

ЭНЕРГЕТИКА

К. А. ГАМБУРЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗОК МСПТ С ПОМОЩЬЮ
АНАЛОГОВОЙ МАШИНЫ

1. Модели сетей переменного тока (МСПТ) оказались наиболее удобным средством для моделирования электрических сетей энергосистем. Для моделирования нагрузок и генераторных станций энергосистем более рациональными оказываются аналоговые устройства, так называемые вычислительные машины непрерывного действия (ВМНД). При исследовании электромеханических переходных процессов энергосистем (динамической устойчивости, несинхронных режимов, влияния регуляторов скорости турбин и др.) с помощью только МСПТ или только ВМНД обнаруживается ряд затруднений, приводящих к большим погрешностям в расчетах, а в отдельных случаях и к недоверию к результатам исследований. В связи с этим Г. Т. Адонцом в 1958 году было выдвинуто предложение об использовании для расчетов электромеханических переходных процессов энергосистем сопряженных друг с другом МСПТ и ВМНД. Одним из результатов разработки этого предложения является схема моделирования нагрузок МСПТ с помощью аналоговой машины. В настоящей статье описаны работы, проведенные в Институте энергетики АН Армянской ССР, по сопряжению МСПТ [1] с ВМНД для моделирования динамических характеристик асинхронной нагрузки.

Существует несколько методов моделирования нагрузок энергосистемы из МСПТ. К числу их относятся методы, основанные на: принципе постоянства активных и реактивных сопротивлений; принципе постоянства активных и реактивных мощностей [2]; принципе постоянства тока [3]; представлении нагрузок динамическими характеристиками [4, 5].

Для моделирования асинхронных приводов более удобным можно признать последний метод. Согласно этому методу, параметры нагрузок изменяются в зависимости от скольжения. Последнее зависит от напряжения и времени переходного процесса, что определяется уравнением моментов асинхронного привода. Для получения параметров в зависимости от скольжения, рассмотрим схему замещения асинхронного привода, показанную на рис. 1а. Эквивалентное сопротивление асинхронного привода, подключенного к энергосистеме через комплексное сопротивление питающей сети Z_0 , согласно рис. 1б, равно

$$Z_3(s) = Z_c + Z_1 + \frac{Z_0 Z_2^*}{Z_0 + Z_2^*}, \quad (1)$$

где $Z_1 = R_1 + jX_1$ — комплексное сопротивление статорной обмотки;
 $Z_0 = R_0 + jX_0$ — комплексное сопротивление ветви намагничивания;

$Z_2 = \frac{R_2}{s} + jX_2$ — приведенное к напряжению статора комплексное сопротивление ротора и нагрузки двигателя для данного скольжения.

Для моделирования воспользуемся возможностью эквивалентной

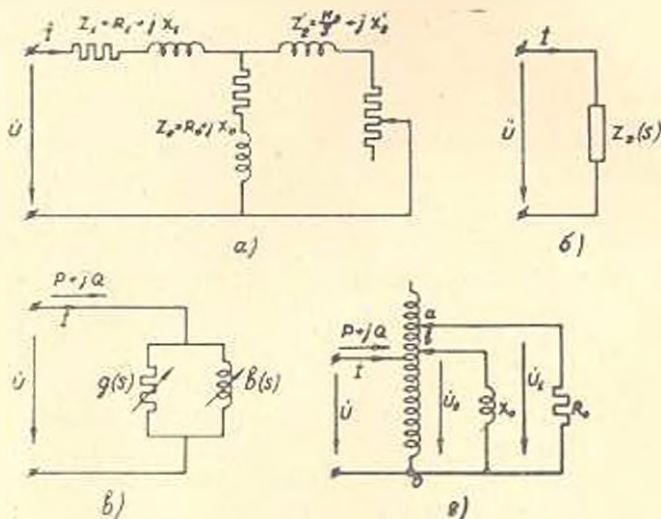


Рис. 1.

замены схем. В частности, при замене исходной схемы цепью из параллельно соединенных активного и реактивного сопротивлений (рис. 1в), получим

$$Y_3(s) = g(s) - jb(s).$$

Принимаем

$$R(s) = \frac{1}{g(s)}; \quad X(s) = \frac{1}{b(s)}. \quad (2)$$

Зависимость сопротивлений $R(s)$ и $X(s)$ от скольжения s показана на рис. 2а. Выражения $R(s)$ и $X(s)$, согласно (1), зависят от сопротивления питающей сети. Характеристики $R(s)$ и $X(s)$ в зависимости от структуры сети будут иметь различный вид. Поэтому, если известны параметры схемы замещения системы, то необходимо построить новые характеристики $R(s)$ и $X(s)$ для каждого узла нагрузки, а если они неизвестны, то можно пользоваться типовыми характеристиками, приведенными, например, в [4].

Для определения скольжения рассмотрим уравнение движения ротора асинхронного привода, которое, при некоторых известных допущениях, имеет следующий вид

$$T_a \frac{ds}{dt} = M_c - \frac{2M_{\max} \left(\frac{U}{U_n} \right)^2}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} \quad (3)$$

где s — скольжение двигателя;

T_a — постоянная инерции двигателя;

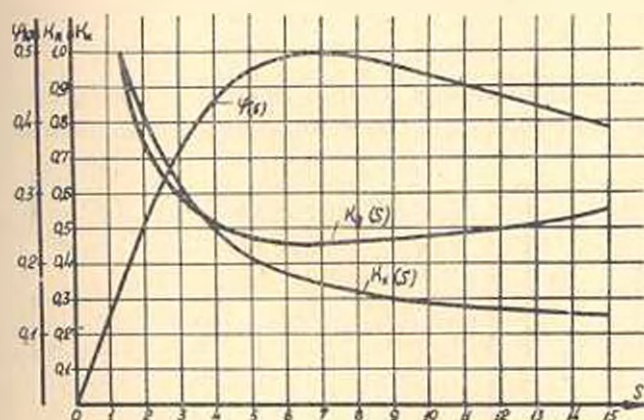
M_c — момент сопротивления привода;

$M_{\max}$ — максимальный вращающий момент двигателя;

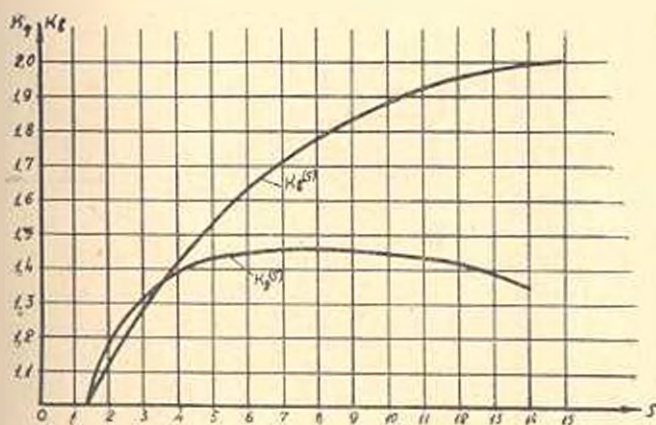
s_k — критическое скольжение;

U_n — напряжение при номинальном режиме;

U — напряжение двигателя в динамическом режиме.



а)



б)

Рис. 2.

Момент сопротивления в общем случае не постоянный и для различных приводов зависит от скольжения и от начального момента. Рассмотрим случай постоянного значения M_c . Трудности получения

тегратора заряжается напряжением, соответствующим номинальному скольжению (s_0). Выход интегратора подключается к функциональному преобразователю, воспроизводящему функцию $\varphi(s)$, выход которого, в свою очередь, подключается ко второму входу МУ. Фактически на вход интегратора подается величина, пропорциональная правой части уравнения (3), следовательно, на выходе получается скольжение — s . Последнее подается на входы функциональных преобразователей, воспроизводящих функции $K_R(s)$ и $K_X(s)$ в виде коэффициентов. Если умножить полученные значения коэффициентов $K_R(s)$ и $K_X(s)$, соответственно, на значения активного и реактивного сопротивления при нормальном режиме, то получим новые значения R и X в каждом интервале времени динамического процесса. Эти умножения осуществляются двумя решающими масштабными усилителями (Y_1 и Y_2), на выходах которых получается R и X . Использование описанного устройства (рис. 3) позволяет одновременно учесть динамические характеристики всех нагрузок, входящих в схему замещения системы. Это делается при помощи конденсаторов в цепи обратной связи интегратора и делителей. В нормальном режиме все конденсаторы заряжаются напряжением, пропорциональным номинальному скольжению асинхронного двигателя. Конденсаторы выполняют функции запоминающего устройства для дальнейшего расчета динамической устойчивости. В схеме имеется возможность изменять коэффициент загрузки асинхронных двигателей, а также номинальное скольжение путем изменения соответственно, входного сопротивления интегратора и напряжения заряда конденсатора.

2. Изменение параметров R и X нагрузочного элемента обычно влечет за собой изменение активной и реактивной мощностей, *потребляемых нагрузкой*. Такое же изменение мощности можно получить на постоянных сопротивлениях R_0 и X_0 , если соответственно менять напряжения U_1 и U_2 (рис. 1в).

Так как для обеих схем нагрузочного элемента потребляемые активная и реактивная мощности должны быть одинаковыми, то можно написать следующие равенства:

$$U_1 = A_R U \frac{1}{\sqrt{K_R(s)}}, \quad U_2 = A_X U \frac{1}{\sqrt{K_X(s)}},$$

где $A_R = \sqrt{\frac{R_0}{R_n}}$, $A_X = \sqrt{\frac{X_0}{X_n}}$ — постоянные;

R_n и X_n — активное и реактивное сопротивления нормального режима.

Таким образом, если в каждом интервале времени измерять напряжение U на зажимах нагрузочного элемента и по нему определять скольжение, затем по скольжению определять значения функций вида $K_R(s) = \frac{1}{\sqrt{K_R(s)}}$ и $K_X(s) = \frac{1}{\sqrt{K_X(s)}}$ наконец умножать последние на напряжение U , то получим новые значения напряжения U_1 и

U_1 , которые соответствуют новому режиму для данного нагрузочного элемента.

Нагрузочный элемент (рис. 1г) представляет собой автотрансформатор с двумя ползунками. Первичная обмотка автотрансформатора подключается к схеме замещения, собранной на МСПТ, а к двум вторичным обмоткам присоединяются постоянное активное R_0 и индуктивное X_0 сопротивления. Для того, чтобы осуществлять изменение параметров нагрузки или, что одно и то же, изменение напряжения U_1 и U_2 предусмотрен исполнительный механизм.

Блок-схема устройства для автоматизации расчета динамических характеристик нагрузки показана на рис. 4. Как видно из схемы, ее

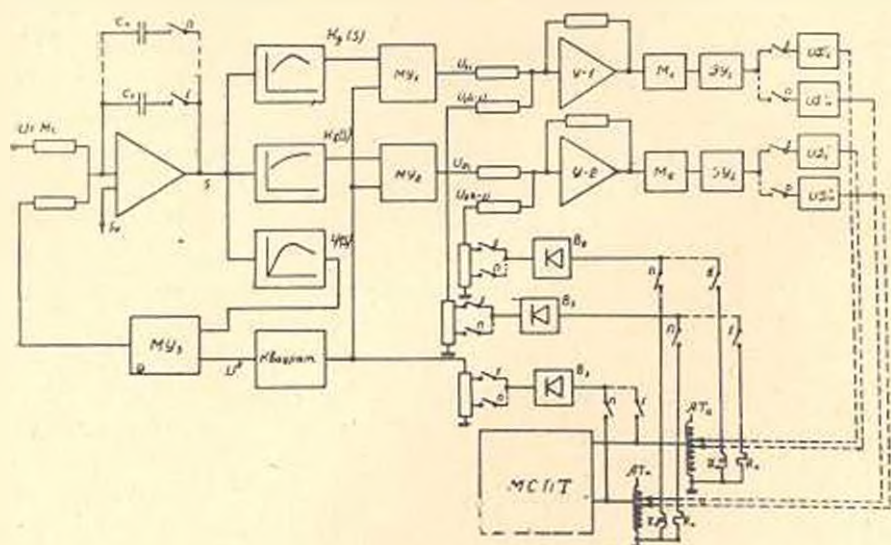


Рис. 4.

основная часть, то есть устройство для решения дифференциального уравнения (3), осталась неизменной.

Полученное напряжение, пропорциональное скольжению s , подается на входы двух функциональных преобразователей, воспроизводящих функции $K_k(s)$ и $K_b(s)$. Выходные напряжения этих блоков подаются на входы двух множительных устройств (MY_1 и MY_2), на другие входы которых подается выпрямленное напряжение U с зажимов нагрузочного элемента. На выходах MY_1 и MY_2 получают напряжения, пропорциональные, соответственно, U_1 и U_2 .

Положение ползунков автотрансформатора должно изменяться таким образом, чтобы напряжение между зажимами ao соответствовало U_1 , а напряжение между зажимами $bo - U_2$ (рис. 1г). Это достигается путем включения в схему следящей системы, которая преобразует полученное напряжение в угол поворота оси ползунка.

Следящая система состоит из суммирующего усилителя (Y_1 и Y_2), модулятора (M_1 и M_2), преобразующего напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока, электронного усилителя мощ-

ности (ΣY_1 , ΣY_2) и исполнительного двигателя (ND). На один из входов суммирующего усилителя подается напряжение, полученное на выходе MY_1 и MY_2 . На другой вход подается выпрямленное напряжение U_1 и U_2 (от вторичных обмоток автотрансформатора). При противоположной полярности этих напряжений, когда они по величине одинаковы, на выходе напряжение будет равно нулю и, следовательно, двигатель будет находиться в покое. При нарушении режима в системе, напряжение U будет изменяться и на выходе Y_1 и Y_2 получится напряжение разбаланса определенной полярности. Модулятор преобразует это напряжение в напряжение переменного тока, фаза которого зависит от полярности входного напряжения. Эти напряжения усиливаются усилителями и подаются на управляющую обмотку исполнительного асинхронного двухфазного двигателя. Вал двигателя через редуктор механически соединен с ползуном автотрансформатора. Ползунок будет перемещаться до тех пор, пока на выходе суммирующего усилителя Y_1 и Y_2 не получится напряжение, равное нулю.

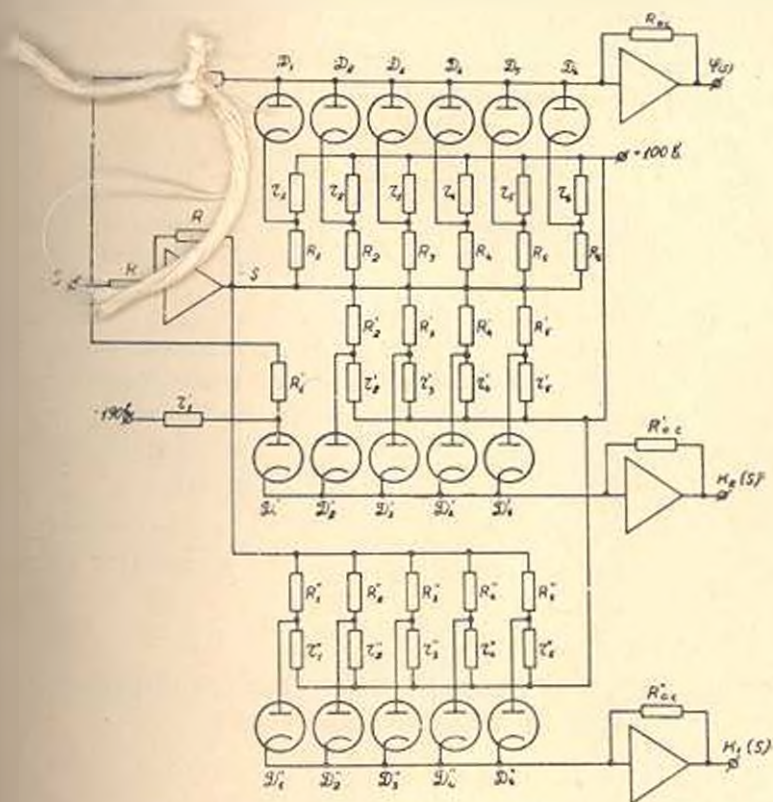


Рис 5.

В описанных схемах используются специализированные преобразователи функций $\varphi(s)$, $R(s)$, $X(s)$, $g(s)$ и $b(s)$. Принципиальные схемы вышеперечисленных функциональных преобразователей показаны на рисунках 5 и 6. В схемах использованы ламповые двойные диоды 6Х6С. Так как на вход трех функциональных преобразователей нуж-

но подать одно и то же напряжение обеих полярностей, то использован один выходной, инвертирующий усилитель (рис. 5 и 6). Использование специализированных функциональных преобразователей упрощает схему и дает возможность обойтись малым количеством решающих усилителей.

В качестве множительных устройств и квадратора использованы тиристы, вольтамперные характеристики которых, в комбинации с ли-

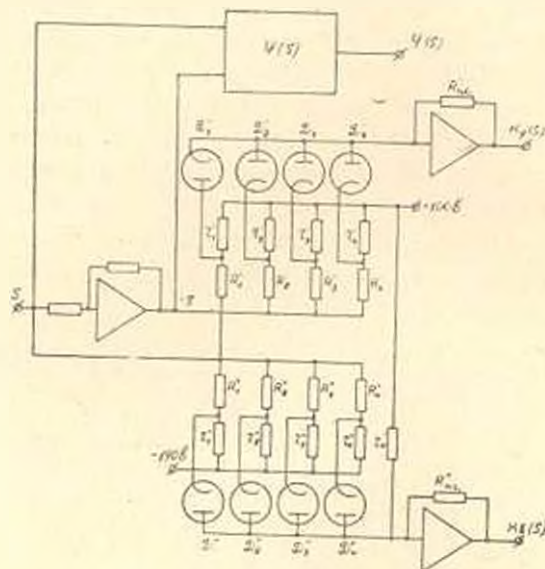


Рис. 6.

нейными сопротивлениями, дают квадратичную характеристику. Описанное устройство в настоящее время работает в полуавтоматическом режиме из-за незавершения некоторых работ по монтажу схемы. В разработке устройств принимал участие дипломник Ереванского политехнического института им. К. Маркса Р. Г. Айказян.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г

Կ. Հ. ԳԱՄԲՐՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՑԱՆՅԻ ՄՈԴԵԼԻ ԲԵՌՆԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՅԻՆՎԵՐ ԱՆԱԼՈԳ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

Ա մ փ ո փ ա լ մ

Էլեկտրական սխեմաների անցողիկ երևույթները ուսումնասիրելու հաջող արդյունք է տալիս փոփոխական հոսանքի ցանցերի մոդելի (ՓՀՑՄ) օգտագործումը: Սակայն ուղղակի անհրաժեշտ է լինում անալիտիկորեն մի շարք օժանդակ հաշվումներ կատարել: Վերջինս վերաջնելու համար լավ որդյունք է տալիս ՓՀՑՄ-ի անընդհատ զործող հաշվիչ մեքենաների (ԱԴՀՄ) միակցումը:

Հողվածում բերվում է վերը նշված մեքենաների միակցման հզանակր տախիդոն բեռերի դինամիկական բնութագրերի մոդելացման համար, որը բառարվում է Հայրի. ՍՍՌ. ԳՍ. Էներգետիկայի ինստիտուտում:

Ատինխրոն շարժիչները, որոնք կազմում են Էներգոսխտանի սպտիչ- ների հիմնական մասը, իրենցից ներկայացնում են ոչ գծային էլեմենտներ: Ինչպես հայտնի է տախիդոն շարժիչի սահքը, կախված նրա սեղմակների վրա եղած լարումից (տե՛ս. համ. 3), փոփոխվում է: Նրա համարմեք պտ- րամետրերը (R և X) իրենց հերթին կախված են սահքից: Սահքը ինչպես լարման և ժամանակի ֆունկցիա, կարելի է գտնել ԱԳՆԻՄ-ի օգնո- թլամբ, լուծելով (3) համասարումը: Այս պեպքում բացի հաստատուն հասունրի ուժեղացուցիչներից անհրաժեշտ են ֆունկցիոնալ փոխակերպիչներ (2) և (4) ֆունկցիաները ստանալու համար (այդ ֆունկցիաները նախորդը հայտնի են, նկ. 2) ինչպես և լուսամուտակման էլեմենտներ: Մոդելացման կիսաապսո- ւտա և լրիվ ափսոմատ սխեմաները պատկերված են նկ. 3, 4-ում, իսկ ֆունկ- ցիոնալ փոխակերպիչների սխեմաները՝ նկ. 5, 6-ում:

Նշված մոդելացումը նաարախրոթլոն է ստեղծում մեկ սխեմայի մի- լիցով կաարելի ցանկացած Էներգոսխտանի յուրր տախիդոն բեռերի մոդե- լացումը: Այդ կաարվում է կոնդենսատորների միջոցով, որոնք միացված են ինտեղրատորի հետադարձ կապին և մեկիս մուտին անցնող հատուկ ափսո- մատիկայի միջոցով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоиц Г. Т., Аюонджяни Г. Д., Гамбурян К. А., Мартиросян М. А. Мо- делъ сетей переменного тока АН Армянской ССР. Известия АН АрмССР, № 6, 1961.
2. M. Šafránek, Československé modely elektrá renských siti. Stroje na Zpracování In- formací, Sb. III, 1955.
3. Чувков С. С. Нелинейный элемент расчетного стопа переменного тока. Журн. "Электричество", № 5, 1949.
4. Азарьев Д. И. Поведение электроустановок и устойчивости параллельной работы электрических систем. Журн. "Электричество", № 7, 1938.
5. Азарьев Д. И. Математическое моделирование электрических систем. Госэнергиз- дат, 1962.