

В. И. СААКОВ, Д. С. МЕЛКОНЯН, А. Ф. АБ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ
 ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОЙ МАШИНЫ МЕТОДОМ
 ВЫНУЖДЕННЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В статье описывается методика определения частотных характеристик синхронной машины с использованием в качестве усилительного звена транзисторного усилителя, что позволяет охватить широкий диапазон частот. Приводятся частотные характеристики синхронного генератора СГ-60/6, определенные для диапазона частот от 0,038 до 250 гц. Дается сравнение значений параметров машины, определенных различными методами.

1. При питании обмотки статора неподвижной машины синусоидальными токами различных частот входное сопротивление машины (здесь и далее в относительных единицах) характеризуется соотношением вида [1, 2]:

$$Z_{\text{веп}}(js) = r_s + js \cdot x(js), \quad (1)$$

где $s = \frac{f}{f_n}$ — скольжение.

Входное сопротивление машины, вращающейся со скольжением s , характеризуется соотношением [2]

$$Z_{\text{вр}}(js) = r_{50} + jx(js). \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) может быть найдена зависимость между входными сопротивлениями неподвижной и вращающейся машины [1]

$$Z_{\text{вр}}(js) = \frac{Z_{\text{веп}}(js) - r_s}{s} + r_{50}. \quad (3)$$

Зависимость активного сопротивления неподвижной машины от частоты приближенно учитывается соотношением вида:

$$r_s \approx r_0 \left[1 + (r_{50} - r_0) \left(\frac{f}{f_n} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где $r_{50} = p_{\text{св}} + p_{\text{доб}}$ — потери в меди статорной обмотки и добавочные потери в машине, вращающейся с номинальной скоростью; r_0 — омическое сопротивление фазной обмотки статора.

Таким образом, измеряя входное сопротивление неподвижной машины при приложении напряжений разных частот и учитывая за-

зависимость (4), можно определить зависимость сопротивления вращающейся машины от скольжений.

2. На рис. 1 приведена схема опытов. Напряжение питания подводится к концам двухфазных обмоток статора. Третья обмотка разомкнута. Обмотка возбуждения замкнута, ротор установлен в такое

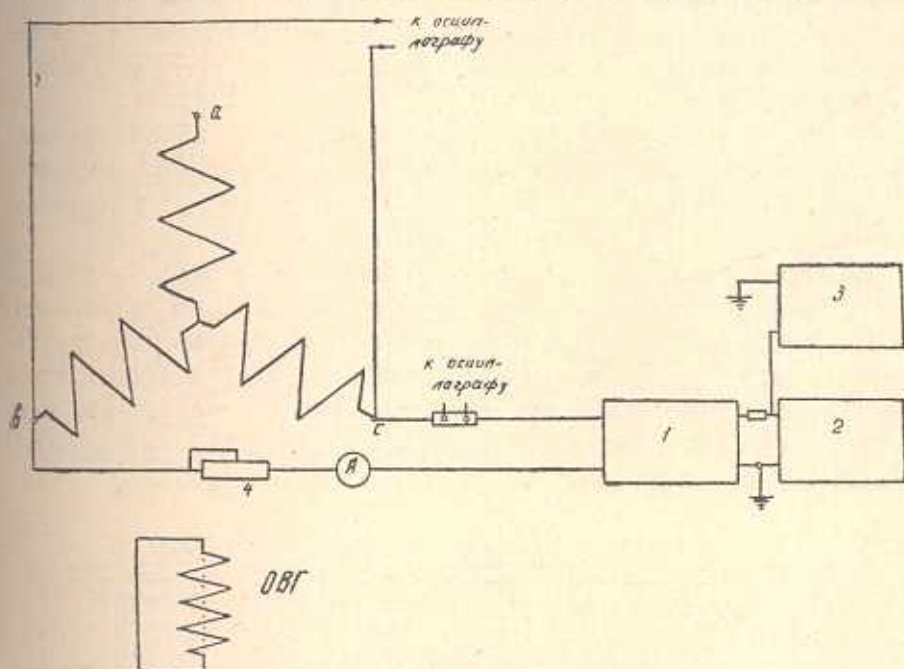


Рис. 1. Схема определения частотных характеристик методом вынужденных гармонических колебаний. 1 — транзисторный усилитель, 2 — НПК-3, 3 — НФ-3.

положение, чтобы его продольная (поперечная) ось совпадала с осью намагничивания машины. При такой схеме соединения обмоток синхронной машины между измеренным полным сопротивлением машины $Z_{изм}(js)$ и сопротивлением, определяемым формулой (1), существует связь

$$Z_{изм}(js) = \frac{1}{2} Z_{изм}(js). \quad (5)$$

В качестве датчиков синусоидальных напряжений использовались: в диапазоне частот от 0,038 до 100 гц — низкочастотный генератор периодических колебаний НПК-3, в диапазоне частот от 100 до 250 гц — генератор напряжений звуковых частот ЗГ-10. Частоты напряжений НПК-3 контролировались при помощи низкочастотного фазометра НФ-3. В качестве усилителя мощности был применен двухкаскадный транзисторный усилитель постоянного тока с выходной мощностью порядка 60 вт. В первой ступени усилителя были использованы транзисторы типа П201А, во второй — транзисторы П210А. Максимальный ток выхода транзисторного усилителя — 4 ампера. Для определения частотных характеристик крупных синхронных машин транзисторы

П210А могут быть заменены транзисторами типа П208, что повышает максимальный ток выхода до 10 а. К преимуществам транзисторного усилителя по сравнению с электромашинным следует отнести сохранение величины выходной мощности при повышении частоты входного напряжения, малое искажение формы кривых усиливаемых синусоидальных напряжений, компактность. Напряжение и ток в статорных обмотках синхронной машины записывались светолучевым осциллографом 9S0--1F2.

3. По приведенной методике были определены частотные характеристики синхронного генератора СГ-60/6 по осям d и q . Номинальные данные генератора $P_n = 55$ ква, $I_n = 79,5$ а, $U_n = 400$ в (базисное сопротивление $z_b = 2,91$ ома), $n_n = 1000$ об/мин.

Во время опытов по статорным обмоткам пропускался ток в 1 ампер (действующее значение). Этот ток поддерживался неизменным для всего диапазона частот. Обработка осциллограмм дает значения модуля и аргумента сопротивления $Z_{\text{зам}}(js)$. Результаты измерений на неподвижной машине представлены на рисунках 2, 3, на которых построены зависимости $X_{\text{вещ}} = I_m [Z_{\text{вещ}}(js)]$, $R_{\text{вещ}} = \text{Re} [Z_{\text{вещ}}(js)]$ от частоты f по осям d и q .

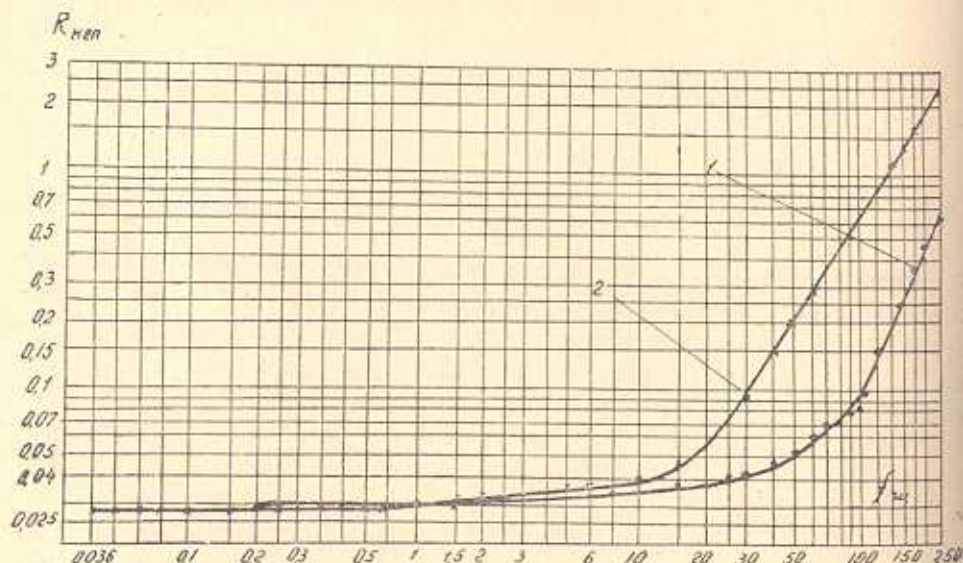


Рис. 2. Зависимость $R_{\text{вещ}}$ от частоты приложенных напряжений. 1 — ось d , 2 — ось q .

Переход от сопротивлений неподвижной машины к сопротивлениям вращающейся был произведен по формуле (3) с учетом соотношения (4). При расчете величины r_{50} потери p_{cu} определялись для значения r_0 , поскольку исследуемая машина имеет такую обмотку на статоре, для которой, как показали расчеты, эффект вытеснения при $f = 50$ гц пренебрежимо мал. На рис. 4 в логарифмических координатах даны зависимости $X_{\text{вр}}(s) = I_m [Z_{\text{вр}}(js)]$, $R_{\text{вр}}(s) = \text{Re} [Z_{\text{вр}}(js)]$ для осей d и q . Изображенные на рис. 4 зависимости $X_{\text{вр}}(s)$ для скольжения $s = 0$ соответствуют параметрам машины X_d и X_q , а для

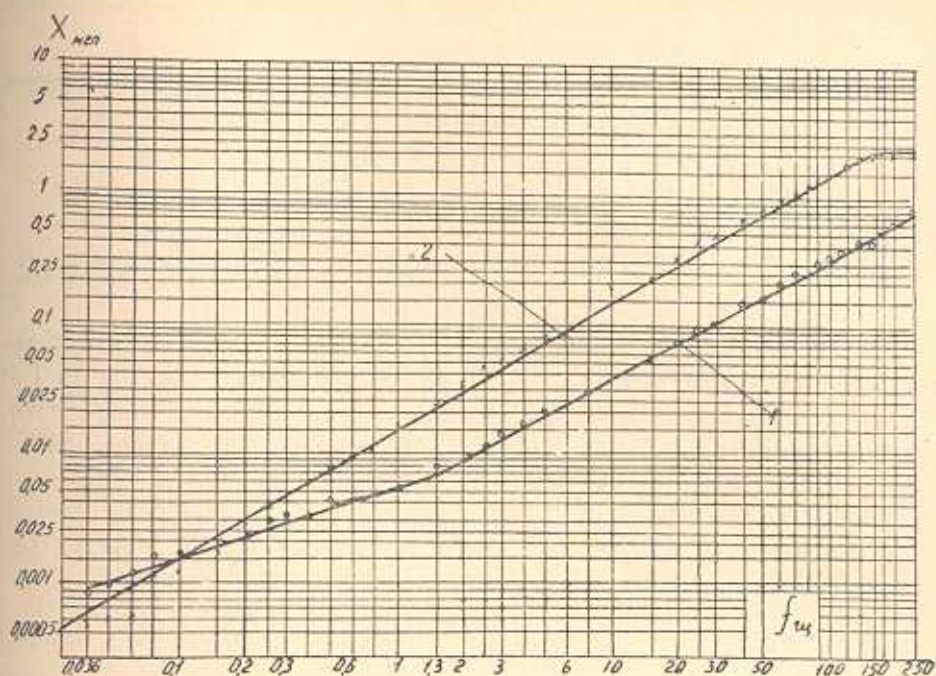


Рис. 3. Зависимость X_{mep} от частоты приложенных напряжений. 1—ось d , 2—ось q .

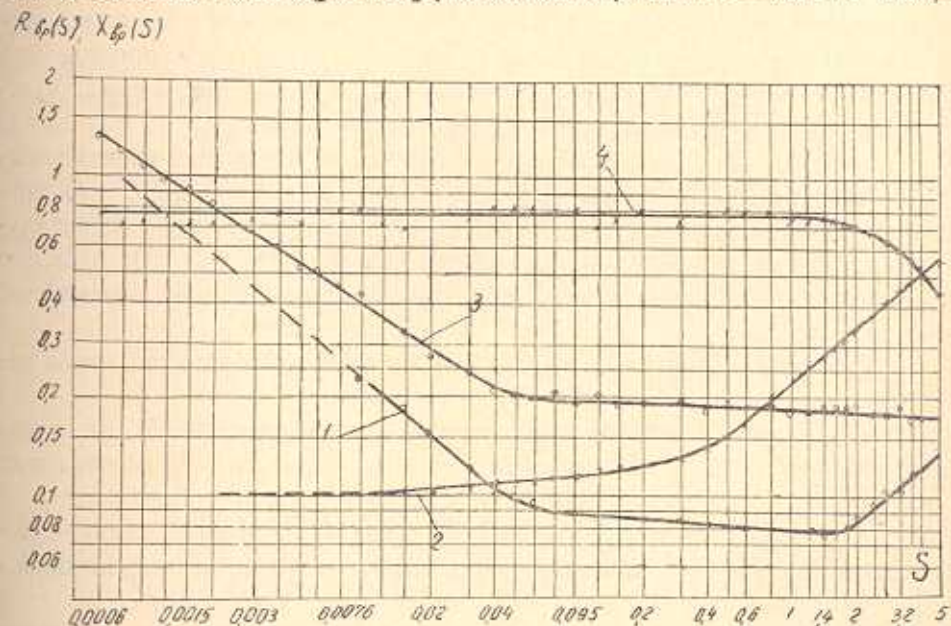


Рис. 4. Зависимости активных и индуктивных сопротивлений вращающейся машины по осям d и q от частоты скольжения. 1— $R_{ep}(s)$ по оси d , 2— $R_{ep}(s)$ по оси q , 3— $X_{ep}(s)$ по оси d , 4— $X_{ep}(s)$ по оси q .

$s=1$ параметрам X_d^* и X_q^* . Сравнение значений параметров X_d , X_q , X_d^* , X_q^* , определенных различными методами приведено ниже в таблице:

Метод определения параметра	x_d	x_d^*	x_q	x_q^*
Опыты холостого хода и короткого замыкания	1,41	—	—	—
Опыт скольжения	1,34	—	—	—
Опыт внезапного короткого замыкания	1,41	0,149	1,03	—
Опыт затухания постоянного тока в статоре	1,36	0,166	1,35	0,9
Опыт определения сверхпереходных реактансов при положении ротора по осям d, q	—	0,190	—	0,69
Метод вынужденных гармонических колебаний	1,33	0,185 (50 гц) 0,176 (250 гц)	0,76	0,76 (50 гц) 0,435 (250 гц)

Кривая 4 на рис. 4 показывает, что значение $X_{врq}(s)$ практически остается неизменным в диапазоне скольжений от 0 до 1,5; $X_{врд}(s)$ в диапазоне s от 0 до 0,05 уменьшается относительно резко, а далее уменьшается в незначительной степени. Характер кривых $R_{вр}(s)$ показывает, что активное сопротивление по оси d — $R_{врд}(s)$ в диапазоне скольжений 0—1,5 уменьшается, а затем имеет тенденцию к увеличению. Сопротивление же $R_{врq}(s)$ со скольжений порядка 0,01 начинает возрастать.

Выводы

1. Рассмотренный метод определения частотных характеристик синхронной машины при сложной аппаратуре должен обеспечить несложную обработку результатов измерений. Результаты проведенной работы показали, что для практического применения метод нуждается в существенной корректировке в отношении:

перехода от сопротивлений неподвижной машины к вращающейся в области малых скольжений. Из выражения (3) видно, что при малых скольжениях переход от $Z_{нел}(js)$ к $Z_{вр}(js)$ вносит значительные погрешности из-за соизмеримости величин $Re\{Z_{нел}(js)\}$ и r_s . Это подтвердилось в ходе обработки результатов опыта для скольжений менее 0,02;

уточнения формулы (4), особенно в области больших скольжений;

разработки методики учета потерь в стали машины и их влияния на частотные характеристики на основании экспериментальных данных.

2. С точки зрения применяемой аппаратуры перспективным является применения в качестве усилительного звена полупроводникового усилителя постоянного тока. Кроме того, целесообразен отказ от осциллографирования всех измеряемых величин за счет их непосредственного определения при помощи электронной аппаратуры инфранизкочастотного диапазона (частотомер НФ-3 для измерения сдвига между током и напряжением и контроля частоты, двойной пиковый вольтметр ДПВ-2 для измерения амплитуд токов и напряжений).

Վ. Ի. ՍԱՀԱԿՈՎ, Գ. Ս. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ, Ա. Յ. ԱԲ

ՀԱՐԿԱԳՐՎԱԾ ՀԱՐՄՈՆԻԿ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՄԵԹՈԳՈՎ ՍԻՆԽՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ
ՀԱՃԱԽԱԿԱՆԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՍԱՀՄԱՆՈՒՄԸ

Ա մ փ ն փ ն ի մ

Հոդվածում նկարագրվում է սինխրոն մեքենայի հաճախականական բնութագրերի սահմանման մեթոդիկան, որ օգտագործում է տրանզիստորային ուժեղարարը: Նկարագրվող մեթոդիկան թույլ է տալիս որոշել բնութագրեր հաճախականությունների լայն դիապազոնի համար: Մասնավորապես բերվում են ՍԳ—60/6 սինխրոն զենեքատորի հաճախականական բնութագրերը, որ սահմանված են 0,38—250 հերց հաճախականությունների դիապազոնի համար: Այդ մեքենայի պարամետրերը, որ որոշված են հաճախականական մեթոդներով, համեմատվում են կլասիկ մեթոդներով սահմանված համանման պարամետրերի հետ:

Արդյունքների վերլուծումը ցույց է տալիս տրանզիստորային ուժեղարարի օգտագործման նպատակահարմար լինելը: Ինչ վերաբերում է էքսպերիմենտալ ավյալների մշակմանը, այն պահանջում է մանրամասն ճշտում և հետազոտություն:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Соколов Н. И. и Киркин Б. И. Определение частотных характеристик синхронных машин. „Электричество“, № 1, 1962.
2. Казовский Е. Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. Изд. АН СССР, 1962.
3. Казовский Е. Я. и Рогозин Г. Г. Экспериментальное определение частотных характеристик турбогенераторов. „Электричество“, № 10, 1963.
4. Ледянкин Д. П. и Агеев О. И. Экспериментальное определение частотных характеристик синхронных машин. Известия ВУЗ „Энергетика“, № 6, 1964.
5. Sen S. K., Adkins B. The application of the frequency-response method to Electrical machines. Proc. JEE, Part. C. vol. 103, № 4, 1956.