на зажимах в диапазоне $(0,5 \div 1,3) U_{\max}$ не превышала 1%. В остальных режимах работы (постоянство проводимости и постоянство тока нагрузки) погрешность не превышает 0,5%.

Вывод. Разработанная модель нагрузочного узла энергосистемы имеет большое быстродействие, высокую надежность, стабильность и точность работы, а также позволяет работать в трех режимах: постоянства активной и реактивной мощностей, постоянства проводимости и постоянства тока нагрузки.

АрмИИИЭ

Поступило 4.1.1975.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адоиц Г. Т., Гимбурия К. А., Миртиросян В. Ш. Управление с помощью ЭЦВМ расчетом установившегося режима энергосистемы на АМЭС—2М. Гибридные вычислительные машины и комплексы. «Наукова думка», Киев, 1973.
2. Гимбурия К. А. Моделирование узла нагрузки на автоматизированной модели энергосистем, V межвузовская конференция по физическому и математическому моделированию, подсекция энергетическая, «Энергия», 1968.
3. Пухов Г. Е. и др. Устройства моделирования нагрузок. заявка № 1812267 от 10 июня, 1972.
4. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах, под ред. И. И. Соколова, «Энергия», 1964.