

Г. А. АТАНАСЯН

### К ВОПРОСУ О МОДЕЛИ РТУТНО-ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В работе [1] были рассмотрены критерии подобия выпрямительной нагрузки энергосистемы. Ниже рассматривается вопрос о модели выпрямительной нагрузки энергосистемы на основе анализа физических процессов, имеющих место в натуре, в действующей энергосистеме.

Перейдем к анализу предельных случаев работы вентильной установки, лежащей в основе определения критериев подобия.

#### 1. Случай бесконечной индуктивности в цепи выпрямленного тока установки ( $L = \infty$ )

Опытно-теоретическое исследование вопроса характера протекания электромагнитных процессов в исследуемой установке показало, что режим поочередного горения двух или трех анодов имеет место только при угле коммутации  $\gamma = \frac{\pi}{6}$  [2]. Соответствующее предельное значение параметра будет:

$\frac{x_R}{r_K} = tg \varphi_0$ . По достижении этого

значения аноды начинают гореть группами по три, т. е. наступает новый режим горения. Угол коммутации остается при этом неизменным, следовательно, остается предположить, что новый режим горения возникает вследствие изменения моментов загорания анодов по отношению к соответствующим синусоидам основных э.д.с. установки (см. рис. 3 [1].)

Дальнейшее возрастание основного параметра  $\frac{\omega L_R}{r_K}$  приводит

к короткому замыканию. При этом уменьшаются только амплитуды напряжений. При полном коротком замыкании (к. з.) напряжение становится равным нулю.

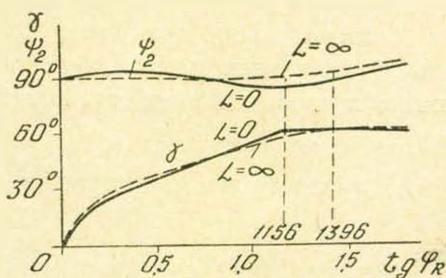


Рис. 1.

Вопросы моделирования ртутно-выпрямительной нагрузки целесообразно делить на моделирование линейных электрических цепей установки и на моделирование нелинейного элемента.

При моделировании электрических линейных цепей вопросы геометрического подобия, как известно, не имеют значения. Все физические величины изменяются в этих цепях только во времени. Подобие начальных условий обеспечивается при этом предположением о нулевых начальных значениях переменных величин. Кроме того надо выставить требование об одинаковом характере изменения всех э.д.с в натуре и в модели. Наличие определенного из дифференциальных уравнений критерия гомохронности, обеспечивает подобие изменений процессов во времени.

Математическое моделирование нелинейного элемента выпрямительной цепи в связи с недостаточной изученностью процессов в выпрямительных установках затруднительно. Соблюдение геометрического подобия при этом моделировании является необходимым [3]. Исследование возможностей теоретико-экспериментального анализа для проектирования физической модели нелинейного элемента игнитронно-выпрямительной установки действующей энергосистемы показало целесообразность подбора различных типов моделей, подогнанных, исходя из примерного подобия очертаний анодов оригинала и модели. Предлагаемый способ создания модели можно было бы назвать контурным методом. Этот метод, несомненно, является разновидностью аффинного подобия и выражается в том, что внешние очертания электродов вентильной модели установки возможно ближе подгоняются к внешним очертаниям электродов вентилей натуре, а контуры цепей электрической схемы включения отдельных вентилей и обмоток машин модели приводятся к типу соответствующих контуров натуре (согласовывается количество проводов, фаз и способ соединения друг с другом отдельных элементов установки). Подтверждением достижения контурного подобия должно явиться совпадение относительных характеристик нелинейного элемента в натуре и в модели. Достижение такого подобия потребует организации и проведения ряда соответствующих экспериментов в лаборатории и в натуре.

Окончательное суждение по вопросу моделирования выпрямительной нагрузки можно будет сделать только после проведения экспериментов и получения относительных характеристик вентилей натуре и лаборатории.

## 2. Случай нулевой индуктивности в цепи выпрямленного тока ( $L = 0$ )

Исследование характера изменения начальной фазы  $\psi_2$  э.д.с. и угла  $\gamma$  в зависимости от определяющего критерия  $\frac{\omega L_R}{r_k}$  для случая отсутствия индуктивности в цепи выпрямленного тока [2] показало, что углы коммутации несколько зависят от значений  $L$  в цепи выпрям-

ленного тока (рис. 1). Углы коммутации для обеих предельных случаев весьма мало отличаются друг от друга. Таков же характер влияния индуктивности  $L_R$  на начальную фазу э.д.с.  $\psi_2$ . Как это видно из кривых рис. 1, начальная фаза  $\psi_2$  не остается постоянной при возрастании  $\operatorname{tg} \psi_R$ . Это имеет своим следствием запаздывание момента зажигания 3-го анода.

Возрастание параметра  $\frac{\omega L_R}{r_g}$  приводит к новому режиму горения вентилей группами по три, а затем и к полному короткому замыканию. Величина тока короткого замыкания не зависит от значения индуктивности  $\omega L_k$ . Начальные и краевые условия для рассмотренных режимов не отличаются друг от друга.

### Предложение типа модели ртутно-выпрямительной нагрузки

На основании дифференциальных уравнений электромагнитных процессов в ртутно-выпрямительных установках [2] выше были определены критерии подобия этих процессов. Эти критерии представлены в следующей таблице:

#### 1. Случай бесконечно большой индуктивности в цепи выпрямленного тока

а) Режим горения двух вентилей

б) Режим горения трех вентилей

$$\frac{\omega L}{r} = idem; \quad \frac{E_0}{ri} = idem;$$

$$\frac{X_R}{r_R} = idem; \quad \frac{\omega L}{r} = idem;$$

$$\omega t = idem;$$

$$\omega t = idem;$$

#### 2. Случай полного отсутствия индуктивности в цепи выпрямленного тока

а) Режим горения двух вентилей

б) Режим горения трех вентилей

$$\frac{\omega L_R}{r_g} = idem;$$

$$\frac{\omega L_R}{r} = idem;$$

$$\omega t = idem;$$

$$\omega t = idem;$$

В таблице приняты следующие обозначения:  $X_R$  — индуктивное сопротивление на фазу всей первичной цепи;  $r_g$  — активное сопротивление этой цепи;  $L_R$  — суммарная индуктивность первичной и вторичной цепи на одну фазу;  $r$  — сопротивление цепи выпрямленного тока;  $i$  — мгновенное значение выпрямленного тока;  $E_0$  — часть  $U_g$ , уравновешивающая э.д.с., индуктируемую в обмотке якоря машины, включенной в цепь выпрямленного тока;  $U_g$  — постоянная составляющая напряжения, измеренная между катодом и средней точкой обмотки катушки Кюблера.

Приведенные в таблице критерии подобия устанавливают наличие подобия электромагнитных процессов в линейных электрических цепях природы и лабораторной установки. Это значит, что на данном этапе исследования характера протекания электромагнитных процессов удастся добиться строгого моделирования только тех процессов, которые протекают в линейных цепях. Моделирование процессов в цепях, содержащих газовые разряды (нелинейные элементы) на основании критериев подобия, систематизированных в таблице было бы не только неточным, но и неправильным.

Поэтому необходимо моделировать вентиляльный элемент на основании иных принципов, чем линейные элементы. Разработка этого вопроса показала, что при моделировании газовых разрядов необходимо соблюдать *геометрическое подобие*. Однако на данном этапе исследования вентиляльных установок такое геометрическое подобие практически трудно осуществимо. Для того, чтобы смоделировать нелинейный элемент выпрямительной установки, целесообразно использовать принцип приближенного моделирования электромагнитных процессов в ней. Приближенное моделирование заключается в том, что вместо геометрического подобия применяется контурное подобие, описанное в предыдущем параграфе.

Полученную таким образом модель можно было бы назвать *комплексной моделью ртутно-выпрямительной нагрузки*. Эта модель должна быть скомпонована из двух отдельных частей: набора дроссельных катушек, имитирующих линейные электрические цепи промышленной установки природы, и ртутно-выпрямительного агрегата, переделанного, в соответствии с требованиями контурного подобия для имитации вентилялей.

Водно-энергетический институт  
АН Армянская ССР

Поступило 23.IV.1958

Հ. Ա. ԱՓԱՆԱՍՅԱՆ

ԷՆԵՐԳՈՒԹՄԱՆՍԵՄԻ ՄԵԻԵԿԱ-ՈՒՂՂԻԶԱՅԻՆ ԲԵՌԻ ՄՈՂԵԼԻ  
ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Ֆիզիկական մոդելացումը շարժարտորական մի փորձ է օրվեկաթի վրա, որը նույն ֆիզիկական բնույթն ունի, բայց այլ մասշտաբ:

Հոգվածում քննարկվում են այն երևույթների ֆիզիկական պայմանները, որոնց համար նախորդ հոգվածում (տես «Էներգոսխառնմի ուղղիչային բեռի նմանութան կրիտերիաները») համապատասխան կրիտերիաներն էին ստացված:

Համաձայն ընդունված պայմանների, պարզեցնելով երևույթն արտահայտող դիֆերենցիալ հավասարումները և կլնելով Լենինի հանրածանոթ թե-

զիտից, որ «երևույթն ազելի լալն ու հարուստ է, քան օրենքը», հոգվածում եզրակացվում է, որ երկու կամ երեք անոպնների միաժամանակ վառման ռեժիմ կարող է լինել միմիայն այն դեպքում, երբ կոմմուտացիայի անկյունը  $\gamma = \frac{\pi}{6}$ .

Նետևարար բնորոշ պարամետրի սահմանաչի՞ն արժեքը  $\frac{X_k}{r_g} = I g \Phi_k$ , իսկ նրա հետագա աճը բերում է կարճ միացում:

Ուղղիչալին բեռի մոդելացումը առաջարկվում է բաժանել երկու էտապների՝ ա) գծային էլեկտրական շղթայի մոդելացում, բ) ոչ-գծային էլեմենտի մոդելացում, որի արդյունքը լինելու է ուղղիչալին բեռի կոմպլեքս մոդելը: Հոգվածում ստացվում է, որ ուղղիչի մոդելացման ժամանակ անհրաժեշտ է պահպանել նրա երկրաչափական նմանությունը պայմանները, որի շնորհիվ առաջանում են որոշակի դժվարություններ: Այդ դժվարություններից խուսափելու համար հոգվածում առաջարկվում է կիրառել պարադոքսալին մոդելացման կանոնները և կատարել ուղղիչի մոտավոր մոդելացում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Атанасян Г. А., Критерии подобия выпрямительной нагрузки энергосистемы. Изв. АН Армянской ССР, т. XI, вып. 6, 1958.
2. Костенко М. П., Нейман Л. Р., Блаудевич Г. Н., Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками. Изд. АН СССР, 1946.
3. Веников В. А., Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике, Госэнергоиздат, 1949.
4. Ленин В. И., Философские тетради, ОГИЗ, 1947.
5. Веников В. А., Некоторые вопросы применения подобия при моделировании электрических систем. Изв. ОТН АН СССР, № 1, 1954.
6. Егиазаров И. В., Моделирование явлений неустановившегося полного движения безнапорного и напорного потоков. Изв. ОТН АН СССР, № 10, 1953.
7. Егиазаров И. В., Задачи научных исследований по изучению режимов работы гидроэнергосистемы и их автоматического регулирования. Изв. АН Армянской ССР (серия ФМЕТ наук), № 1, том VI, 1953.