

ЭНЕРГЕТИКА

Г. А. АЙРАПЕТЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ НЕСИНХРОННЫХ АПВ
МЕЖСИСТЕМНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ОБЪЕДИНЕННЫХ
ЭНЕРГОСИСТЕМ*

Изложенная в этом сообщении часть работы посвящена определению величин параметров, входящих в критерии допустимости несинхронных автоматических повторных включений (АПВ). В [1] было дано обоснование и пояснена физическая сущность критериев:

$$P_{20} > 0 \text{ при } S_1 < 0; \quad (1a)$$

$$P_{20} < 0 \text{ при } S_1 > 0;$$

$$\operatorname{sgn} \Delta_2 \neq \operatorname{sgn} P_{20}. \quad (16)$$

Задача сводится к определению величин, входящих в критерии 1a и 16. В схеме представленной на рис. 1 электромагнитный момент, а при малых скольжениях и мощность действующая на генератор определяется следующим выражением, для Γ_2 :

$$E_1' E_2 b_{12} \sin \delta_{12} - E_1' E_2 g_{12} (1 - \cos \delta_{12}) + \\ + E_1' E_3 b_{23} \sin \delta_{23} - E_2 E_3 g_{23} (1 - \cos \delta_{23}). \quad (1)$$

Аналогично для Γ_1 .

$$E_1' E_2 b_{12} \sin \delta_{21} - E_1' E_2 g_{12} (1 - \cos \delta_{21}) + \\ + E_1' E_3 b_{23} \sin \delta_{31} - E_2 E_3 g_{23} (1 - \cos \delta_{31}). \quad (2)$$

В этих выражениях за положительное направление момента и отсчета углов принято направление против часовой стрелки. Принято также $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$; $\delta_{21} = \delta_2 - \delta_1$ и следовательно $\delta_{12} = -\delta_{21}$.

Определим углы δ_{12} и δ_{21} при которых результирующий момент (мощность) меняет знак, т. е. проходит через нулевое значение. Для этого приравняем нулю выражение результирующего момента, действующего на генератор, с учетом следующих обозначений:

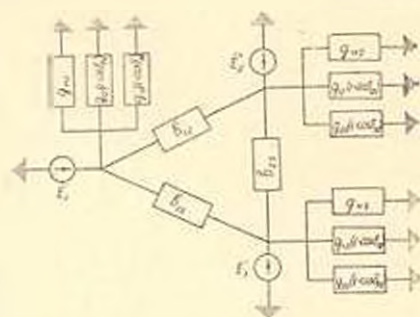
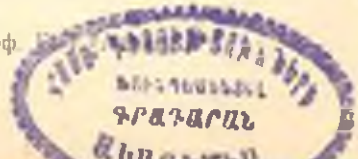


Рис. 1.

* Работа выполнялась под руководством проф.



$$E_2 E_3 b_{23} = P_{b23}; \quad E_1 E_2 b_{12} = P_{b12}; \quad E_2 E_3 g_{23} = P_{g23}; \quad E_1 E_2 g_{12} = P_{g12}.$$

Тогда получим для Γ_1

$$P_1 = P_{b12} \sin \delta_{21} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{21}) + P_{b13} \sin \delta_{31} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{31}) + P_{11} = 0, \quad (3)$$

где

$$P_{11} = - [P_{b12} \sin \delta_{021} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{021}) + P_{b13} \sin \delta_{031} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{031})].$$

Соответственно, для Γ_2 получим:

$$P_2 = P_{b12} \sin \delta_{12} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{12}) + P_{b23} \sin \delta_{32} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{32}) + P_{22} = 0, \quad (4)$$

где

$$P_{22} = - [P_{b12} \sin \delta_{012} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{012}) + P_{b23} \sin \delta_{032} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{032})].$$

Исключив из уравнений (3) и (4) угол δ_{21} , путем подстановки $\delta_{21} = \delta_{31} - \delta_{32}$, а также раскрыв значение синуса и косинуса разности двух углов и выделив постоянную часть, получим следующее уравнение записанное относительно δ_{12} или δ_{32} :

$$P = M \sin \delta + L \cos \delta + C = 0. \quad (5)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$\delta = 2 \arctg = \frac{-M \pm \sqrt{M^2 - L^2 - C^2}}{C - L}. \quad (6)$$

Значение коэффициента M , L и C для случая определения δ_{31} будет

$$\begin{aligned} M_1 &= P_{b13} + P_{b12} \cos \delta_{032} + P_{g12} \sin \delta_{032}; \\ L_1 &= P_{g13} + P_{b12} \sin \delta_{032} - P_{g12} \cos \delta_{032}; \\ C_1 &= P_{g13} + P_{g12} + P_{11}. \end{aligned} \quad (7)$$

То же для δ_{32}

$$\begin{aligned} M_2 &= P_{b23} + P_{b12} \cos \delta_{031} + P_{g12} \sin \delta_{031}; \\ L_2 &= P_{g23} + P_{b12} \sin \delta_{031} - P_{g12} \cos \delta_{031}; \\ C_2 &= P_{g23} + P_{g12} + P_{22}. \end{aligned} \quad (8)$$

Имея в виду, что к положению неустойчивого равновесия генератор может подойти пройдя положение устойчивого равновесия, следует из двух значений корней уравнение (6) взять большее. Случай, когда при определении δ_{21} подкоренное выражение оказывается отрицательным, означает, что момент, действующий на Γ_2 , не меняет знака и, следовательно, возможен выход из синхронизма. Однако, для общности изложения, и в этом случае в качестве критерия будем рассматривать знак энергии $\mathcal{E}_2$, при этом за верхний предел примем угол $\delta_{32} = \delta_{032} \pm 360^\circ$. Далее остается определить энергию $\mathcal{E}_2$, которая необходима Γ_2 для преодоления противодействующих моментов в процессе поворота до неустойчивого равновесия.

Для этого необходимо выполнить интегрирование по углу δ выражения мощности P_{22} , взятое согласно (4):

$$P_2 = M_2' \sin \delta_{32} + L_2' \cos \delta_{32} - C_2, \quad (9)$$

где значение коэффициентов необходимо принимать согласно (8). Из уравнения (9) определяется величина момента P_{20} , действующего на Γ_2 в начальный момент его движения, т. е. когда $\delta_{32} = \delta_{032}$.

Интегрируя выражение (9) получим

$$\begin{aligned} \vartheta_2 = \int_{\delta_{032}}^{\delta'_{32}} P_2 d\delta_{32} = & -M_2' \cos \delta_{32} \Big|_{\delta_{032}}^{\delta'_{32}} + L_2' \sin \delta_{32} \Big|_{\delta_{032}}^{\delta'_{32}} + \\ & + C_2' \cdot \delta_{32} \Big|_{\delta_{032}}^{\delta'_{32}} = M_2' (-\cos \delta'_{32} + \cos \delta_{032}) + \\ & + L_2' (\sin \delta'_{32} - \sin \delta_{032}) + C_2' \left(\frac{\delta'_{32} - \delta_{032}}{57.3} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом определяются все величины, входящие в критерии, исключающие выход из синхронизма Γ_2 . Случаи 3 и 4 [1] исследуются по схеме трех станций соизмеримой мощности, рассматриваемой ниже.

Исследование схемы замещения с тремя генераторами соизмеримой мощности

Выше были даны критерии (1а) и (1б) для случая, когда один из генераторов принимался относительно неподвижным ($\Gamma_3 = \infty$). При исследовании системы с тремя генераторами соизмеримой мощности, критерий (1а) недействителен. Определяющим является критерий (1б). Покажем, что общий вид полученных выражений не изменится, если третий генератор будет иметь соизмеримый момент инерции. Пользуясь предыдущим примером, рассмотрим случай $T_3 = \infty$. Попытаемся рассматриваемый общий случай привести к случаю $T_3 = \infty$. Имея в виду сделанное ранее допущение о неизменности угла δ_{032} при движении генератора Γ_1 и угла δ_{12} при движении Γ_2 , можно рассматривать в первом случае генераторы Γ_2 и Γ_3 как один генератор с моментом инерции равным $T_2 + T_3$ и во втором случае — генераторы Γ_1 и Γ_3 , как один генератор с моментом $T_1 + T_3$. Тогда нетрудно решить поставленную задачу, путем рассмотрения этих эквивалентных генераторов как неподвижные, за счет соответствующего переноса моментов на остальные генераторы системы. При этом необходимо учесть, что один и тот же момент (или эквивалентная ему мощность), действуя на разные генераторы, вызывает ускорения, в зависимости от соотношения их постоянных инерций. Поэтому, для эквивалентного приложения моментов ко всем генераторам необходимо их предварительно пересчитать. Если мощности приложенные к Γ_2 и Γ_3 обозначить через P_2 и P_3 , то эти же мощности приложенные к Γ_1 будут соответственно,

$$P_{2(1)} = -P_2 \frac{T_1}{T_2 + T_1}; \quad P_{3(1)} = -P_3 \frac{T_1}{T_2 + T_1}.$$

Справедливость такого переноса моментов вытекает из [2], описывающей уравнения движения генераторов при равенстве нулю мощностей турбин:

$$\frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \cdot \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = - \frac{T_2 P_1 - T_1 P_2}{T_1 + T_2}. \quad (13)$$

Отсюда

$$-T_1 \frac{d^2 \delta_{12}}{dt^2} = P_1 - \frac{T_1}{T_2} P_2. \quad (14)$$

Из этого выражения следует, что относительное ускорение не меняется, если рассматривать движение только генератора Γ_1 , с учетом соответствующего пересчета моментов.

После пересчета, в приведенных выше выражениях (6), (9) и (10) изменится значение коэффициентов M , L и C , а именно

$$\begin{aligned} M_2 &= (1 + k_1)(P_{b12} + P_{b12} \cos \delta_{021}) + (1 - k_1) P_{g12} \sin \delta_{021}; \\ L_1 &= (1 - k_1)(P_{g12} + P_{g12} \cos \delta_{032}) - (1 + k_1) P_{b12} \sin \delta_{021}; \end{aligned} \quad (15)$$

$$C_1 = -(1 - k_1)(P_{g12} + P_{g12}) - k_1 (P_{g22} + P_{g13}) + P_{11},$$

$$P_{12} = -[P_{b12} \sin \delta_{021} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{021})];$$

$$P_{13} = -[P_{b13} \sin \delta_{013} - P_{g13} (1 - \cos \delta_{013})];$$

$$M_2' = (1 + k_2)(P_{b23} + P_{b12} \cos \delta_{31}) + (1 - k_2) P_{g12} \sin \delta_{31};$$

$$L_2' = (1 - k_2)(P_{g23} + P_{g12} \cos \delta_{31}) - (1 + k_2) P_{b12} \sin \delta_{31}; \quad (16)$$

$$C_2' = -(1 - k_2)(P_{g23} + P_{g12}) - k_2 (P_{11} + P_{13}) + P_{12},$$

где

$$k_1 = \frac{T_1}{T_2 + T_1}; \quad k_2 = \frac{T_2}{T_1 + T_2};$$

$$P_{11} = -[P_{b12} \sin \delta_{021} - P_{g12} (1 - \cos \delta_{021})];$$

$$P_{13} = -[P_{b23} \sin \delta_{023} - P_{g23} (1 - \cos \delta_{023})].$$

З а к л ю ч е н и е

Условие втягивания в синхронизм после несинхронного включения и расчеты процесса втягивания в настоящее время исследованы, в основном, для двух несинхронно вращающихся частот системы, т. е. по двухмашинной схеме замещения. Однако, исследования по такой схеме в объединенных энергосистемах редко дают удовлетворительные результаты. Возможность кратковременного появления в системе третьей частоты, т. е. появление третьей машины (или части системы), которая переходит из одной несинхронно вращающейся системы

в другую и влияние ее на процессе восстановления синхронизма, требует дальнейшего изучения [3].

Предлагаемые критерии дают возможность, путем проведения несложных расчетов выявить возможность появления в системе третьей частоты в последнем цикле асинхронного хода. По критерию может быть определена предельно передаваемая мощность (угол передачи δ), при которой в процессе несинхронного АПВ может появиться третья частота и затянуть ресинхронизацию, что фактически исключает возможность применения НАПВ при таких перетоках. Таким образом предлагаемые критерии могут служить одновременно одним из критериев допустимости несинхронного АПВ. Предлагаемые критерии могут служить также в качестве критериев допустимости эквивалентирования, так как невозможность выхода из синхронизма отдельных машин определяет возможность объединения их в эквивалентную станцию.

Предложенное решение было проверено на межсистемных линиях Закавказской энергосистемы.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 2.IV 1963 г.

Գ. Ա. ՀԱՅԱԳԵՅՅԱՆ

ՄԱՌԱՅԱՎ ԷՆԵՐԳԻՈՍԻՍԵՄԵՆՆԵՐԻ ՄԻՋՍԻՍԵՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻՏԻՆ
ԳԾԵՐԻ ՈՉ ՍԻՆԽՐՈՆԻԱՅԻՆ ՈՐՈՇ ՀԱՐՅԵՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Առաջին հաղորդման մեջ (ՀՍՍՐ ԳԱ «Տեղեկագիր», № 5, 1963 թ.) տրված էր միջսխառնմային էլեկտրահաղորդման գծերի ոչ սինխրոն ափսոսման կրկնակի միացումից (ՈԱԿՄ) հետո առաջվող ռեսինխրոնիզացիայի երևալթի ֆիզիկական մեկնաբանումը և առաջարկվում էր կրիտերիաներ, որոնք կարող են օգտագործվել ՈԱԿՄ թույլատրելիության հարցի լուծարանման համար: Ուրի հաղորդման մեջ տրված է կրիտերիաների մեջ մտնող բոլոր մեծությունները որոշող հաշվային բանաձևերի դուրս բերումը: Ցույց է տրված, որ առաջադրվող կրիտերիաները կիրառելի են ինչպես Յ գեներատորներով սխեմաների համար, որոնցից մեկը կարելի է դիտել որպես անսահման հզորության դոդ, այնպես էլ Յ համաչափելի հզորություններով գեներատորների ղեկավարման կատարված հետախոյանների հիման վրա իւրհուրդներ է արված ՈԱԿՄ կիրառման և էներգոսխառնմի տեղադրված սխեմայի համարմեքացման ղեկավարման առաջարկված կրիտերիաների օգտագործման եղանակի վերաբերյալ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Адранишян. Некоторые вопросы несинхронных АПВ межсистемных линий электропередач объединенных энергосистем. Известия Академии наук Армянской ССР, ТН, № 5, 1963 г.

2. В. А. Веников. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Госэнергоиздат, 1958.
3. В. А. Веников, Ю. М. Горский, Л. А. Солдаткина. Методы теории вероятности в применении к анализу режимов электроэнергетических систем. Доклады научно-технического совещания по применению вероятностных методов к анализу режимов энергосистем. Вып. I. Киев, 1963.