

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ю. М. ШАХНАЗАРЯН

АКТИВНАЯ И РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТИ У ШИН ПРИЕМНОЙ
СИСТЕМЫ ПРИ АСИНХРОННОМ ХОДЕ СТАНЦИЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

При использовании асинхронного хода работы станции в электрической системе, в целях повышения результирующей устойчивости, важно знать активную и реактивную мощности у шин приемной системы при установившемся ее асинхронном ходе (рис. 1).

Потребление реактивной мощности, вылавшей из синхронизма станцией, имеет весьма существенное значение, так как заметное ее потребление вызывает уменьшение напряжения на шинах станции, генераторы которой работают асинхронно, а также напряжение в приемной системе, что в свою очередь может привести к нарушению устойчивости других станций системы, а также к нарушению работы потребителей.

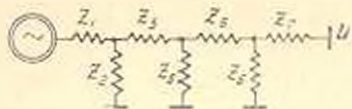


Рис. 1. Рассматриваемая схема передачи.

Для ответа на поставленную задачу были выведены формулы активной и реактивной мощностей у шин приемной системы при установившемся асинхронном ходе станции, связанной с системой через сеть произвольной сложности с промежуточными нагрузками.

При выводе формул принимались следующие допущения:

1. Принимается эквивалентная машина симметричной, причем для явнополюсной машины используется известный прием замены явнополюсной машины эквивалентной неявнополюсной.

2. Параметры машины, линии связи и нагрузки не зависят от скольжения.

3. Используется известный „принцип наложения мощностей“, когда постоянная времени обмотки возбуждения намного больше постоянной времени успокоительной обмотки $T_{id} \gg T_{id}$. При выводе формул применялись уравнения Горева-Парка.

* Работа является частью общего комплекса исследования по результирующей устойчивости, проводимых в Московском энергетическом институте под руководством В. А. Ветникова.

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \frac{UE_d}{Z_{11}} \sin (\delta + \alpha_{12}) + \\
 & + \frac{U^2}{Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \sin (\delta + \alpha_{12})
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 Q_u = & - \frac{U^2}{Z_{11}} \cos \alpha_{22} + \frac{UE_d}{Z_{12}} \sin (\delta + \alpha_{12}) + \\
 & + \frac{1}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \frac{UE_d}{Z_{12}} \cos (\delta + \alpha_{12}) + \\
 & + \frac{U^2}{Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \cos (\delta + \alpha_{12})
 \end{aligned} \quad (5)$$

При относительном перемещении ротора составляющие э. д. с. получают приросты.

$$\begin{aligned}
 E_d &= E_{dR-\infty} + \Delta E_{dR}, \\
 E_q &= \Delta E_{1q}, \\
 E_{dR-\infty} &= E_{dc} + \Delta E_d.
 \end{aligned} \quad (6)$$

где $E_{dR-\infty}$ — э. д. с. машины при отсутствии успокоительной обмотки в продольной оси;

E_{dc} — э. д. с. соответствующая установившемуся току возбуждения; ΔE_d , ΔE_{1d} , ΔE_{1q} — приросты э. д. с. из-за токов, наводимых в обмотке возбуждения и в успокоительных обмотках вследствие относительного перемещения ротора.

В случае явнополюсной машины с успокоительными обмотками эти э. д. с. определяются для составляющей фиктивной э. д. с. [2 и 3].

$$\begin{aligned}
 {}_1E_{Qd} &= \frac{{}_1E_d}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}; \quad {}_1E_{1Qd} = \frac{{}_1E_{1d}}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}; \\
 {}_1E_{1Qq} &= {}_1E_{1q}
 \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в уравнения мощностей (4) и (5), получим:

$$(8) \quad \left\{ \begin{aligned} P_u = & - \frac{U^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{22} + \frac{E_d U}{Z_{11} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \sin (\delta + \alpha_{12}) - \\ & - \frac{U^2}{Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \sin (\delta + \alpha_{12}) \end{aligned} \right.$$

$$(8) \quad \begin{aligned} & -\frac{U_s E_{1Qq}}{Z_{12}} \cos(\delta + \alpha_{12}) + \frac{U_s E_{Qd}}{Z_{12}} \sin(\delta + \alpha_{12}) + \\ & + \frac{U_s E_{1Qd}}{Z_{12}} \sin(\delta + \alpha_{12}) + \frac{U^2}{Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \times \\ & \times \cos(\delta - \alpha_{12}) \cos(\delta + \alpha_{12}) \end{aligned}$$

$$(9) \quad \begin{aligned} Q_u = & -\frac{U^2}{Z_{22}} \cos \alpha_{22} + \frac{E_{dc} U}{Z_{22} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos(\delta + \alpha_{12}) + \\ & + \frac{U_s E_{1Qd}}{Z_{12}} \sin(\delta + \alpha_{12}) - \frac{U_s E_{Qd}}{Z_{12}} \cos(\delta + \alpha_{12}) + \\ & + \frac{U_s E_{1Qq}}{Z_{12}} \cos(\delta + \alpha_{12}) + \\ & + \frac{U^2}{Z_{12}^2} \frac{x_d - x_q}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cos(\delta - \alpha_{12}) \cos(\delta + \alpha_{12}). \end{aligned}$$

В этих уравнениях члены с приростами э. д. с. после раскрытия этих приростов представляют собой асинхронную мощность, обусловленную относительным перемещением ротора генератора. Приросты э. д. с. являются операторными выражениями и для их раскрытия во временной форме необходимо применение интеграла Дюамеля [2 и 3]. При постоянстве относительной скорости вращения генератора эти уравнения асинхронной мощности могут быть проинтегрированы. После интегрирования и некоторых преобразований, получим:

$$(10) \quad \begin{aligned} P_a = & \frac{E_{dc} U}{Z_{22} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \sin(\delta - \alpha_{12}) + \\ & + \frac{U^2}{2} \left\{ \frac{x_d - x_q}{Z_{12}^2 \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \sin 2\alpha_{12} - \frac{2 \sin \alpha_{22}}{Z_{22}} + \right. \\ & + \frac{x_d - x_q}{Z_{12}^2 \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \sin 2\delta - \\ & - \frac{x_d - x_q}{Z_{12}^2 \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right) \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \times \\ & \times \frac{sT_d}{1 + (sT_d)^2} \left| \cos 2\alpha_{12} + sT_d \sin 2\alpha_{12} + \right. \end{aligned}$$

(10)

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{1 + (sT_d)^2} \sin \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT_d} \right) \Bigg] - \\
&\quad - \frac{x_d' - x_d}{Z_{11}^2 \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right) \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \times \\
&\quad \times \frac{sT_d}{1 + (sT_d)^2} \left| \cos 2\alpha_{12} + sT_d \sin 2\alpha_{12} \right. \\
&\quad \left. \pm \sqrt{1 + (sT_d)^2} \sin \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT_d} \right) \right| - \\
&\quad - \frac{x_q - x_q'}{Z_{12}^2 \left(1 - \frac{x_q - x_q'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cdot \frac{sT_q}{1 + (sT_q)^2} \left| \cos 2\alpha_{12} + \right. \\
&\quad \left. + sT_q \sin 2\alpha_{12} \mp \sqrt{1 + (sT_q)^2} \sin \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT_q} \right) \right| \Bigg].
\end{aligned}$$

(11)

$$\begin{aligned}
Q_u = & \frac{E_d U}{Z_{12} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos (\delta + \alpha_{12}) - \frac{U^2}{2} \left[\frac{2 \cos \alpha_{22}}{Z_{22}} - \right. \\
& - \frac{x_d - x_q}{Z_{12}^2 \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos 2\alpha_{12} - \\
& - \frac{x_d - x_q}{Z_{12}^2 \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos 2\delta + \\
& + \frac{x_d - x_d'}{Z_{12}^2 \left(1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right) \left(1 + \frac{x_d - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \times \\
& \times \frac{sT_d'}{1 + (sT_d')^2} \left| sT_d \cos 2\alpha_{12} - \sin 2\alpha_{12} \pm \right. \\
& \left. \pm \sqrt{1 + (sT_d')^2} \sin \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT_d} \right) \right| \mp \\
& + \frac{x_d' - x_d}{Z_{12}^2 \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right) \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \times \\
& \times \frac{sT_d}{1 + (sT_d)^2} \left| sT_d \cos 2\alpha_{12} - \sin 2\alpha_{12} \pm \right. \\
& \left. \pm \sqrt{1 + (sT_d)^2} \cos \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT_d} \right) \right| \Bigg] +
\end{aligned}$$

$$(11) \left| \begin{aligned} & + \frac{x_q - x'_q}{Z_{12} \left(1 - \frac{x_q - x'_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cdot \frac{sT'_q}{1 - (sT'_q)^2} \left[sT'_q \cos 2\alpha_{12} - \right. \\ & \left. - \sin 2\alpha_{12} \pm \sqrt{1 + (sT'_q)^2} \cos \left(2\delta - \arctg \frac{1}{sT'_q} \right) \right] \right|, \end{aligned}$$

где

$$T_x = T_{x0} \frac{1 - \frac{x_q - x'_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}{1 + \frac{x_d - x'_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}; \quad T_d = T_{d0} \frac{1 - \frac{x_q - x'_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}{1 - \frac{x_d - x'_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}};$$

$$T'_q = T'_{q0} \left(1 - \frac{x_q - x'_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right).$$

В уравнениях при $s < 0$ следует брать верхние из указанных знаков при $s > 0$ — нижние.

В случае турбогенератора он должен быть учтен в расчетной схеме продольным синхронным реактивным сопротивлением. Уравнения (10) и (11) выведены в предположении, что отсчет времени производится с момента изменения установившегося режима генератора. При этом затухающие члены, появляющиеся в уравнениях из-за предположения мгновенного появления конечного скольжения, практически не оказывающие никакого влияния на среднее значение асинхронной мощности в установившемся асинхронном режиме, в формулах опущены.

Здесь все углы вида $\arctg \frac{1}{sT}$ находятся в I и II квадратах.

$$\delta = \delta_0 - st.$$

При связи генераторов с мощной системой через дальнюю линию электропередачи величины этих мощностей снижаются. В формуле реактивной мощности знак минус перед скобкой свидетельствует о потреблении реактивной мощности из системы.

Из этих формул путем постановки $x_{11} = x_{21} = 0$, $Z_{11} = Z_{12} = x_d$ трудно получить общезвестные формулы активной и реактивной мощности синхронной машины, работающей на шины неизменного напряжения [4 и 5].

Приведенные формулы дают количественную оценку активной и реактивной мощностей у шин приемной системы, когда параметры передачи, включая все его элементы, мало изменяются при изменении скольжения, и когда активное сопротивление как линии, так и промежуточных нагрузок мало.

Для примера подсчитаны асинхронные характеристики активной и реактивной мощностей для схемы передачи, приведенной на рис. 3.

Результаты расчета, выполненные по формулам (10 и 11), приведены на рис. 4.

Следует заметить, что при асинхронном ходе эквивалентного генератора станции (рис. 3) из системы используются как реактивная, так

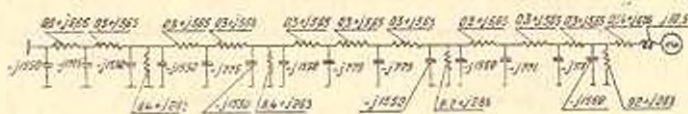


Рис. 3. Расчетная схема передачи. Параметры эквивалентного генератора:

$$\begin{aligned} x_d &= 6,95 \text{ о.м.} & x_q &= 3,82 \text{ о.м.} & x_d' &= 2,08 \text{ о.м.} \\ x_d'' &= 0,784 \text{ о.м.} & x_q'' &= 0,648 \text{ о.м.} \\ T_{d0} &= 5,6 \text{ сек.} & T_{d1}' &= 0,12 \text{ сек.} & T_{d0}' &= 0,213 \text{ сек.} \\ K_{\text{трансф.}} &= 1,86 & P_{\text{баз.}} &= 10 \text{ мва.} & U_{\text{баз.}} &= 820 \text{ в.} \end{aligned}$$

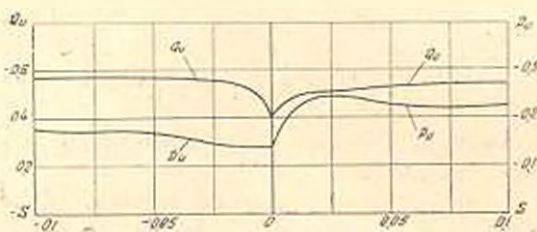


Рис. 4. Средние асинхронные мощности у шин приемной системы рассматриваемой схемы передачи.

и активная мощности. При этом потери в активном сопротивлении передачи оказываются большие выдаваемой асинхронной мощности.

Московский энергетический институт

Поступило 26.III 1962

ՈՒՆ. Մ. ՇԱՀՆԱԶԱՐՅԱՆ,

ԱՎՏԻՎ, ԵՎ ՌԵԱԿՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԸՆԴՈՒՆՈՂ ՍԻՍՏԵՄԻ
ՇԻՆԱՅԻ ՎՐԱ, ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՍԻՍՏԵՄԻ ԿԱՅԱՆԻ ԱՍԻՆԽՐՈՆ
ՓԱՅԼԻ ԴԵՊՐՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ն Վ

Կալուսութեան մեծացման նպատակով, էլեկտրական սխեմայի կալանի աշխատանքի ասինխրոն քալի օգտագործման ժամանակ, կարևոր է իմանալ ակտիվ և ռեակտիվ հզորութիւնները՝ ընդունող սխեմայի շինարի վրա, կալանի կալանացած ասինխրոն քալի վեպքում (նկ. 1):

Էական նշանակություն ունի սինխրոնիզմից դուրս ընկած կայանի ռեակտիվ հզորության սպառումը, քանի որ նրա զգալի սպառումը առաջացնում է լարվածության փոքրացում, ինչպես կայանի շինալի վրա, այնպես էլ ընդունող սխտեմում, որ իր հերթին կարող է խախտել ինչպես էլեկտրական սխտեմի մյուս կայանների կալունությունը, այնպես էլ սայատիչների աշխատանքը: Այդ նպատակով դուրս է բերված ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների բաժանումը՝ ընդունող սխտեմի շինալի վրա, սխտեմի հետ կամայական բարդությամբ և միջանկյալ բեռնավորումներ ունեցող ցանցով, միացած կայանի կալունացած ասինխրոն քալի դեպքում (10—13).

Դուրս բերված բանաձևերի մասնավոր դեպքը տալիս է ակտիվ և ռեակտիվ հզորությունների հանրահայտ բանաձևերը՝ ընդունող սխտեմի շինալի վրա, շինալին պարզագույն ձևով միացած կայանի ասինխրոն քալի դեպքում [1, 2].

Ստացված բանաձևերը տալիս են ակտիվ և ռեակտիվ հզորության թվային արժեքները ընդունող սխտեմի վրա, երբ հաղորդման պարամետրները, ընդգրկված բոլոր նրա էլեմենտները, քիչ են փոփոխվում սահմանի փոփոխման դեպքում և երբ զծի, ինչպես և միջանկյալ բեռնավորումների ակտիվ դիմադրությունները փոքր են:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лебедев С. А. и Жданов П. С. Устойчивость параллельной работы электрических систем, Госэнергоиздат, 1934.
2. Жданов П. С. Демпферный момент синхронной машины, работающей через внешнюю сеть параллельно с системой большой мощности. Бюллетень ВЭИ, № 9, 1953.
3. Веников В. А. Жуков Л. А. Переходные процессы в электрических системах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1953.
4. Веников В. А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах, М.—Л., Госэнергоиздат, 1958.
5. Мамиконянц Л. Г. Определение реактивной мощности синхронной машины при асинхронном режиме, Электричество, № 3, 1958.
6. Мамиконянц Л. Г. Токи и моменты вращения, возникающие в синхронной машине при включении ее способом самосинхронизации, М.—Л., Тр. ЦНИЭЛ, вып. IV, Госэнергоиздат, 1956.
7. Горев А. А. Переходные процессы синхронной машины, М.—Л., Госэнергоиздат, 1950.