

## Расчет характеристик двигателей постоянного тока со смешанным возбуждением по каталожным данным

ГРИДИН В.М.

С использованием только каталожных данных предложены алгоритмы несложных расчетов характеристик двигателей постоянного тока (ДПТ) со смешанным возбуждением для различных условий их работы. Предложена зависимость относительного результирующего по МДС тока  $i_{\text{в}}$  двух обмоток возбуждения (ОВ) от напряжения на параллельной ОВ и от тока в последовательной ОВ, а также зависимости относительного значения магнитного потока от относительного значения тока  $i_{\text{в}}$  и якорного тока. Для определения ключевых характеристик (частоты вращения вала двигателя и якорного тока) предложена система двух уравнений с двумя искомыми неизвестными. Для случая, когда значение частоты вращения известно, предложены выражения для напряжения на параллельной ОВ или тока в последовательной ОВ, которые обеспечивают известную скорость. Приведены примеры расчета характеристик ДПТ по каталожным данным и предложен способ определения отношения МДС параллельной ОВ к сумме МДС обеих ОВ.

Ключевые слова: двигатели постоянного тока, смешанное возбуждение, алгоритмы расчета характеристик, каталожные данные

В известной автору научной литературе не приводятся алгоритмы расчёта только по каталожным данным характеристик двигателей постоянного тока (ДПТ) со смешанным возбуждением; такие расчеты необходимы при выборе и эксплуатации двигателей [1–3]. При расчете для ЭДС и электромагнитного момента не учитываются каталожные данные, а используются значения числа параллельных ветвей якорной обмотки, проводников обмотки в каждой ветви, а также главных полюсов и их магнитного потока. Однако значения этих величин не известны тем, кто выбирает и применяет двигатели. Выражение для механической характеристики получено при допущении о равенстве момента нагрузки на валу электромагнитному моменту, т.е. при пренебрежении неэлектрическими потерями, которые соизмеримы с электрическими. Указанные выражения используются при исследовании и проектировании ДПТ, но не позволяют рассчитывать характеристики реальных, например серийных, ДПТ.

Цель настоящей работы – получение алгоритмов расчета характеристик ДПТ со смешанным возбуждением для различных условий их работы без применения итерационных процедур, с использованием только каталожных данных.

Условия работы ДПТ характеризуются значениями напряжения питания  $U_{\text{п}}$ , момента нагрузки на валу  $M$ , а также напряжения  $U_{\text{вш}}$  на параллельной (шунтовой) ОВ и тока  $I_{\text{вс}}$  в последовательной (серийной) ОВ.

На рис. 1 изображена электрическая схема ДПТ со смешанным возбуждением.

Показаны три обмотки: шунтовая ОВ, серийная ОВ и обмотка дополнительных полюсов (ОДП). В якорной обмотке при действии ЭДС  $E$  протекает ток  $I_{\text{я}}$ . Потенциометр с сопротивлением  $R_1$  необходим для уменьшения тока  $I_{\text{вш}}$  в шунтовой ОВ с целью обеспечения необходимой частоты вращения вала двигателя. Ключ  $K$  и потенциометр с сопротивлением  $R_2$  необходимы для уменьшения

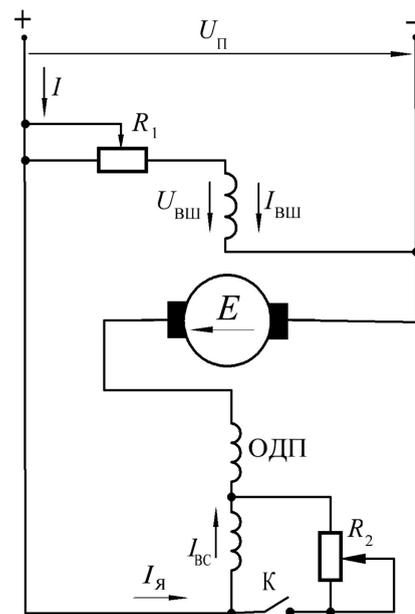


Рис. 1. Электрическая схема ДПТ со смешанным возбуждением

тока  $I_{\text{BC}}$  в серийной ОВ с той же целью. Если  $R_{\text{ВШ}}$  и  $R_{\text{BC}}$  – сопротивления шунтовой и серийной ОВ, то

$$U_{\text{ВШ}} = U_{\text{П}} R_{\text{ВШ}} / (R_{\text{ВШ}} + R_1);$$

$$I_{\text{ВШ}} = U_{\text{ВШ}} / R_{\text{ВШ}};$$

$$I_{\text{BC}} = I_{\text{Я}} R_2 / (R_{\text{BC}} + R_2).$$

Сопротивление серийной ОВ значительно меньше суммы сопротивлений якорной обмотки и обмотки дополнительных полюсов [1]. Поэтому сопротивление  $R_2$  влияет на сопротивление якорной цепи и на якорный ток незначительно и таким влиянием можно пренебречь.

Для расчета характеристик ДПТ, кроме каталожных данных и значений  $U_{\text{П}}$  и  $M$ , необходимо знать и использовать выражение для относительного результирующего по МДС тока двух ОВ или просто относительного значения тока возбуждения  $i_{\text{В}}$  в виде функции от напряжения на параллельной ОВ и от тока в последовательной ОВ. Такое выражение можно получить, используя отношение МДС одной из ОВ к МДС другой ОВ или к сумме МДС обеих ОВ, которые действуют согласно, т.е. создают однопольные магнитные потоки [2].

Будем использовать отношение  $f$  МДС параллельной ОВ к сумме МДС обеих ОВ при номинальном режиме работы ДПТ, т.е. при номинальных значениях напряжения питания  $U_{\text{ПН}}$ , якорного тока  $I_{\text{ЯН}}$  и равенствах  $U_{\text{ВШ}} = U_{\text{ПН}}$  и  $I_{\text{BC}} = I_{\text{ЯН}}$ . При этом можно вывести следующее выражение для относительного тока возбуждения:

$$i_{\text{В}} = f \frac{U_{\text{П}}}{U_{\text{ПН}}} + (1-f) \frac{I_{\text{Я}}}{I_{\text{ЯН}}}. \quad (1)$$

В частности, для ДПТ с параллельным возбуждением  $f=1$ ,  $i_{\text{В}} = U_{\text{П}} / U_{\text{ПН}}$ , а для ДПТ с последовательным возбуждением  $f=0$ ,  $i_{\text{В}} = I_{\text{Я}} / I_{\text{ЯН}}$ .

Если же использовать отношение  $d$  МДС последовательной ОВ к МДС параллельной ОВ, то можно вывести выражение:

$$i_{\text{В}} = \left( \frac{U_{\text{П}}}{U_{\text{ПН}}} + d \frac{I_{\text{Я}}}{I_{\text{ЯН}}} \right) / (1+d);$$

нетрудно установить, что  $f=1/(1+d)$ .

Если значения напряжений  $U_{\text{ВШ}}$  и  $U_{\text{П}}$  различны, например, при обеспечении заданной частоты вращения вала, то в формулах для относительного значения тока возбуждения  $i_{\text{В}}$  следует заменить  $U_{\text{П}}$  на  $U_{\text{ВШ}}$ . Если различны значения токов  $I_{\text{BC}}$  и  $I_{\text{Я}}$ , то в этих формулах следует заменить  $I_{\text{Я}}$  на  $I_{\text{BC}}$ .

Значение МДС последовательной ОВ может быть меньше или больше МДС параллельной ОВ.

Поэтому двигатели будем соответственно называть: ДПТ с параллельно-последовательным и ДПТ с последовательно-параллельным возбуждением.

Для ДПТ с параллельно-последовательным возбуждением вспомогательная последовательная (стабилизирующая) ОВ предназначена для небольшого увеличения крутизны механической характеристики ДПТ с целью обеспечения более устойчивой его работы. Согласно [2] отношение  $d$  составляет до 0,1. Например, при  $d=0,05$  значение  $f=0,95$ , а при  $d=0,1$  –  $f=0,91$ . Поэтому значение  $f$  близко к единице; если же неизвестны значения  $f$  или  $d$ , то можно считать  $f \approx 0,91 \div 0,95$ .

Для ДПТ с последовательно-параллельным возбуждением вспомогательная параллельная ОВ предназначена для ограничения частоты вращения вала при отсутствии нагрузки и при небольшом ее значении. Отношение  $d$  значительно больше единицы и согласно [2] в зависимости от назначения двигателя может меняться в широких пределах. Например, при  $d=4$  значение  $f=0,2$ , а при  $d=8$  –  $f=0,11$ . Поэтому значение  $f$  намного меньше единицы, если же неизвестны значения  $f$  или  $d$ , то можно считать  $f \approx 0,1 \div 0,2$ .

Значение  $f$  можно определить по результатам испытаний серийного ДПТ (см. П р и л о ж е н и е).

Необходимо также знать и использовать среднюю относительную характеристику (кривую) намагничивания магнитопровода якоря – зависимость относительного значения магнитного потока  $\phi$  от относительного значения тока возбуждения  $i_{\text{В}}$ . Здесь  $\phi = \Phi / \Phi_{\text{Н}}$ ,  $\Phi$  – магнитный поток в якоре;  $\Phi_{\text{Н}}$  – номинальный магнитный поток в якоре, при котором насыщение магнитопровода якоря оптимально с точки зрения значений магнитного потока и потерь мощности на возбуждение (чем больше магнитный поток  $\Phi_{\text{Н}}$ , тем больше и потери мощности на возбуждение).

Например, в [3–4] характеристика намагничивания приведена в графическом или табличном виде. На рис. 2 изображен график относительной характеристики намагничивания, приведенный в [4].

Номинальному режиму работы ДПТ должна соответствовать точка  $H$  с координатами  $i_{\text{В}}=1$  и  $\phi=1$  или близкая к ней точка. Согласно [2] точка  $H$  должна находиться несколько выше середины колена характеристики намагничивания.

Относительную характеристику намагничивания  $\phi(i_{\text{В}})$  в графическом или табличном виде аппроксимируем параболой по трем точкам  $A$ ,  $H$ , и  $D$  с координатами  $i_{\text{А}}$  и  $\phi_{\text{А}}$ , 1 и 1,  $i_{\text{D}}$  и  $\phi_{\text{D}}$  (рис. 2):

$$\phi = -\alpha i_{\text{В}}^2 + \beta i_{\text{В}} + \gamma. \quad (2)$$

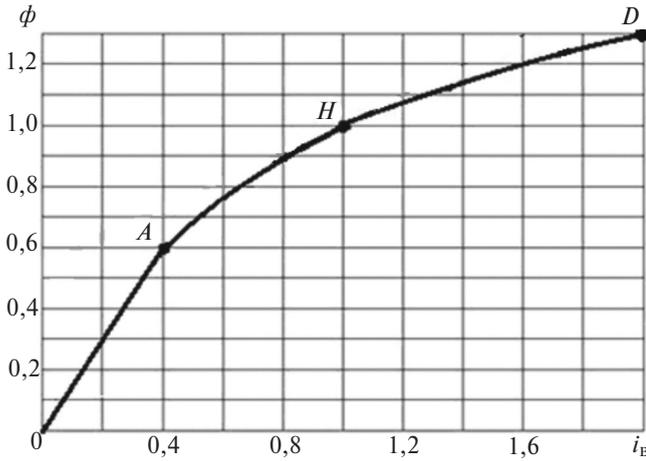


Рис. 2. Относительная характеристика намагничивания

Выражения для коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ , и  $\gamma$  найдем, решив систему трех уравнений:

$$\begin{aligned} \phi_A &= -\alpha i_A^2 + \beta i_A + \gamma; \\ 1 &= -\alpha + \beta + \gamma; \\ \phi_D &= -\alpha i_D^2 + \beta i_D + \gamma \end{aligned}$$

и получим:

$$\alpha = \frac{\Delta i - \Delta \phi + i_A \phi_D - i_D \phi_A}{\Delta i (1 - i_A)(i_D - 1)},$$

$$\beta = \alpha(i_A + i_D) + \Delta \phi / \Delta i;$$

$$\gamma = 1 + \alpha - \beta,$$

где  $\Delta i = i_D - i_A$ ;  $\Delta \phi = \phi_D - \phi_A$ .

Если, например,  $i_A = 0,4$ ;  $\phi_A = 0,6$ ;  $i_D = 2$ ;  $\phi_D = 1,3$  (рис. 2), то  $\alpha = 0,229$ ;  $\beta = 0,988$ ;  $\gamma = 0,242$ .

Из (2) получим формулу для относительного значения тока возбуждения:

$$i_B = [\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha(\phi - \gamma)}] / (2\alpha). \quad (3)$$

Относительный магнитный поток  $\phi$  выразим как функцию от якорного тока  $I_A$ . Для этого формулу (1) представим в виде:

$$i_B = bI_A + c,$$

где  $b = \frac{1-f}{I_{ян}}$ ;  $c = f \frac{U_{пн}}{U_{пн}}$ .

С учетом (2) получим выражения:

$$\begin{aligned} \phi &= -\alpha(bI_A + c)^2 + \beta(bI_A + c) + \gamma = \\ &= -xI_A^2 + yI_A + z, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $x = b^2 \alpha$ ;  $y = b\beta - 2bca$ ;  $z = c\beta + \gamma - c^2 \alpha$ .

Ниже приведены алгоритмы расчета характеристик ДПТ по каталожным данным и примеры расчетов.

В каталогах и справочниках для ДПТ со смешанным возбуждением указаны номинальные значения напряжения питания  $U_{пн}$ , мощности на валу  $P_{2н}$ , частоты вращения вала  $n_n$  и потребляемого тока  $I_n$  или КПД  $\eta_n$ , [ $I_n = P_{2н} / (U_{пн} \eta_n)$ ]. Также могут быть указаны значения сопротивлений обмоток.

*Алгоритм расчета характеристик ДПТ при известных значениях напряжения питания  $U_{пн}$  и момента на валу  $M$  (Курсивом показано происхождение отдельных формул).* Номинальное суммарное напряжение на якорной обмотке, обмотке дополнительных полюсов и серийной ОВ:

$$U_n = U_{пн} - \Delta U_{щ},$$

где  $\Delta U_{щ} = (1 \div 2) В$  — падение напряжения на двух щеточно-коллекторных контактах.

Номинальный якорный ток

$$I_{ян} = I_n - I_{вщн} = \xi I_n,$$

где  $\xi = 0,92 \div 0,98$ , большее значение  $\xi$  соответствует большему значению мощности  $P_{2н}$ .

Номинальный ток в шунтовой ОВ:

$$I_{вщн} = U_{пн} / R_{вщ} = I_n - I_{ян}.$$

Сопротивление якорной цепи  $R$ , т. е. суммарное сопротивление трех указанных обмоток, если оно неизвестно:

$$R = \varepsilon (U_n I_{ян} - P_{2н}) / I_{ян}^2,$$

где  $\varepsilon = 1 / (1 + k_p^2)$ ;  $k_p = P_2 / P_{2н}$  — коэффициент загрузки ДПТ по мощности  $P_2$ , при максимальном значении КПД; обычно  $k_p \approx 0,8$ , тогда  $\varepsilon = 0,61$ .

Формула для сопротивления  $R$  получена из двух выражений:

$$I_{ян}^2 R + \Delta P_{он} = U_n I_{ян} - P_{2н};$$

$$k_p = \sqrt{\Delta P_{он} / (I_{ян}^2 R)},$$

где  $\Delta P_{он}$  — номинальная мощность неэлектрических потерь (механических и магнитных — см. ниже).

Номинальная ЭДС

$$E_n = U_n - I_{ян} R; \quad \Delta P_{он} = E_n I_{ян} - P_{2н}.$$

Якорный ток  $I_A$  и относительное значение  $\bar{n} = n / n_n$  определим, решив систему двух уравнений с двумя неизвестными ( $I_A$  и  $\bar{n}$ ).

Первое уравнение

$$UI_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R = K\bar{n} + \Delta P_{\text{он}} \bar{n}^{\nu}, \quad (5)$$

где  $U = U_{\text{п}} - \Delta U_{\text{ш}}$ ;  $K = Mn_{\text{н}}/9,55$ .

В уравнении (5)

$$K\bar{n} + \Delta P_{\text{он}} \bar{n}^{\nu} = P_2 + \Delta P_{\text{о}},$$

где  $\Delta P_{\text{о}}$  – мощность неэлектрических потерь.

Значение показателя степени  $\nu=1,3 \div 1,6$  зависит от марки электротехнической стали, типа и смазки подшипников, рода вентиляции [2]. Его можно определить по результатам испытаний серийного ДПТ.

Второе уравнение с неизвестными  $\bar{n}$  и  $I_{\text{я}}$ :

$$\phi = \frac{U - I_{\text{я}} R}{\bar{n} E_{\text{н}}} = -\alpha (bI_{\text{я}} + c)^2 + \beta (bI_{\text{я}} + c) + \gamma \quad (6)$$

или

$$\phi = \frac{U - I_{\text{я}} R}{\bar{n} E_{\text{н}}} = -xI_{\text{я}}^2 + yI_{\text{я}} + z. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) получены из выражений для ЭДС

$$E = U - I_{\text{я}} R = E_{\text{н}} \phi \bar{n}$$

и выражений (4) для относительного магнитного потока  $\phi$ .

Искомые характеристики ДПТ (частоту вращения вала  $n$ , потребляемый ток  $I$ , потребляемую и полезную мощности  $P_1$ ,  $P_2$  и КПД  $\eta$ ) рассчитаем по формулам:

$$n = \bar{n} n_{\text{н}}; \quad I = I_{\text{я}} + \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{пн}}} I_{\text{вшн}}; \quad P_1 = U_{\text{п}} I;$$

$$P_2 = Mn/9,55; \quad \eta = P_2 / P_1.$$

Таким образом, применив принятый алгоритм расчета, последовательно определим значения:  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{ян}}$ ,  $I_{\text{вшн}}$ ,  $R$ ,  $E_{\text{н}}$ ,  $\Delta P_{\text{он}}$ ,  $U$ ,  $K$ ,  $I_{\text{я}}$  и  $\bar{n}$ ,  $n$ ,  $I$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\eta$ , т.е. всего 15 значений.

При параллельном возбуждении якорный ток  $I_{\text{я}}$  и относительную скорость  $\bar{n}$  можно определить без решения системы двух уравнений с этими двумя неизвестными. В этом случае предварительно определим значения  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{ян}}$ ,  $I_{\text{вшн}}$ ,  $R$ ,  $E_{\text{н}}$ ,  $\Delta P_{\text{он}}$ ,  $U$ , как указано выше; относительное значение тока возбуждения  $i_{\text{в}}$  – как  $U_{\text{п}}/U_{\text{пн}}$ , относительное значение магнитного потока  $\phi$  – по формуле (2) или из графика на рис. 2, значение  $g$  по формуле:

$$g = \frac{Mn_{\text{н}} R}{9,55 \phi E_{\text{н}}}.$$

Якорный ток

$$I_{\text{я}} = \frac{U + g - \sqrt{(U - g)^2 - 4R\Delta P_{\text{он}}}}{2R}.$$

Эта формула получена из (5) и левой части (6) или (7) с учетом выражения для  $g$  при допущении постоянства мощности неэлектрических потерь ( $\Delta P_{\text{о}} = \Delta P_{\text{он}}$ ).

Далее рассчитаем отношение

$$\bar{n} = \frac{U - I_{\text{я}} R}{E_{\text{н}} \phi},$$

полученное из левой части (6) или (7).

Значения  $n$ ,  $I$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\eta$  определим, как указано выше.

**Особенности алгоритма расчетов характеристик ДПТ при известных значениях напряжения питания  $U_{\text{п}}$ , момента на валу  $M$  и частоты вращения вала  $n$ .** Вначале определим значения  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{ян}}$ ,  $I_{\text{вшн}}$ ,  $R$ ,  $E_{\text{н}}$ ,  $\Delta P_{\text{он}}$ ,  $U$ , как указано выше, и относительное значение скорости  $\bar{n}$ , как  $n/n_{\text{н}}$ . Якорный ток определим по формуле:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - \sqrt{U^2 - 4R(K\bar{n} + \Delta P_{\text{он}} \bar{n}^{\nu})}}{2R}, \quad (8)$$

полученной из (5).

Далее определим относительный магнитный поток  $\phi$ , используя левую часть (6) или (7), и относительное значение тока возбуждения  $i_{\text{в}}$  – по формуле (3) или из графика рис. 2. Затем рассчитаем:

для ДПТ с параллельно-последовательным возбуждением

$$U_{\text{вш}} = \frac{i_{\text{в}} - (1-f)I_{\text{я}}/I_{\text{ян}}}{f} U_{\text{пн}},$$

так как  $I_{\text{вс}} = I_{\text{я}}$ ,  $i_{\text{в}} = \frac{U_{\text{ш}}}{U_{\text{пн}}} f + (1-f) \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{ян}}}$ ;

$$I = I_{\text{я}} + I_{\text{вшн}} U_{\text{вш}} / U_{\text{пн}};$$

для ДПТ с последовательно-параллельным возбуждением

$$I_{\text{вс}} = \frac{i_{\text{в}} - fU_{\text{п}}/U_{\text{пн}}}{1-f} I_{\text{ян}}, \quad (9)$$

так как  $U_{\text{вш}} = U_{\text{п}}$ ,  $i_{\text{в}} = f \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{пн}}} + (1-f) \frac{I_{\text{вс}}}{I_{\text{ян}}}$ ;

$$I = I_{\text{я}} + \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{пн}}} I_{\text{вшн}}.$$

В частности, для ДПТ с параллельным возбуждением  $f=1$ ,  $U_{\text{вш}} = i_{\text{в}} U_{\text{пн}}$ , а для ДПТ с последовательным возбуждением  $f=0$ ,  $I_{\text{вс}} = i_{\text{в}} I_{\text{ян}}$ . Значения  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $\eta$  рассчитаем, как указано выше. Всего последовательно определим 16 различных значений.

**Примеры расчета характеристик ДПТ. Пример 1.** Двигатель с последовательно-параллельным возбуждением Д21 имеет следующие номинальные характеристики: при  $U_{\text{пн}} = 220$  В;  $P_{2\text{н}} = 5500$  Вт;  $I_{\text{н}} = 31,5$  А;  $n_{\text{н}} = 1450$  об/мин; нагружен номинальным моментом  $M = M_{\text{н}}$  и питается пониженным напряжением  $U_{\text{п}} = 0,8U_{\text{пн}} = 176$  В.

Предварительно примем:  $f = 0,15$ ;  $\alpha = 0,229$ ;  $\beta = 0,988$ ;  $\gamma = 0,242$ ;  $\Delta U_{\text{щ}} = 1,5$  В;  $\xi = 0,98$ ;  $\varepsilon = 0,61$ ;  $\nu = 1,6$  (см. выше) и определим, как указано выше:  $U_{\text{н}} = 218,5$  В;  $I_{\text{ян}} = 31,0$  А;  $I_{\text{вшн}} = 0,5$  А;  $R = 0,81$  Ом;  $E_{\text{н}} = 193,4$  В;  $\Delta P_{\text{он}} = 499$  Вт;  $U = 174,5$  В;  $K = 5500$  Вт;  $b = 0,027$  1/А;  $c = 0,12$ .

Решив систему уравнений (5) и (6), получим значения:  $I_{\text{я}} = 31,3$  А,  $\bar{n} = 0,785$ .

Наконец, рассчитаем (как указано выше) и получим искомые значения:  $n = 1138$  об/мин;  $I = 31,7$  А;  $P_1 = 5579$  Вт;  $P_2 = 4317$  Вт;  $\eta = 0,774$ .

**Пример 2.** Для того же ДПТ, кроме значения  $U_{\text{п}} = U_{\text{пн}} = 220$  В и равенства  $M = M_{\text{н}}$ , дополнительно задано значение частоты вращения вала  $n = 1600$  об/мин ( $\bar{n} = 1,103$ ).

Вначале рассчитаем якорный ток по (8) и получим значение  $I_{\text{я}} = 35,0$  А. Далее по (6) или (7) и формулам (3), (9) последовательно рассчитаем и получим значения:  $\phi = 0,891$ ;  $i_{\text{в}} = 0,810$ ;  $I_{\text{вс}} = 23,65$  А. Наконец, рассчитаем, как указано выше, и получим:  $I = 35,5$  А;  $P_1 = 7810$  Вт;  $P_2 = 6067$  Вт;  $\eta = 0,777$ .

**Примечание.** Точность расчетов характеристик ДПТ по изложенным здесь алгоритмам предопределена точностью используемых выражений, не вызывающих сомнений. Она может быть установлена по результатам расчета и экспериментального определения характеристик не менее двух ДПТ с параллельно-последовательным возбуждением и не менее двух ДПТ с последовательно-параллельным возбуждением при известной и неизвестной частоте вращения вала двигателя.

**Приложение. Способ определения отношения  $f$  МДС обмоток возбуждения.** Значение отношения  $f$  в (1) для относительного значения тока возбуждения  $i_{\text{в}}$  можно определить по результатам испытания серийного ДПТ.

Предварительно измерим сопротивление якорной цепи  $R$  и номинальный ток  $I_{\text{вшн}}$  в параллельной ОВ (или рассчитаем  $I_{\text{вшн}} = U_{\text{пн}} / R_{\text{вшн}}$ ), а также рассчитаем номинальное напряжение  $U_{\text{н}}$ , якорный ток  $I_{\text{ян}}$  и ЭДС  $E_{\text{н}}$  (см. выше). При номинальном напряжении питания  $U_{\text{пн}}$  и на холостом ходу ( $M = 0$ ) или при нагрузке на валу ( $M \neq 0$ ) измерим частоту вращения вала двигателя  $n$  и якорный ток  $I_{\text{я}}$  или потребляемый ток  $I$ . В последнем случае рассчитаем  $I_{\text{я}} = I - I_{\text{вшн}}$ . Далее определим относительную скорость  $\bar{n} = n / n_{\text{н}}$  и относительный магнитный поток  $\phi$  по (6) или (7), относительный ток возбуждения  $i_{\text{в}}$  по (3) или из графика на рис. 2. Наконец, найдем искомое значение отношения  $f = \frac{i_{\text{в}} - I_{\text{я}} / I_{\text{ян}}}{1 - I_{\text{я}} / I_{\text{ян}}}$ , вытекающего из (1).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вешневский С.Н.** Характеристики двигателей в электроприводе. – М.: Энергия, 1977, 432 с.
2. **Вольдек А.И.** Электрические машины: Учебник для вузов. – Л.: Энергия, 1974, 840 с.
3. **Копылов И.П.** Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, Логос, 2000, 607 с.
4. **Сборник задач** по электротехнике и основам электроники/Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1984, 253 с.

[12.04.2017]

*А в т о р: Грдин Владимир Михайлович окончил Московский энергетический институт (МЭИ) в 1963 г. Кандидатскую диссертацию «Исследование и расчет трехфазных бесконтактных двигателей постоянного тока с однополупериодной коммутацией» защитил в 1979 г. Доцент Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.*

## Calculating the Characteristics of Compound-Excited DC Motors Using the Catalogue Data

**GRIDIN Vladimir M.** (Moscow State Technical University named N.E. Bauman, Moscow, Russia) – Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

*Algorithms for simple calculations of the characteristics of compound-excited DC motors for different modes of their operation using only the catalogue data are proposed. A dependence of the relative resulting (in terms of MMF) current if of two field findings (FW) as a function of the voltage across the parallel-connected FW and of the current through the series-connected FW, as well as dependences of the*

relative magnetic flux as a function of the relative current if and armature current are proposed. A system of two equations with two unknown sought variables for determining the key characteristics (the motor shaft rotation frequency and the armature current) is proposed. For the case in which the rotation frequency is known, expressions for the voltage across the parallel-connected FW or the current through the series-connected FW for obtaining the known frequency are proposed. Examples of calculating the DC motor characteristics from the catalogue data are given, and a method for determining the ratio of the MMF produced by the parallel-connected FW to the sum of MMFs produced by both the FWs is proposed.

Key words: DC motors, compound excitation, characteristic calculation algorithms, catalogue data

## REFERENCES

1. Veshenevskii S.N. *Kharakteristiki dvigatelei v elektroprivode* (Characteristics of motors in the electric drive). Moscow, Publ. «Energiya», 1974, 432 p.

2. Vol'dek A.I. *Elektricheskiye mashiny* (Electrical machines). Leningrad, Publ. «Energiya», 1974, 840 p.

3. Kopylov I.P. *Elektricheskiye mashiny* (Electrical machines). Moscow, Publ. «Vysshaya shkola», «Logos», 2000, 607 p.

4. *Sbornik zadakh po elektrotekhnike i osnovam elektroniki/Pod red. V.G. Gerasimova* (Collection of problems in electrical engineering and the basis of electronics/Edit. by V.G. Gerasimov). Moscow, Publ. «Vysshaya shkola», 1984, 253 p.

[12.04.2017]

\* \* \*

### Уважаемые авторы!

Редакция публикует при каждой статье краткие сведения об авторах. В связи с этим просим вас при направлении статьи в редакцию сообщать (желательно и на английском языке):

полные имена и отчества всех авторов;

какой факультет, какого вуза и когда закончил;

когда получил ученую степень, где и по какой тематике (теме) была защита;

место работы и должность.

Кроме того, напоминаем, что на каждую статью следует представлять реферат (не менее 100 слов) на русском и английском языках (включая название), а также ключевые слова.