

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

С. В. ГАНДИЛЯН

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
 СОВМЕЩЕННОЙ МАГНИТО-ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОЙ  
 СИСТЕМЫ

В работах [1, 2] на базе критического анализа физических процессов энергообмена, происходящих в индуктивных и емкостных электрических машинах, с точки зрения инверсно-сопряженной системы уравнения электродинамики и электромеханики была установлена возможность реализации совмещенной индуктивно-емкостной электрической машины, в одном рабочем объеме которой будут совмещены магнитоиндукционная (индуктивная) и электроиндукционная (емкостная) машины и соответственно в них при энергообменных процессах существенную роль будут играть как магнитное, так и электрическое потокоцепление.

С целью экспериментального исследования физических закономерностей процессов миграции энергии от ротора к статору в воздушном зазоре машины (в пространстве абсолютного вакуума) разработана конструкция совмещенной электрической машины как сложная электромеханическая система, состоящая из объединенных на одном валу синхронных магнитоиндукционных и электроиндукционных машин, между статорных и роторных электрических цепей которых имеется жесткая механическая связь и общий воздушный зазор.

Рассматриваемая совмещенная машина состоит из четырех контурных электрических цепей: две статорные трехфазные цепи ( $S$  — индуктивная,  $R$  — емкостная) и соответственно две роторные цепи возбуждения постоянного магнитного —  $F$  и электрического —  $P$  поля (рис. 1).

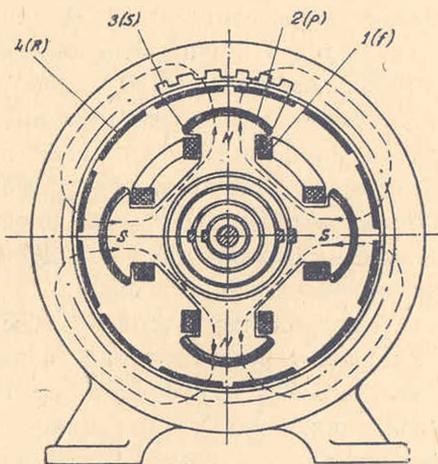


Рис. 1.

Возбуждение постоянного магнитного потока  $(\Phi = \int B ds)$  (в. с.)

магнитоиндукционной части осуществляется с помощью обмотки возбуждения  $f$ , питаемой постоянным током, а возбуждение постоянного электрического потока  $(Q^* = \int D^* ds^*)$  (а. с.) реализуется с помощью

дипольных электродов, питание которых осуществляется через специальные контактные кольца от источника постоянного высокого напряжения. При реализации конструкции совмещенной машины была обеспечена надежность работы двух подобластей машины (между индуктивными и емкостными фазными цепями на статоре и цепями возбуждения на роторе была осуществлена слойная изоляция в цилиндрической форме) [3].

Основной вывод, который можно сделать на основании результатов экспериментального исследования совмещенной машины, состоит в том, что если магнитоиндукционные и электроиндукционные подсистемы совмещенной машины не являются электрически связанными, то их совместная работа в генераторном режиме идентична к их независимым режимам. При этом закон магнитоэлектрической индукции  $\theta = -\frac{d\psi}{dt}$  и закон электромагнитной индукции  $\theta^* = -\frac{dQ^*}{dt}$ , которые в совмещенной машине действуют в одном рабочем объеме, в энергообменных процессах энергетически не взаимосвязаны. Это подтверждает реальность основных теоретических принципов инверсно-сопряженной трактовки электродинамики и электромеханики.

В машинах индуктивного типа, в условиях сверхпроводимости фазных обмоток статора  $R = 0$ , при замыкании контура энергообмен между ротором и статором невозможен вследствие поляризации магнитного потока возбуждения. В сверхпроводящих статорных обмотках возникает такой противодействующий поток (поток без тока), что взаимный поток магнитного поля равен нулю (силовые линии магнитного поля возбуждения обходят статорные обмотки). Для осуществления энергообмена необходимо в статорной цепи машины образовать  $C \neq 0$  или  $R \neq 0$  (нагрузка магнитоиндукционной подсистемы должен носить активно-емкостной характер).

Совершенно другой процесс происходит в емкостных генераторах. При размыкании статорной цепи машины (т. е. в условиях абсолютной изоляции  $R = \infty$ ) происходит поляризация электрического потока возбуждения. В емкостных машинах, фазные цепи которых образованы электродами, в разомкнутой статорной цепи возникает такой противодействующий электрический поток (поток реакции без напряжения), что взаимный поток сцепления электрического поля равен нулю. Для осуществления энергообмена необходимо в статорной цепи образовать  $L \neq 0$  или  $R \neq 0$  (нагрузка в электроиндукционных генераторах должна носить активно-индуктивный характер).

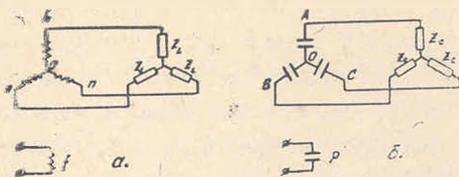


Рис. 2.

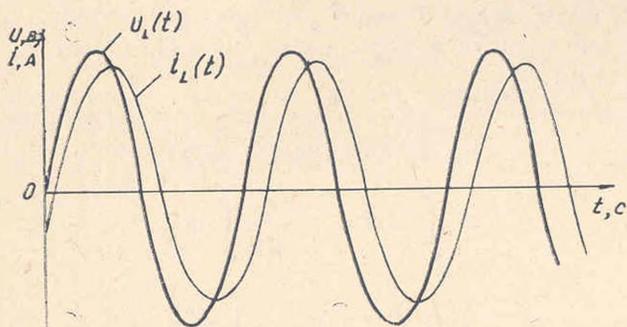


Рис. 3.

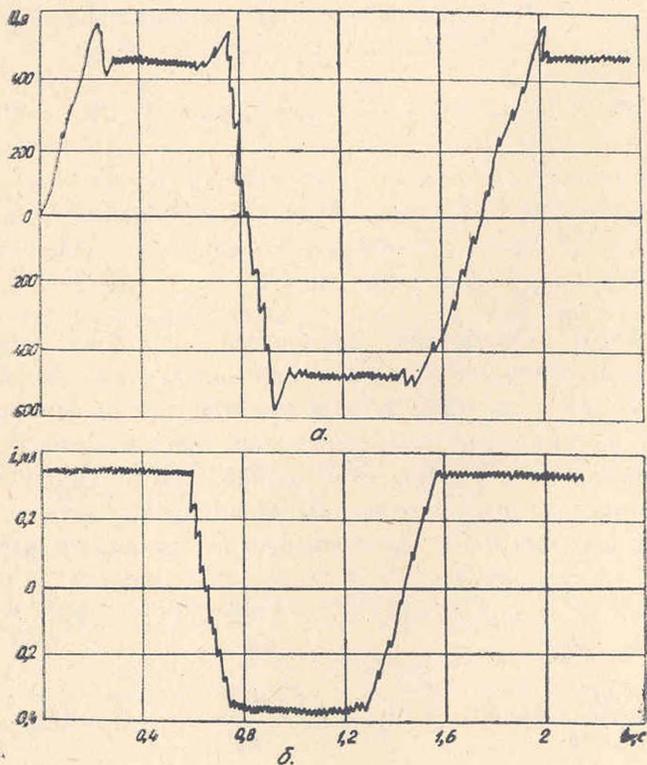


Рис. 4.

На рис. 3 и 4 приведены временные характеристики токов и напряжения для магнитоиндукционных и электроиндукционных подсистем совмещенной машины в генераторном режиме (соответственные схемы

на рис. 2). При этом нагрузка магнитоиндукционной части носит активно-индуктивный характер  $\cos\varphi = 0,8$ , а нагрузка электрониндукционной части — активный характер  $R = 1$  кОм. Из анализа полученных для электрониндукционной части осциллограмм напряжения и тока следует, что емкостные генераторы имеют малые рабочие токи, но обеспечивают высокое напряжение с малой постоянной времени ( $\tau_e \ll \tau_m$ ). Это позволяет использовать их без предварительных повышающих трансформаторов (в ускорительной технике, для зарядки конденсаторных накопителей энергии в различных процессах электронно-ионной технологии и т. п.).

Действие совмещенной машины описывается уравнениями инверсно-сопряженной системы электродинамики и электромеханики:

$$\theta = \oint E dt = - \frac{d}{dt} \int B ds; \quad (1)$$

$$i = \oint H dl = \int j ds + \int \frac{\partial D}{\partial t} ds; \quad (2)$$

$$i^* = \oint H^* dl^* = - \frac{d}{dt'} \int D^* ds^*; \quad (3)$$

$$v = \oint E^* dl^* = \int a ds^* + \int \frac{\partial B^*}{\partial t'}; \quad \int D ds = \int \rho_e d\Omega, \quad \text{div } B = 0;$$

$$\int B^* ds^* = \int \rho_m d\Omega; \quad D = \text{rot } k;$$

$$\text{div } D = \rho_e; \quad B = \text{rot } A; \quad \text{div } B^* = \rho_m; \quad \text{div } D^* = 0. \quad (4)$$

В работе [5] разработана аналитическая теория электрониндукционных машин переменного тока с использованием общей методологии, принятой при исследовании индуктивных машин переменного тока (синхронный электромагнитный генератор представляется уравнениями электрических цепей). При этом полной модели синхронной совмещенной машины относительно системы координатных осей  $d, q, 0$ , жестко связанных с ротором  $FP$ , соответствует следующая система:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_0}{dt} + J_0 R = U_0; & \quad \frac{dQ_0^*}{dt'} + V_0 G = J_0; \\ - \frac{d\Psi_f}{dt} + J_f R_f = U_f; & \quad \frac{dQ_f^*}{dt'} + V_f G_f = J_f; \\ - \frac{d\Psi_d}{dt} - \omega \Psi_q - J_d R = U_d; & \quad - \frac{dQ_d^*}{dt'} - \omega Q_q^* - V_d G = J_d; \\ - \frac{d\Psi_q}{dt} + \omega \Psi_d - J_q R = U_q; & \quad - \frac{dQ_q^*}{dt'} - \omega Q_d^* - V_q G = J_q. \end{aligned} \quad (5)$$

Эти уравнения следует дополнить уравнением движения ротора

$$M_b = (T_e + T_m) \frac{d^2\gamma}{dt^2} + k \frac{d\gamma}{dt} + (V_d Q_q^* - Q_q^* V_q) + (J_d \Psi_q - \Psi_d J_q),$$

где  $\gamma = \int_0^t \omega dt$  — определяет положение ротора относительно статора.

Совмещенная машина после доработки и усовершенствования ее конструкции, которое во многом зависит от создания материалов, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами в электрических полях большой напряженности и, одновременно, ферромагнитными свойствами в магнитных полях также большой напряженности, и освоения технологии изготовления найдет широкое применение в различных отраслях техники.

ИРФЭ АН АрмССР

24. IV. 1986

#### Ս. Վ. ՂԱՆԻՔՅԱՆ

### ՀԱՄԱՏՏԵՂՎԱԾ ՄԱԳՆԻՍԱՌԻՆՍԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԻՆՍՄԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

#### Ս. մ փ ո փ ա ռ մ

Էներգափոխանակման պրոցեսների ֆիզիկական օրինաչափությունների առանձնատիրման համար մշակված է կոնստրուկցիա և համապատասխան տեսության հիմունքներ՝ համատեղված մագնիսատունակային էլեկտրական մեքենայի համար:

Բերված են փորձնական հետազոտման արդյունքները:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Иосифьян А. Г. О принципах теоретической электромеханики.— ДАН АрмССР, 1970, т. 11, № 4, с. 33—43.
2. Иосифьян А. Г. О принципах энергообмена в электромагнитном осцилляторе.— ДАН АрмССР, 1978, т. 57, № 4, с. 83—93.
3. Иосифьян А. Г. Вопросы электромеханики.— М.: Энергия, 1974.— 226 с.
4. Латан Р. В. Вакуумная изоляция установок высокого напряжения.— М.: Энергия, 1985.— 185 с.
5. Иосифьян А. Г., Арешян Г. Л. Основы теории синхронных емкостных машин переменного тока.— ДАН АрмССР, 1981, т. 73, № 1, с. 103—110.
6. Бессонов А. А. Линейные электрические цепи.— М.: Высшая школа, 1983.— 333 с.