

УДК 621.3.024.001.24

Седова Ирина Юрьевна, Юдина Ольга Ивановна

АНАЛИЗ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ПИТАНИИ

В статье рассмотрены вопросы получения аналитических выражений для исследования электромагнитных процессов, происходящих в двигателях постоянного тока при пульсирующем питании. Процесс проанализирован при нелинейной и линейной постановке задачи. Определены выражения для мгновенных значений токов силовых цепей и напряжения на двухполюснике модели добавочных потерь от вихревых токов.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, математическая модель, аналитическое выражение, пульсирующее питание, двухполюсник.

Irina Sedova, Olga Yudina

ANALYSIS OF DC MOTOR ON PULSATING SUPPLY MATHEMATICAL MODEL ACHIEVEMENT

Obtaining of analytic expressions for electromagnetic process in DC motor on pulsating supply investigation was considered. The process was analyzed under linear and nonlinear problem statement. Defined expressions for the instantaneous values of the currents of power circuits and voltage on the dipole model of incremental losses from eddy currents.

Key words: DC motor, mathematical model, analytic expression, pulsating feeding, two-terminal circuit.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) является основным звеном регулируемого электропривода, поэтому корректный учет ДПТ – важная задача теории и практики. На современном уровне математическая модель ДПТ представляет собой систему неоднородных нелинейных дифференциальных уравнений, которая позволяет учесть целый комплекс явлений: коммутационную и поперечную реакцию якоря, вихревые токи в массивных участках магнитной цепи и обмотках, насыщение магнитопровода и т. д. Реализация этой модели возможна численными методами интегрирования. Однако численные методы не могут считаться универсальными. Численное решение всегда является частным для конкретных параметров, не имеет общего вида, т. е. не дает возможности оценить поведение решения при вариации входных данных.

С точки зрения качественной оценки характера процесса, а также для контроля правильности численного решения желательно получить точное аналитическое решение. Целью настоящей работы является оценка возможности точного анализа динамических характеристик ДПТ в зависимости:

- 1) от количества и вида учитываемых явлений;
- 2) от системы возбуждения двигателя.

Возможность такого анализа определяется качеством и характером нелинейных индуктивностей, входящих в схему замещения машины.

Известно [1], что индуктивные параметры ДПТ могут быть определены в помощью кривых намагничивания по продольной и поперечной осям. В относительных единицах эти параметры рассчитываются по следующим выражениям.

Основной магнитный поток по продольной оси

$$\Phi_{ma} = \frac{1}{2i_{\alpha}} \int_{i_{\alpha} - i_{\alpha}}^{i_{\alpha} + i_{\alpha}} \Phi(i_{\alpha}) di_{\alpha}, \quad (1)$$

где i_{α} – приведенное значение намагничивающей силы (н. с.) реакции якоря; $i_{\alpha} = \frac{\alpha' \cdot \tau \cdot A_n}{2w_{\theta} \cdot i_n} \cdot i_a = C_a \cdot i_a$,

α' – расчетный коэффициент полюсной дуги; τ – полюсное деление, м; w_σ – число витков обмотки возбуждения на полюс; A_n – номинальная линейная токовая нагрузка, А/м; i_a и i_n – текущее и номинальное значение тока якоря; $i_{\sigma\Sigma}$ – суммарная н.с. машины по продольной оси; $\Phi(i_a)$ – характеристика намагничивания по продольной оси, в относительных единицах близкая к характеристике холостого хода.

Индуктивность обмотки возбуждения от основного потока

$$L_\sigma = \frac{d\Phi_{ma}}{di_{\sigma\Sigma}}. \quad (2)$$

Если в первом приближении не учитывать размагничивающее действие поперечной реакции якоря, то L_σ может быть найдена непосредственно дифференцированием кривой намагничивания машины.

Взаимная индуктивность между обмотками якоря и возбуждения, обусловленная действием реакции якоря:

$$M_{\sigma a} = \frac{d\Phi_{ma}}{di_a}. \quad (3)$$

Результирующая индуктивность обмотки якорной цепи от основного потока

$$L_{aq} = \frac{d\Phi_{aq}}{di_a}, \quad (4)$$

где Φ_{aq} – основной поток по поперечной оси, определяемая по кривой намагничивания машины по поперечной оси (характеристика холостого хода для добавочных полюсов).

Индуктивные параметры и потоки могут определяться в зависимости от способа аналитической аппроксимации кривой намагничивания [2, 3, 4]. Следует отметить выражение кривой намагничивания степенным рядом, гиперболическими (формула Фрейлиха) и трансцендентными (формулы Мюллера, Вебера, Ермолина) функциями. Все эти зависимости довольно просты и в то же время достаточно точно аппроксимируют реальные кривые. В таблице 1 приведены наиболее распространенные аналитические выражения кривой намагничивания машины и соответствующие им формулы для L_σ , Φ_{ma} и $M_{\sigma a}$ при учете и без учета размагничивающего действия поперечной реакции якоря.

Из таблицы 1 видно, что наиболее удобными с точки зрения простоты дальнейшей обработки являются формулы Фрейлиха и степенной многочлен 3-й степени. Формулы Вебера, Ермолина довольно сложны, особенно при учете поперечной реакции якоря, поскольку выражение для $M_{\sigma a}$ в этих случаях весьма громоздко. Формула Мюллера вообще дает аналитическое выражение Φ_{ma} при учете поперечной реакции якоря, а следовательно, L_σ и $M_{\sigma a}$, но при ее использовании лучше пользоваться квадратурной формулой Гаусса [4] для расчета основного магнитного потока.

Для расчета индуктивности L_{aq} , как правило, используют аппроксимацию кривой намагничивания по поперечной оси многочлена вида [5]:

$$\Phi_{aq} = \Phi_1 i_a + \Phi_3 i_a^3. \quad (5)$$

При этом

$$L_{aq} = \Phi_1 + 3\Phi_3 i_a^2. \quad (6)$$

Как уже отмечалось, для анализа динамических свойств ДПТ необходимо решить систему неоднородных и нелинейных дифференциальных уравнений, причем порядок системы определяется сложностью учитываемых явлений.

Точное решение системы таких уравнений можно получить методом разделения переменных при выполнении следующих условий:

- 1) система состоит из независимых уравнений, например, в двигателе независимого возбуждения уравнения обмоток якоря и возбуждения без учета вихревых токов и реакции якоря;
- 2) выходной сигнал (напряжение) не изменяется во времени или имеет форму прямоугольного импульса, т. е. меняется скачком, что дает возможность разделить переменные.

Таблица 1
Аналитические выражения кривой намагничивания машины при учете и без учета размагничивающего действия поперечной реакции якоря

Выражение кривой намагничивания	Без учета поперечной реакции якоря		С учетом поперечной реакции якоря	
	L_e	Φ_{ma}	L_e	M_{ea}
Формула Вебера $\Phi = \Phi_1 (1 - e^{-\Phi_1 i_e})$	$\Phi_1 - \Phi_1 \Phi_2 e^{\Phi_1 i_e}$	$\Phi_1 - \frac{\Phi_1}{2i_a \Phi_2} (e^{\Phi_2(i_{e\sigma} + i_e)} - e^{\Phi_2(i_{e\sigma} - i_{ea})})$	$\frac{\Phi_1}{2i_a} e^{\Phi_2 i_{e\sigma}} (e^{-\Phi_2 i_a} - e^{\Phi_2 i_a})$	$\frac{\Phi_1}{2C_a \Phi_2} [e^{\Phi_2 i_a} (\frac{1}{i_a^2} - \Phi_2 C_a) - e^{-\Phi_2 i_a} (\frac{1}{i_a^2} + \Phi_2 C_a)]$
Формула Мюллера $\Phi = \Phi_1 \arctg \Phi_2 i_e$	$\frac{\Phi_1 \Phi_2}{1 + \Phi_2^2 i_e^2}$	$\sum_{j=1}^m S_j \Phi_1 \arctg[\Phi_2 (i_{e\sigma} + C_j i_a)]$	$\sum_{j=1}^m \frac{S_j \Phi_2}{1 + \Phi_2^2 (i_{e\sigma} + C_j i_a)^2}$	$\sum_{j=1}^m \frac{S_j C_j C_a}{1 + \Phi_2^2 (i_{e\sigma} + C_j i_a)^2}$
Формула Ермолина $\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 i_e + (\Phi_0 + \Phi_2 i_e) e^{\Phi_1 i_e}$	$\Phi_1 + (\Phi_0 \Phi_3 + \Phi_2 + \Phi_2 \Phi_3 i_e) e^{\Phi_1 i_e}$	$\Phi_{ma} = \Phi_0 + \Phi_1 i_{e\sigma} + \frac{e^{\Phi_1 i_{e\sigma}}}{2i_a \Phi_3} (e^{\Phi_1 i_a} - e^{-\Phi_1 i_a}) (\Phi_0 + \Phi_2 i_a) + \frac{\Phi_2}{2i_a \Phi_3} e^{\Phi_1 i_{e\sigma}} (e^{\Phi_1 i_a} + e^{-\Phi_1 i_a}) (\Phi_3 i_a + 1)$		
Формула Фрейлиха $\Phi = \frac{\Phi_1 \Phi_2}{(\Phi_2 + i_e)^2}$	$\frac{\Phi_1 \Phi_2}{(\Phi_2 + i_e)^2}$	$\Phi_{ma} = \frac{\Phi_1}{2i_a} \ln(\frac{\Phi_2 + i_{e\sigma} + i_a}{\Phi_2 + i_{e\sigma} - i_a})$		
Многочлен 3-й степени $\Phi = \Phi_1 i_e + \Phi_3 i_e^3$	$\Phi_1 + 3\Phi_3 i_e^2$	$\Phi_1 i_{e\sigma} + \Phi_3 i_{e\sigma}^3 + \Phi_3 i_{e\sigma}^2 i_a$	$\Phi_1 + 3\Phi_3 i_{e\sigma}^2 + \Phi_3 i_a^2$	$2C_a \Phi_3 i_{e\sigma}^2 i_a$

К примеру, процесс возбуждения компенсированного ДПТ с независимым возбуждением при отсутствии взаимоиндуктивной связи между обмотками якоря и возбуждения описываются уравнением

$$u_{\sigma} = r_{\sigma} i_{\sigma} + L_{\sigma} (i_{\sigma}) \frac{di_{\sigma}}{dt} + L_{\sigma\sigma} \frac{di_{\sigma}}{dt}, \quad (6)$$

где $L_{\sigma\sigma}$ и r_{σ} – соответственно индуктивность рассеяния и активное сопротивление обмотки возбуждения; u_{σ} – напряжение возбуждения.

В уравнении (6) можно произвести разделение переменных, тогда оно преобразуется в вид

$$\frac{L_{\sigma}(i_{\sigma}) + L_{\sigma\sigma}}{u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}} \cdot di_{\sigma} = dt. \quad (7)$$

Возможность решения уравнения (7) определяется видом зависимости $L_{\sigma}(i_{\sigma})$ или, в конечном счете, возможностью аналитического решения интеграла

$$\int \frac{L_{\sigma}(i_{\sigma}) + L_{\sigma\sigma}}{u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}}. \quad (8)$$

В таблице 2 показаны формулы, соответствующие точному аналитическому решению уравнения (6) при аппроксимации кривой намагничивания машины наиболее распространенными и позволяющими аналитически решить интеграл (8) выражениями. Постоянная интегрирования C во всех случаях находится из начальных условий.

Переходная функция обмотки якоря ДПТ независимого возбуждения описывается уравнением

$$L_{aq}(i_a) \frac{di_a}{dt} + L_{a\sigma} \frac{di_a}{dt} + i_a r_a = u_a, \quad (9)$$

где $L_{a\sigma}$ – суммарная индуктивность обмоток якорной цепи, не зависящая от тока якоря; r_a – активное сопротивление обмоток якорной цепи.

Уравнение (9) интегрируется также методом разделения переменных, при аппроксимации кривой намагничивания по поперечной оси полиномом вида (5) решение имеет вид

$$t = -\frac{L_{a\sigma} + \Phi_1}{r_a} \ln y - \frac{5\Phi_3}{r_a^5} \cdot [u_a^4 \ln y + \frac{y^4}{4} + 3u_a^2 y^2 - \frac{4}{3} u_a y^3 - 4u_a^3 y] + C, \quad y = u_a - i_a r_a.$$

Переходному режиму последовательного ДПТ с полностью шихтованной магнитной системы и расслоенными проводниками обмотки якоря соответствует уравнение

$$u_a = L_{\sigma} \frac{di_a}{dt} + L_{a\sigma} \frac{di_a}{dt} + i_a r_{ay} + M_{ea} \frac{di_a}{dt} + E_{ep}, \quad (10)$$

где E_{ep} – ЭДС вращения; $L_{a\sigma}$ – включает в себя также и индуктивность якоря L_{aq} .

Поскольку L_{aq} значительно меньше L_{σ} , то в последовательном двигателе нелинейностью L_{aq} можно пренебречь.

Таблица 2 **Формулы аналитического решения уравнения (6) при аппроксимации кривой намагничивания машины**

Выражение кривой намагничивания	Формула точного аналитического решения
Многочлен 3-й степени $\Phi = \Phi_1 i_{\sigma} + \Phi_3 i_{\sigma}^3$	$t = -\frac{\Phi_1 + L_{\sigma\sigma}}{r_{\sigma}} \ln(u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}) - \frac{3\Phi_3}{r_{\sigma}^3} \left[\frac{1}{2} (u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma})^2 - 2u_{\sigma} (u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}) + u_{\sigma}^2 \ln(u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}) \right] + C$
Формула Вебера $\Phi = \Phi_1 (1 - e^{\Phi_2 i_{\sigma}})$	$t = -\frac{\Phi_1 + L_{\sigma\sigma}}{r_{\sigma}} \ln(u_{\sigma} - i_{\sigma} r_{\sigma}) + \frac{(\Phi_1 + L_{\sigma\sigma})\Phi_2}{e^{\frac{\Phi_2 u_{\sigma}}{r_{\sigma}}}} \left[\ln(\Phi_2 i_{\sigma} - \frac{\Phi_2 u_{\sigma}}{r_{\sigma}}) + \dots + \frac{(\Phi_2 i_{\sigma} - \frac{\Phi_2 u_{\sigma}}{r_{\sigma}})^n}{n \cdot n!} + \dots \right] + C$

Выражение кривой намагничивания	Формула точного аналитического решения
Формула Мюллера $\Phi = \Phi_1 \arctg \Phi_2 i_\theta$	$t = -\frac{L_{\sigma\theta}}{r_\theta} \ln(u_\theta - i_\theta r_\theta) + \frac{\Phi_1 \Phi_2}{u_\theta^2 \Phi_2^2 + r_\theta} \cdot \left[\ln \frac{(i_\theta^2 + \frac{1}{\Phi_2^2})^{\frac{r_\theta}{2}}}{(u_\theta - i_\theta r_\theta)^{r_\theta}} + u_\theta \Phi_2 \arctg(i_\theta \Phi_2) \right] + C$
Формула Фрейлиха $\Phi = \frac{\Phi_1 i_\theta}{\Phi_2 + i_\theta}$	$t = -\frac{L_{\sigma\theta}}{r_\theta} \ln(u_\theta - i_\theta r_\theta) + \frac{\Phi_1 \Phi_2}{(u_\theta + r_\theta \Phi_2)^2} \cdot \left[\ln \frac{(\Phi_2 + i_\theta)^{r_\theta}}{(u_\theta - i_\theta r_\theta)^{r_\theta}} - \frac{u_\theta + r_\theta \Phi_2}{\Phi_2 + i_\theta} \right] + C$

Если в первом приближении не учитывать действие поперечной реакции якоря и ЭДС, то решение уравнения (10) аналогично решению уравнения (6).

Анализ показывает, что при учете Евр процесс точного аналитического решения еще более усложняется, решение может быть получено без учета поперечной реакции якоря при аппроксимации кривой намагничивания степенным двучленом или выражением Фрейлиха. В остальных случаях соответствующие интегралы табличного решения не имеют.

Модель для определения добавочных потерь в проводниках обмотки якоря (ОЯ) и компенсационной обмотки (КО) от вихревых токов предполагает поиск напряжения u на двухполюснике, который имеет вид, представленный на рис. 1.

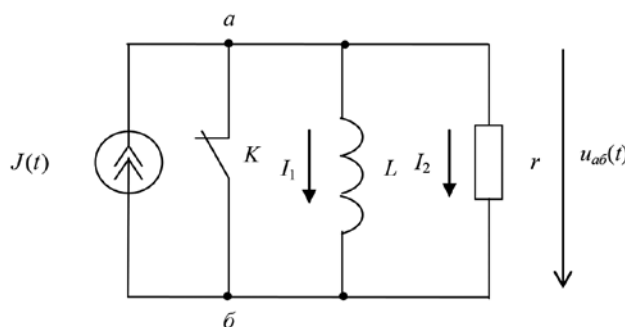


Рис. 1. Схема включения rL элемента на источник тока

В схеме, показанной на рис. 1, переходный процесс, моделирующий включение отдельного активно-индуктивного элемента на источник тока произвольной формы, описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} L_p I_1(p) - Li_1(0) + I_2(p)r &= J(p) \cdot r \\ I_1(p) + I_2(p) &= J(p) \\ u_{a\theta}(p) &= (J(p) - I_1(p)) \cdot r \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Из (11) следует, что изображение тока в индуктивном элементе

$$I_1(p) = \frac{Li_1(0) + J(p) \cdot r}{L_p + r}, \quad (12)$$

и оригинал:

$$i_1(t) = i_1(0) \cdot e^{-t/T} + i_{e1}(t), \quad (13)$$

где $T = \frac{L}{r}$, $i_{e1}(t)$ – оригинал вынужденной составляющей тока $i_1(t)$, который соответствует изображению $i(t) \Leftrightarrow \frac{J(p) \cdot r}{L_p + r}$.

В зависимости от вида источника пульсирующего питания пульсационная составляющая тока проводников ОЯ может иметь вид, представленный на рис. 2.

Если источник тока $J(t)$ имеет вид периодической функции на интервале T_S (рис. 2), то для нахождения $i_1(0)$ в момент переключения на выражение $(13 \ i_1(T_S) = i_1(0))$ следует положить условие периодичности

$$i_1(T_S) = i_1(0). \quad (14)$$

В результате решение (13) относительно $i_1(0)$ имеет вид

$$i_1(0) = \frac{i_{a1}(T_S)}{1 - e^{-T_S/T}}, \quad (15)$$

напряжение на активно-индуктивном элементе можно рассчитать с помощью выражения

$$u_{a\sigma}(t) = r(J(t) - i_1(t)), \quad (16)$$

а на двухполюсниках – находится суммированием напряжений на n подобных элементах с соответствующим расчетом их параметров.

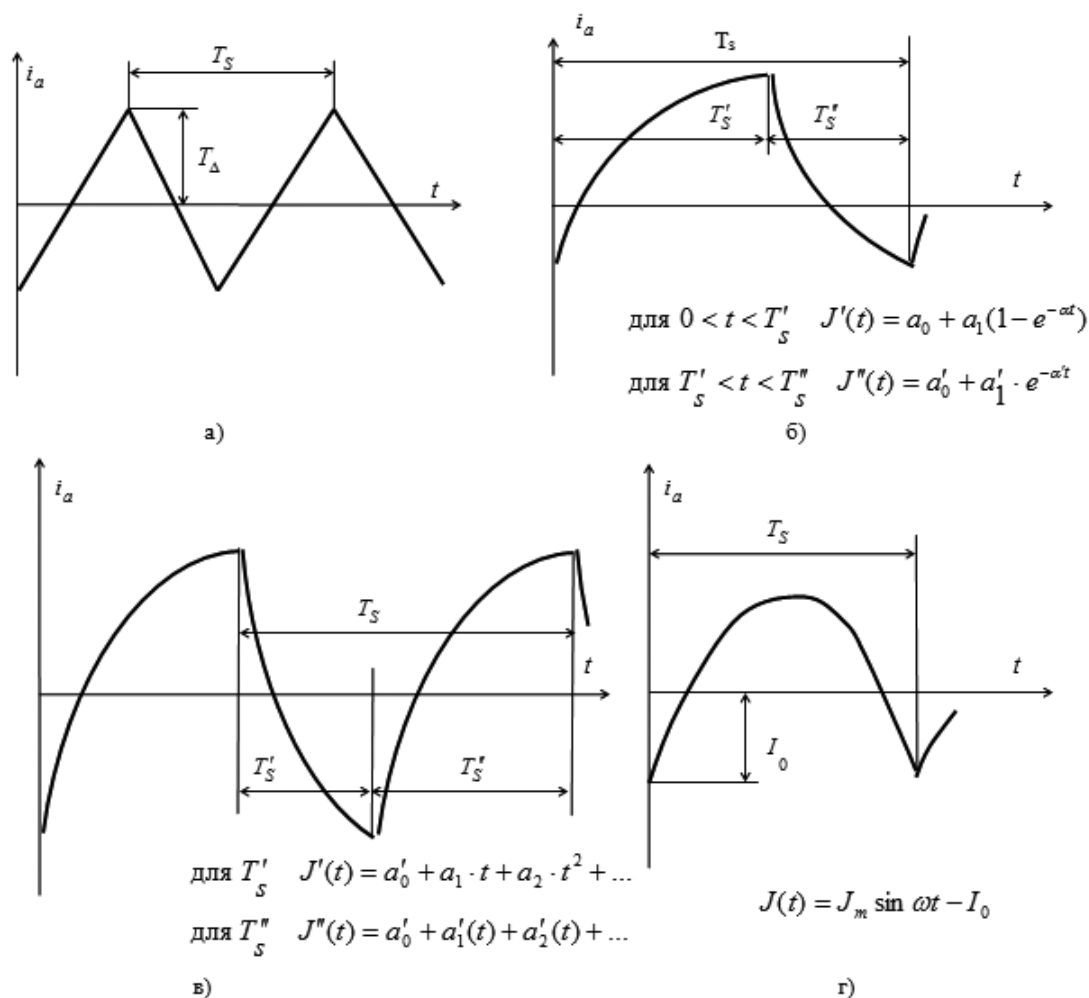


Рис. 2. Форма пульсационной составляющей проводников обмотки якоря:
а) треугольная; б) кусочно-экспоненциальная; в) кусочно-полиномиальная;
г) кусочно-синусоидальная

Если источник тока задан кусочно-линейным (рис. 2а) или кусочно-нелинейным способом (рис. 2, б в, г), то есть интервал дискретизации T_s делится, например, на два участка T'_s и T''_s , причем $T_s = T'_s + T''_s$, то расчет на этих участках выполняется соответственно, по выражениям

$$\begin{aligned} i'_1 &= i'_1(0) \cdot e^{-t/T} + i'_{e1}(t), \\ i''_1 &= i''_1(0) \cdot e^{-t/T} + i''_{e1}(t). \end{aligned} \quad (17)$$

Учитывая, что $i''_1(0) = i'_1(T'_s)$,

$$i''_1(t) = i'_1(T'_s) \cdot e^{-t/T} + i''_{e1}(t). \quad (18)$$

Условие периодичности в этом случае имеет вид

$$i'_1(0) = i''_1(T''_s), \quad (19)$$

или

$$i'_1(0) = [i_1(0) \cdot e^{-T'_s/T} + i'_{e1}(T'_s)] \cdot e^{-T''_s/T} + i''_{e1}(T''_s), \quad (20)$$

отсюда

$$i'_1(0) = \frac{i''_{e1}(T''_s) + i'_{e1}(T'_s) \cdot e^{-T''_s/T}}{1 - e^{-T_s/T}}. \quad (21)$$

Расчет напряжения $u_{аб}(t)$ при этом выполняется по выражению (16), тока в индуктивном элементе – по (13), значение вынуждающих функций на отдельных участках интервала дискретизации T'_s и T''_s – для соответствующих источников тока могут быть найдены по формулам, приведенным в таблице 3.

При всех принятых видах временных зависимостей $J(t)$ могут быть получены аналитические выражения для активной мощности, выделяемой в двухполюсниках.

Таблица 3

Формулы определения значений вынужденных функций i в $1'('')$

Форма источника тока	Значения вынужденных функций $i_{e1}('')$
Кусочно-полиномиальная (рис. 2в)	$i_{e1}^{(II)} = a^{(I)}_0 (1 - e^{-at}) + a^{(I)}_1 \left(\frac{t}{a} - \frac{1}{a^2} + \frac{e^{-at}}{a^2} \right) + \frac{a^{(I)}_2}{a} e^{-at} + 2a^{(I)}_2 \left(t^2 - \frac{2t}{a} + \frac{2}{a^2} \right) + \dots$
Кусочно-экспоненциальная (рис. 2б)	$\begin{aligned} i'_{e1}(t) &= \frac{a_0}{a} (1 - e^{-at}) + \frac{a_1}{a} + \frac{1}{a - \alpha} \left(\frac{e^{-at}}{a} - \frac{e^{-\alpha t}}{\alpha} \right) \\ i''_{e1}(t) &= \frac{a'_0}{a} (1 - e^{-at}) + \frac{a'_1}{\alpha' - a} (e^{-at} - e^{-\alpha' t}) \end{aligned}$
Кусочно-синусоидальная (рис. 2г)	$\begin{aligned} i'_{e1}(t) &= -I_0 (1 - e^{-at}) + I_m \cdot \sin(\omega t - \psi) - I_m \cdot \sin(\omega t - \psi) e^{-at}, \\ \psi &= \arctg \frac{\omega L}{r} \end{aligned}$

Выводы:

1. Получены выражения для нелинейных индуктивностей обмоток якоря и возбуждения ДПТ и основных потоков по продольной и поперечной осям для различных способов аппроксимации кривой намагничивания.
2. Выявлено, что точное аналитическое решение уравнений, описывающих работу ДПТ может быть получено только:
 - а) в режиме переходной функции, т.е. при подаче на вход обмоток ступенчатого или прямоугольного импульсного напряжения;

- б) для двигателей независимого возбуждения без учета вихревых токов в массивных частях магнитопровода и обмоток, поперечной и коммутационной реакции якоря;
 - в) для двигателей последовательного возбуждения с учетом поперечной реакции якоря и $E_{вр}$.
3. Получены аналитические выражения для определения напряжения на двухполюсниках стали и меди при различных формах пульсационной составляющей входного сигнала.

Литература

1. Бельман М. Х. Определение индуктивных параметров машины постоянного тока с учетом насыщения магнитопровода // Изв. вузов. Электромеханика, 1975. № 3. С. 7–10.
2. Архангельский Б. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания электрических машин // Электричество. 1950. № 3. С. 30–32.
3. Гордиенко П. И. Аналитическое выражение кривой намагничивания и индуктивности обмотки возбуждения тяговых двигателей // Труды ЛИИЖТ. 1960. Вып. 123. С. 84–103.
4. Frutt F. C., Erdelyi E. A., Hopkins R. E. Representation of Magnetization Characteristic of D. C. Machines for Computer Use. IEEE Transac. Power Appar. and Syst., 1968. W. 3. P. 665–669.
5. Владимирова Э. Г., Сидельников А. В., Сидельников Б. В., Фетисов В. В. Исследование переходных процессов машин постоянного тока с помощью ЭЦВМ // Труды ЛПИ. 1969. Вып. 301. С. 103–113.

УДК 637.23

**Чеботарев Евгений Алексеевич, Малсугенов Александр Владимирович,
Борисов Александр Тимофеевич**

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СХЕМ КОМПОНОВКИ РОТОРНО-ПЛАСТИНЧАТОГО ОХЛАДИТЕЛЯ

В статье рассмотрен способ дифференцирования механического воздействия на охлаждаемый продукт, при его обработке в роторно-пластинчатом охладителе. Данный способ заключается в разделении охладителя на три зоны охлаждения. В результате в охладителе возможно применение 125 схем компоновки, 25 из которых признаны нами оптимальными.

Ключевые слова: роторно-пластинчатый охладитель, маслообразователь, схемы компоновки, совершенствование охладителя, дифференцированное охлаждение.

**Evgeny Chebotarev, Aleksandr Malsugenov, Alexandr Borisov
DEVELOPMENT OF EFFICIENT LAYOUTS ROTARY VANE COOLER**

The article was considered a way of differentiating between mechanical impact on the cooled product, when it is processed in the rotary plate cooler. This method is divided cooler three cooling zones. The result can be used in the cooler 125 schemes section 25 of which are considered as optimal.

Key words: rotary vane cooler, butterformer, schemes section, improvement cooler, differentiated cooling.

Роторно-пластинчатые охладители нашли широкое применение при охлаждении вязких пищевых продуктов, кристаллизующихся в процессе охлаждения и, в частности, используются в составе пластинчатых маслообразователей для охлаждения высокожирных сливок перед их дестабилизацией.

Первые пластинчатые маслообразователи были выполнены по соосной схеме, когда на одном валу располагались скребковые ножи охладителя и лопасти обработника [1]. В дальнейшем от такой схемы отказались, поскольку не представлялось возможным дифференцировать механическое воздействие на высокожирные сливки при охлаждении и при обработке.