

К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОЩНОСТИ

Г. А. СИПАЙЛОВ и Е. В. КОНОНЕНКО

(Представлено научным семинаром электромеханического факультета)

Как уже отмечалось [4], существенным недостатком методики изложения курса электрических машин является то, что машины различных видов рассматриваются изолированно. В результате иногда в одни и те же понятия при рассмотрении различного вида машин вкладывают различное содержание. Такое несоответствие имеет место прежде всего в вопросе об электромагнитной мощности.

Обычно определяют электромагнитную мощность как мощность, которая передается вращающимся магнитным полем от статора к ротору или наоборот [1; 2; 3], однако аналитические выражения электромагнитной мощности не всегда соответствуют этому определению.

Например, для синхронного двигателя электромагнитная мощность P_M равна [2]:

$$P_M = P_1 - p_{M1}, \quad (1)$$

а для асинхронного двигателя [2]:

$$P_M = P_1 - p_{M1} - p_{c1}, \quad (2)$$

где P_1 — подводимая к двигателю электрическая мощность,

p_{M1} — потери в меди статора,

p_{c1} — потери в стали статора.

Из энергетической диаграммы [1] электромагнитная мощность синхронного двигателя равна:

$$P_M = P_1 - p_{M1} - p_{c1} - p^1_g, \quad (3)$$

где p^1_g — добавочные потери, зависящие от полей рассеяния основной частоты и т. д. Такая же картина наблюдается и в генераторах.

В результате у учащегося не создается ясного представления о сущности электромагнитной мощности: по одним уравнениям (2, 3) — это мощность, передаваемая от статора к ротору, по другим уравнениям (1) — это мощность, равная той части подведенной к двигателю электрической мощности, которая преобразуется в мощность потока электромагнитной энергии и которая отличается от мощности, передаваемой через воздушный зазор на величину потерь в стали статора.

Чтобы получить единое представление в вопросе об электромагнитной мощности для всех видов электрических машин при анализе энергетических соотношений, можно использовать векторные диаграммы.

Например, для асинхронного двигателя, векторная диаграмма которого представлена на фиг. 1, мощность, подводимая к обмотке статора от сети, равна:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1. \quad (4)$$

Из векторной диаграммы (фиг. 1)

$$U_1 \cos \varphi_1 = E_1 \cos \psi_1 + I_1 r_1,$$

тогда

$$P_1 = m_1 E_1 I_1 \cos \psi_1 + m_1 I_1^2 r_1. \quad (5)$$

Как известно, подведенная к двигателю электрическая мощность частично расходуется на покрытие потерь в меди статора $p_{M1} = m_1 I_1^2 r_1$, а остальная часть преобразуется в мощность потока электромагнитной энергии P_ψ .

Из уравнения (5)

$$P_\psi = m_1 E_1 I_1 \cos \psi_1. \quad (6)$$

Часть мощности вращающегося потока P_ψ расходуется на покрытие потерь в стали статора p_{c1} и остальная часть мощности P_{12} передается электромагнитным путем через воздушный зазор.

$$P_\psi = P_{12} + p_{c1}. \quad (7)$$

Величину потерь в стали можно выразить аналитически через активную составляющую тока идеального холостого хода асинхронного двигателя.

Из векторной диаграммы (фиг. 1).

$$I_1 \cos \psi_1 = I_0 \sin \alpha + I_2 \cos \psi_2,$$

тогда

$$P_\psi = m_1 E_1 I_2 \cos \psi_2 + m_1 E_1 I_0 \sin \alpha, \quad (7a)$$

где

$$p_{c1} = m_1 E_1 I_0 \sin \alpha,$$

$$P_{12} = m_1 E_1 I_2 \cos \psi_2. \quad (8)$$

Переданная через воздушный зазор мощность P_{12} за вычетом потерь в меди p_{M2} и стали p_{c2} ротора преобразуется в полную механическую мощность двигателя, которая меньше полезной мощности на валу двигателя на величину механических и добавочных потерь.

В соответствии с этим на фиг. 2 представлена энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.

Аналогично могут быть получены энергетические соотношения для асинхронного генератора (фиг. 2б),

где P_2 — подводимая к генератору механическая мощность,

P_1 — отдаваемая электрическая мощность.

Таким образом, соотношения между мощностью P_ψ и электрической мощностью P_1 в асинхронных машинах будут:

$$\text{для двигателей } P_\psi = P_1 - p_{M1},$$

$$\text{для генераторов } P_\psi = P_1 + p_{M1}. \quad (9)$$

Соотношения (9) лежат в основе определения электромагнитной мощности синхронных машин [2].

Действительно, для синхронного генератора

$$P_\psi = P_1 + p_{M1} = m_1 U_1 I_1 \cos \psi + m_1 I_1^2 r_1 = m_1 I_1 (U_1 \cos \psi + I_1 r_1),$$

из векторной диаграммы (фиг. 3.)

$$U_1 \cos \psi + I_1 r_1 = E_1 \cos \psi_1$$

и

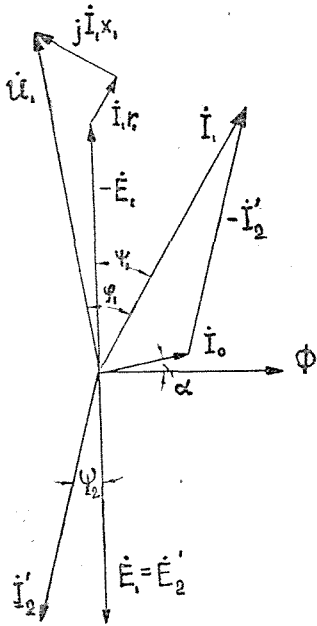
$$P_\psi = m_1 E_1 I_1 \cos \psi_1. \quad (10)$$

Так как для неявнополюсной машины без учета насыщения справедливо равенство

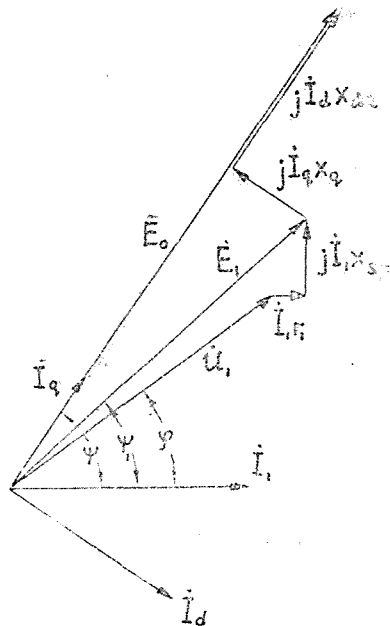
$$E_1 \cos \psi_1 = E_0 \cos \psi,$$

то

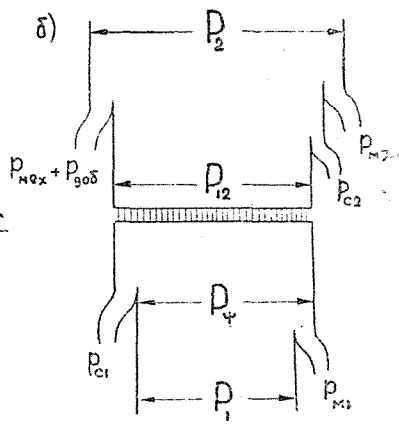
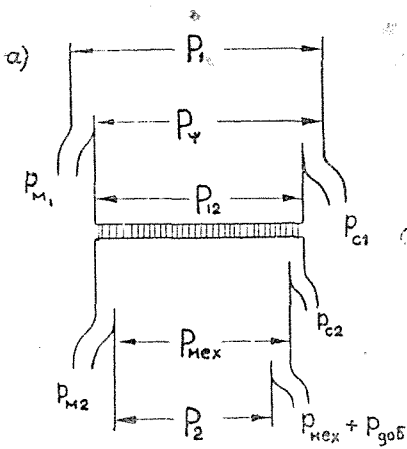
$$P_\psi = m_1 E_0 I_1 \cos \psi. \quad (10a)$$



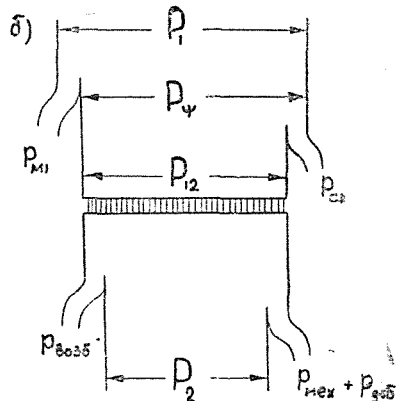
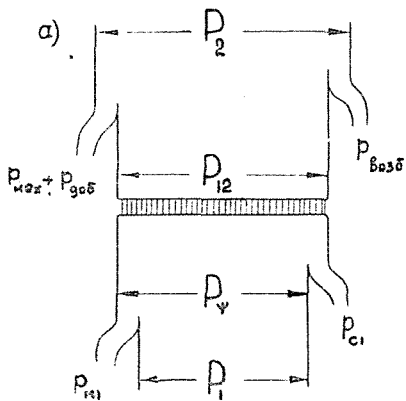
Фиг. 1.



Фиг. 3.



Фиг. 2.



Фиг. 4.

Аналогично для синхронного двигателя

$$P_{\psi} = P_1 - p_{\text{м1}} = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi - m_1 I_1^2 r_1 = m_1 E_1 I_1 \cos \psi_1. \quad (10б)$$

Энергетические диаграммы для синхронных машин представлены на фиг. 4 (а—для генератора, б—для двигателя).

Выводы. 1. Если считать P_{ψ} электромагнитной мощностью, то для нее можно дать следующее определение.

Электромагнитной мощностью P_{ψ} называется та часть электрической мощности, которая преобразуется в мощность потока электромагнитной энергии (для двигателей), или та часть мощности потока электромагнитной энергии, которая преобразуется в электрическую мощность (для генераторов). Эта мощность отличается от мощности, передаваемой через воздушный зазор на величину потерь в стали статора, причем для двигателей

$$\begin{aligned} P_{\psi} &= P_{12} + p_{c1}, \\ \text{для генераторов} \quad P_{\psi} &= P_{12} - p_{c1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для всех электрических машин, в том числе и для машин постоянного тока, общая формула для определения P_{ψ} имеет вид:

$$P_{\psi} = m_1 E_1 I_1 \cos (\overset{\wedge}{E_1 I_1}). \quad (12)$$

2. Если сохранить удобное и привычное для асинхронных машин наименование электромагнитной мощности, как мощности, передаваемой через воздушный зазор P_{12} , то мощности P_{ψ} как в асинхронных, так и синхронных машинах следует дать другое название, например, внутренней мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костенко М. П. Электрические машины, часть общая. ГЭИ, 1944.
2. Пиотровский Л. М. Электрические машины. ГЭИ, 1949.
3. Петров Г. Н. Электрические машины, часть 1. ГЭИ, 1940, часть II, ГЭИ, 1947.
4. Столов Л. И. О некоторых вопросах методики изложения курса „Электрические машины“. Электричество, II, 1952.