

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ ПУТЕМ

А.В. Романов, e-mail: andr-romanov@narod.ru

Воронежский государственный технический университет

В статье рассматриваются следующие вопросы: необходимость аналитического определения параметров электродвигателей по номинальным данным; вероятность и величина ошибок при подобных расчетах на примере определения сопротивления якоря для двигателей постоянного тока, а также пример реализации подобной функциональности для информационных объектов.

RESTORATION OF PARAMETERS OF ELECTRIC MOTORS BY THE ANALYTICAL WAY

The Voronezh state technical university

In article following questions are considered: necessity of analytical definition of parameters of electric motors on ratings; probability and size of errors at similar calculations on an example of definition of resistance of an anchor for direct current engines, and also an example of realisation of similar functionality for information objects.

При проектировании электроприводов необходимы параметры электродвигателей (ЭД), например, индуктивные и активные сопротивления роторной и статорной обмоток. В справочной научно-технической литературе, как печатной, так и электронной, эти данные могут отсутствовать, особенно для современных серий электродвигателей. Конечно, для конкретного ЭД их можно определить экспериментально. Современные преобразователи, например, «умеют» определить параметры конкретного ЭД и подстроить свою работу под них. Но на стадии предварительных расчетов, когда еще нет конкретного оборудования, технические параметры объектов необходимы для корректного сравнения альтернативных вариантов реализации системы электропривода (ЭП) по технико-экономическим, энергетическим и другим возможным критериям.

В практике проектирования при отсутствии параметров ЭД используют известные аналогичные данные для другого двигателя, близкого по мощности и частоте вращения. Но едва ли подобный подход корректен. Другим вариантом является аналитический расчет (оценка

значений, восстановление параметров), исходя из известных данных, поскольку паспортные данные двигателя, как правило, доступны.

Конечно, аналитический расчет параметров может быть осуществлен с различной степенью точности. Например, для определения активного сопротивления якоря $R_{\text{я}}$ в двигателе постоянного тока известны, по крайней мере, две формулы. Первая основана на предположении, что половина номинальных потерь – это потери в меди обмотки якоря ($0,5 \cdot \Delta P_{\text{н}} \approx I_{\text{н}}^2 \cdot R_{\text{я}}$) [1]. Численно $R_{\text{я}}$ определяется через номинальные параметры (напряжение $U_{\text{н}}$, ток $I_{\text{н}}$, КПД $\eta_{\text{н}}$) следующим образом:

$$R_{\text{я}} \approx \frac{0,5 \cdot \Delta P_{\text{н}}}{I_{\text{н}}^2} = 0,5 \cdot \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} \cdot (1 - \eta_{\text{н}}) . \quad (1)$$

Вторая формула [2] основана практически на аналогичном допущении равенства постоянных и переменных потерь в номинальном режиме и численно значение $R_{\text{я}}$ определяется также через номинальные параметры (только вместо КПД используется номинальная мощность $P_{\text{н}}$) по формуле:

$$R_{\text{я}} \approx \frac{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} - P_{\text{н}}}{I_{\text{н}}^2} . \quad (2)$$

В табл. 1 (по формуле (1)) и табл. 2 (по формуле (2)) приведены данные расчетов $R_{\text{я}}$ для некоторых электродвигателей постоянного тока с известным значением сопротивления якоря [3], что позволяет оценить ошибку δ , %, аналитического расчета $R_{\text{я}}$ по номинальным данным. Приведенная в таблицах ошибка оценивалась по формуле:

$$\delta = \left(\frac{R'_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} - 1 \right) \cdot 100\% , \quad (3)$$

где $R'_{\text{я}}$ – значение, вычисленное по формулам (1) или (2).

Как видно из приведенных данных, полученные результаты неоднозначны, а ошибка определения $R_{\text{я}}$ варьируется от единиц до сотен процентов. На первый взгляд меньшие величины ошибок характерны для ЭД меньшей мощности. Также необходимо учесть, что истинные значения $R_{\text{я}}$, приведенные в табл. 1 и табл. 2, определены при температуре окружающей среды 15 °С, а значения, рассчитанные по формулам (1) и (2), будут определять $R_{\text{я}}$, приведенное к рабочей температуре. В связи с этим, кстати, следует обратить внимание на отрицательные значения ошибок, поскольку при расчете энергетики, например, будут получены заниженные данные.

Выводом из вышесказанного является необходимость специального исследования для каждой формулы, планируемой для аналитического восстановления параметров, и, возможно, коррекция ее эмпирическим коэффициентом, так как ошибка в сотни процентов едва ли является приемлемой.

Таблица 1

Тип ЭД	U_n	I_n	P_n	η_n	$R_{я, \text{ист}}$	$R_{я, \text{ф.1}}$	$\delta_{\text{ф.1}}, \%$
2ПБ-112LY4	220	16,9	3200	0,825	0,385	1,139	195,86
DK1-1,7-100AT	36	8	180	0,655	0,75	0,776	3,5
DK1-5,2-100AT	110	6,5	540	0,755	2,1	2,073	-1,28
2ПФ-200LY4	440	135	55000	0,91	0,031	0,147	373,12
2ПН-90MY4	220	5,85	1000	0,72	2,52	5,265	108,93

Таблица 2

Тип ЭД	U_n	I_n	P_n	η_n	$R_{я, \text{ист}}$	$R_{я, \text{ф.2}}$	$\delta_{\text{ф.2}}, \%$
2ПБ-112LY4	220	16,9	3200	0,825	0,385	0,907	135,54
DK1-1,7-100AT	36	8	180	0,655	0,75	0,844	12,5
DK1-5,2-100AT	110	6,5	540	0,755	2,1	2,071	-1,38
2ПФ-200LY4	440	135	55000	0,91	0,031	0,121	289,4
2ПН-90MY4	220	5,85	1000	0,72	2,52	4,193	66,39

Если бы обозначенная задача аналитического восстановления параметров по номинальным данным решалась только в рамках ручного проектирования, то ей не стоило бы уделять столько внимания, так как проектировщик, как правило, в состоянии скорректировать полученные при ручном расчете значения. Важность данной задачи становится очевидной при использовании программных средств, автоматизирующих процесс проектирования. В них легко может быть реализована вышеуказанная задача восстановления параметров ЭД (и не только ЭД) аналитическим путем. При этом проектировщику (или человеку,

контролирующему адекватность расчетов) становится доступна информация: реальные ли это параметры или восстановленные. Кроме этого возможен контроль целостности данных при случайных ошибках ввода ($I_n = 20$ А вместо 200 и т.п.).

Программная реализация задачи восстановления параметров аналитическим путем может быть реализована с помощью методов объектно-ориентированного программирования. Поскольку в информационных программах и системах автоматизированного проектирования параметры ЭД – это массив данных, то, добавив к нему методы аналитического расчета параметров, получим информационный объект, способный при необходимости самостоятельно определять недостающие параметры.

Например, на языке высокого уровня Object Pascal определение подобного информационного объекта на уже рассмотренном примере с определением $R_{\text{я}}$ для электродвигателей постоянного тока может выглядеть следующим образом.

```
TDPT = class
private // закрытые свойства
  fRa:real; // поле для хранения сопротивления якоря
  // флаг, определяющий необходимость аналит. расчета Ra
  fFlagRa:boolean;
  ... // определения других полей
  function ReadRa: real; // чтение Ra
  procedure WriteRa(const Value: real); // запись Ra
  ... // определения других процедур и функций
public //общедоступные свойства
  property Ra : real read ReadRa write WriteRa; // сопротивление якоря
  property FlagRa:boolean read fFlagRa; // флаг сопротивления якоря
  ... // определения других свойств
end;
```

В данном фрагменте свойство Ra (сопротивление якоря) хранится в поле fRa, имеет вещественный тип и доступно через методы чтения (function ReadRa) и записи (procedure WriteRa). Свойство FlagRa, определяющее необходимость аналитического расчета сопротивления якоря, доступно только для чтения. По нему можно определить – имеет ли проектировщик дело с реальным значением $R_{\text{я}}$ (FlagRa=true) или этот параметр рассчитывается по известным паспортным данным.

Процедура присвоения значения полю Ra может быть реализована следующим образом.

```

procedure WriteRa(const Value: real); // запись Ra
begin
  fRa:= Value;
  fFlagRa:=true;
end;

```

То есть при прямом присвоении значения полю Ra, что эквивалентно известному действительному значению R_a , флаг FlagRa устанавливается в «true».

Функция чтения Ra может быть реализована следующим кодом.

```

function ReadRa: real; // чтение Ra
begin
  if FlagRa then Result:= fRa
    else Result:= (Un*In-Pn)/(In*In);
end;

```

То есть при известном истинном значении R_a , проектировщик использует именно его, при неизвестном – информационный объект вычисляет данный параметр. В приведенном примере используется формула (2).

Аналогичным образом можно реализовать аналитическое восстановление других необходимых параметров как для электродвигателей различных типов, так и для любых других объектов, встречающихся в практике проектирования электроприводов.

Литература

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. / Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко. М.: Энергоатомиздат. 1992. 544 с.
2. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие по типовым расчетам для студентов заочного обучения спец. 180400. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. 85 с.
3. Романов А.В. База технической информации для автоматизированного проектирования электроприводов / А.В. Романов, А.В. Черноусов. М.: Национальный информационный фонд неопубликованных документов ФГУП «Всероссийский научно-технический информационный центр». 2009. № 50200900469 от 28.05.2009.