

XIII MIĘDZYNARODOWE KOŁOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"
13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"
25-28.04.1989 ZAKOPANE

В.Р.Райс, А.И.Смелягин
Кафедра прикладной механики
Новосибирский электротехнический институт, СССР.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИН С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

Рассмотрены вопросы, связанные с исследованием динамических процессов и созданием общей теории расчёта машин и механизмов с электромагнитным приводом, разработана программа математической обработки осциллограмм рабочего процесса электромагнитных машин и приведены результаты счета программы для электромагнитного краскопульта.

I. Введение

Главной особенностью механизмов и машин с электромагнитным приводом является глубокая и тесная взаимосвязь между электрическими и механическими процессами, протекающими в них [1,2]. Поэтому несмотря на простую конструкцию электромагнитных машин, электромеханические процессы, обуславливающие их рабочий процесс, очень сложные и описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений, точное решение которых найти аналитическими методами не представляется возможным. Из-за сложности электромеханических процессов до настоящего времени не существует точных методов расчета механизмов и машин с электромагнитным приводом. В связи с этим экспериментальные исследования приобретают большую роль в изучении электромагнитных машин. Они необходимы не только для определения энергетических возможностей машин, но и для накопления экспериментальных данных, которые нужны для разработки новых более совершенных методов расчета.

2. Параметры, подлежащие обязательной регистрации при экспериментальных исследованиях электромагнитных машин

Анализ работ [1...5], посвященных исследованию электромагнитных машин, показывает, что они, в основном, посвящены изуче-

нию определенных вопросов и поэтому не содержат полный объем экспериментальных данных и не имеют ссылок на работы, где они опубликованы. Поэтому из них нельзя получить материал для комплексного анализа исследуемых в них машин с электромагнитным приводом и невозможно выполнить работы, связанные с созданием общей теории расчета таких машин.

Поэтому необходимо проводить исследование электромагнитных машин с обязательным опубликованием таких параметров, как:

1. Геометрические размеры магнитной цепи и машины в целом.
2. Материал стали магнитопровода и якоря.
3. Активное сопротивление R и число витков W намагничивающей обмотки, её размеры и условия намотки, диаметр обмоточного провода и его марка.
4. Статические характеристики, к которым относятся:
 - а) потокосцепление в функции тока $\Psi = f(i)$ при различных положениях якоря двигателя;
 - б) электромагнитная сила в функции положения якоря двигателя $F_y = f(x)$ при различных значениях тока, протекающего в обмотке;
 - в) индуктивность в функции положения якоря $L = f(x)$;
 - г) сила упругих элементов в функции их деформации $F_y = f(x)$.
5. Динамические характеристики

$$x = f(t), \quad x' = f(t), \quad x'' = f(t), \quad i = f(t), \quad u = f(t), \quad \Psi = f(t), \\ \Psi' = f(t), \quad F_{np} = f(t),$$

где x , x' , x'' - текущие координаты положения, скорости, ускорения якоря двигателя, t - время,

i , u , Ψ , Ψ' , F_{np} - мгновенные значения соответственно тока, протекающего в обмотке намагничивания; напряжения, приложенного к ней; потокосцепления; его производной; противодействующей силы.

6. Параметры, характеризующие полезную работу на выходе электромагнитных машин.

3. Обработка осциллограмм рабочего процесса электромагнитных машин с использованием ЭВМ

Наиболее полное представление о работе машины с электромагнитным приводом, об особенностях энергопреобразования, может дать анализ осциллограмм её рабочего процесса (динамических характеристик). Имея такую информацию, можно определить тепловые

потери, потери в стали, на трение, в упругих элементах, мощность, потребляемую из сети, полезную мощность, коэффициенты полезного действия отдельных узлов и всей машины в целом, а также другие показатели машины.

В связи с этим возникает задача исследования рабочего процесса электромагнитных машин и основных параметров, характеризующих их рабочий процесс, и затем совместная обработка результатов исследования. При этом целесообразно использовать методы математического и физического моделирования, вести разработку новых методов и приемов экспериментальных исследований и обработки экспериментальных данных с использованием вычислительных машин.

В данной работе предлагается методика обработки осциллограмм рабочего процесса электромагнитных машин на ЭВМ, которая позволяет сделать энергетический анализ процессов, происходящих в них. Для этого необходима регистрация (запись) осциллограмм основных параметров рабочего процесса: напряжения U , тока i , изменения потокосцепления во времени $\frac{d\psi}{dt}$ каждой обмотки, перемещения якоря x и противодействующего усилия (для насоса и краскульта - давление в насосных камерах p), записанных в координатах "исследуемая функция - время".

Обработка осциллограмм рабочего процесса производится в следующем порядке:

1. Разбивают время рабочего цикла на m интервалов.
2. Определяют масштабные коэффициенты записанных величин.
3. Измеряют значения записанных величин изучаемых параметров в каждой точке интервала.
4. Определяют истинные значения снятых параметров путем умножения измеренных значений на соответствующие масштабы.
5. Путем дифференцирования x определяют скорость x' и ускорение x'' якоря двигателя, и интегрируя $\frac{d\psi}{dt}$, находят потокосцепление ψ .

6. Рассчитывают мгновенные значения мощностей по формулам:

$$P_c(t) = U(t) \cdot i(t); \quad P_n(t) = F_{np}(t) \cdot x'(t);$$

$$P_{эм}(t) = i(t) \cdot \psi'(t); \quad P_T(t) = R \cdot i^2(t);$$

$$P_{ст}(t) = P_c(t) - P_T(t) - P_{эм}(t); \quad P_{тп}(t) = P_{эм}(t) - P_n(t),$$

где P_c - мощность, потребляемая из сети; P_n - полезная

мощность электромагнитного двигателя; $P_{ЭМ}$ - электромагнитная мощность - мощность, преобразованная электромагнитом из электрической в механическую работу; P_T , $P_{ст}$, $P_{тр}$ - потери на тепло, в стали и на трение.

Для двухобмоточного двигателя мгновенные значения мощностей рассчитываются для каждой обмотки отдельно, а затем суммируются. Так, для двухобмоточного электромагнитного двигателя

$$P = P_1 + P_2.$$

7. Определяют работы графическим подсчетом площадей под кривыми соответствующих мгновенных мощностей или численным интегрированием кривых мощностей

$$A = \int_0^T P(t) dt.$$

8. Подсчитывают значения мощностей за один рабочий цикл

$$P = A/T.$$

9. Находят коэффициенты полезного действия:

$$\eta_m = \frac{P'_n}{P_c}; \quad \eta_{ЭМ} = \frac{P_n}{P_c}; \quad \eta_{ЭМ} = \frac{P_{ЭМ}}{P_c},$$

где η_m , $\eta_{ЭМ}$, $\eta_{ЭМ}$ - коэффициенты полезного действия машины, двигателя, электромагнита, соответственно; P'_n - мощность на выходе электромагнитной машины, в частном случае может быть равна полезной мощности двигателя.

Для насоса и краскопульта полезную мощность на выходе машины определяют по выражению:

$$P'_n = Q \cdot p_c$$

где Q - производительность насоса; p_c - среднее давление на выходе насоса.

Для математической обработки осциллограмм рабочего процесса электромагнитных машин на ЭВМ разработан алгоритм и составлена программа расчета, блок-схема которой приведена на рис. 1.

В программе предусмотрено численное дифференцирование и интегрирование экспериментальных кривых. В процессе отладки программы выявлено, что формулы численного дифференцирования [6] не могут быть использованы, так как дают большие погрешности из-за разброса экспериментальных точек, а также накладывают ограничение кратности числа интервалов времени пяти, шести или семи, что неудобно для разбивки интервалов. Поэтому предложено функцию перемещения аппроксимировать методом наименьших квадратов в виде полинома n -й степени, а затем продифференцировав

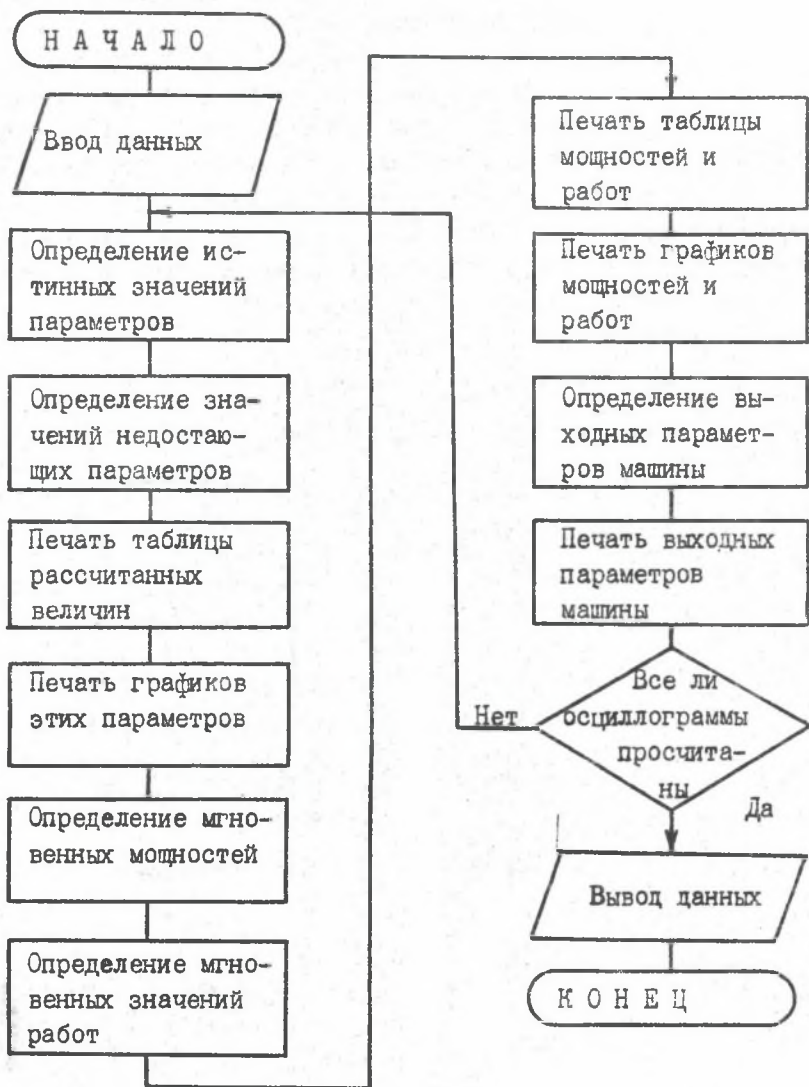


Рис. I. Схема алгоритма

полином, найти производную исследуемой величины. Численное интегрирование проводится по правилу трапеций.

Разработанная программа может применяться для обработки осциллограмм различных одно- и двухобмоточных электромагнитных машин. По разработанной программе на ЭВМ БЭСМ-6 была произведена математическая обработка 80 осциллограмм различных режимов работы электромагнитного краскопульта, описанного в [7]. На рис.2 изображена типичная осциллограмма, на которой записаны $x(t)$, $i(t)$, $u(t)$, $\psi'(t)$, $F_{np}(t)$. В результате счета этой осцилло-

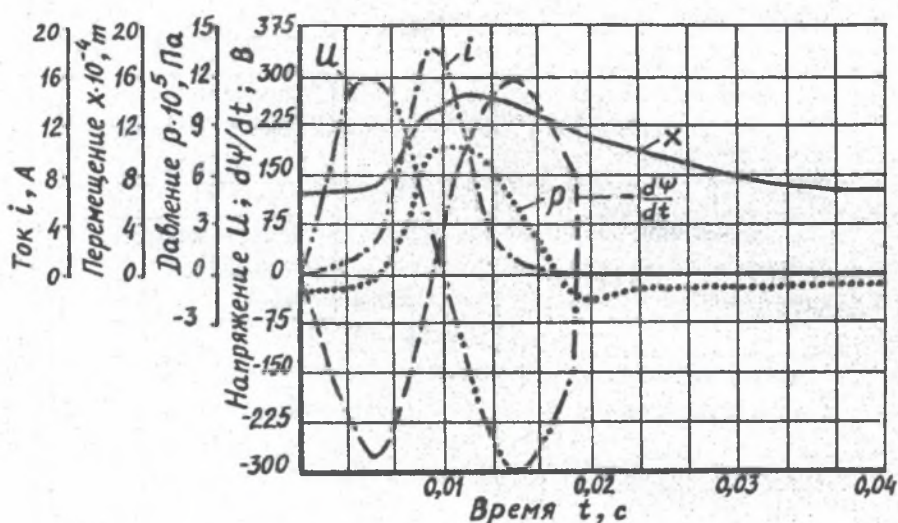


Рис.2. Осциллограмма рабочего процесса краскопульта

граммы ЭВМ выдаёт численные значения x , x' , x'' , ψ , ψ' , u , i , F_{np} , t , мгновенных мощностей и работ, и строит их графики, а также печатает следующие выходные данные о машине: частота колебаний якоря электромагнитного двигателя $f = 25,095$ Гц; напряжение сети $u = 213,059$ В; максимальный ток $I_{max} = 22,86$ А; средний ток $i_{cp} = 3,06$ А; полная мощность $P = 252,624$ Вт; $\cos \varphi = 0,2837$; давление на удочке $p_y = 5,0$ кг/см²; расход жидкости $Q = 1,4$ л/мин; тепловые потери $P_T = 42,465$ Вт; потери в стали $P_{ст} = 2,987$ Вт; потери в диафрагме и на трение $P_{тр} = 7,777$ Вт; электромагнитная мощность $P_{эм} = 26,213$ Вт; полезная мощность электромагнитного двигателя $P_n = 18,436$ Вт; мощность, потребляемая из сети $P_c = 71,664$ Вт; мощность на выходе крас-

копульта $P_n' = 11,438$ Вт; КПД электромагнита $\eta_{эм} = 36,577\%$; КПД диафрагмы $\eta_{д} = 70,0\%$; КПД двигателя $\eta_{дв} = 25,725\%$; КПД насоса $\eta_n = 62,041\%$ и КПД краскопульта (всей машины) $\eta_{кр} = 15,960\%$.

Время счета программы на ЭВМ БЭСМ-6 занимает 94 сек, что даёт выигрыш во времени 40...60 часов на одну осциллограмму.

Разработанная программа может применяться для обработки осциллограмм различных одно- и двухобмоточных электромагнитных машин и позволяет быстро сделать энергетический анализ процессов, протекающих в машинах, и выбрать рациональный рабочий цикл машин.

Л и т е р а т у р а

- 1 Ряшенцев Н.П., Тимошенко Е.М., Фролов А.В.: Теория, расчет и конструирование электромагнитных машин ударного действия. - Новосибирск: Наука, 1970, 260 с.
- 2 Малов А.Т., Ряшенцев Н.П. и др.: Электромагнитные молоты. - Новосибирск: Наука, 1979, 269 с.
- 3 Ряшенцев Н.П., Чаплыгин Н.В.: К расчету динамических характеристик электромагнита. - В кн.: Электромагнитные машины возвратно-поступательного движения. - Новосибирск, 1971, с.40-46.
- 4 Ряшенцев Н.П., Малов А.Т., Федонин В.Н., Угаров Г.Г.: Расчет динамических характеристик электромагнитных молотов. - В кн.: Электрические импульсные системы. - Новосибирск, 1976, с.3-12.
- 5 Электромагнитные машины ударного действия. /Под ред.Н.П.Ряшенцева. - Новосибирск, 1978.
- 6 Березин Н.С., Жидков Н.П.: Методы вычислений, том 2. - Москва: Физматгиз, 1962, 420 с.
- 7 Смелягин А.И., Мисюк Ю.П.: Разработка и создание электромагнитного нагнетателя водных составов. - В кн.: Электромагнитные машины ударного действия. - Новосибирск, 1979, с.90-95.

BADANIE PRZEBIEGÓW DYNAMICZNYCH
MASZYN Z NAPIĘDEM ELEKTROMAGNETYCZNYM

S t r e s z c z e n i e

Rozpatrywano problemy związane z badaniem przebiegów dynamicznych i stworzeniem ogólnej teorii obliczenia maszyn i mechanizmów o napędzie elektromagnetycznym. Opracowano program do badania tych przebiegów oraz przedstawiono wyniki obliczeń dla aparatu natryskowego elektromagnetycznego.

DYNAMICS PROCESSES INVESTIGATION OF THE MACHINES
AND MECHANISMS WITH ELECTROMAGNETIC REVERSIBLE DRIVE

S u m m a r y

Studying dynamics processes and originating the theory of the machines and mechanisms calculation is demonstrated. The program of mathematical processing of working oscilograms for electromagnetic painting pressure device is given.

Recenzent: prof. dr hab. inż. J. Wojnarowski

Wpłynęło do Redakcji 9.XI.1988 r.