

Направление подготовки: 140400 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электрический транспорт

Квалификация (степень) выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Дисциплина: "Электрооборудование и системы управления электроподвижным составом"

Комаров В.Г. Практическая работа №2 2026г.

Тема: Сопротивление движению электроподвижного состава при магнитной левитации.

Электромагнитное сопротивление движению

При движении тягового левитационного модуля относительно путевой балки происходят два электромагнитных процесса, вызывающих потери энергии и соответствующее этому сопротивление движению.

Первый процесс связан с намагничиванием и размагничиванием путевой балки. Этот процесс идёт по частичному циклу намагничивания в пределах петли намагничивания материала путевой балки. Гистерезис связан с изменением ориентации магнитных доменов и вызывает потери энергии при намагничивании и размагничивании материала путевой балки. Величина этих потерь пропорциональна площади, охватываемой петлёй гистерезиса, умноженной на количество циклов перемагничивания.

Второй процесс связан с возникновением вихревых токов в путевой балке вследствие изменения магнитного потока при перемещении тягового левитационного модуля. Вихревые токи являются реальными токами, создаваемыми в путевой балке магнитным потоком индуктора левитационного модуля при его движении относительно путевой балки вследствие её электропроводности.

Оценочно суммарные электромагнитные потери от движения тягового левитационного модуля можно определить также, как и для вращающихся машин постоянного тока по известной экспериментальной формуле удельной мощности потерь

$$p = (4,4 \cdot f + 5,6 \cdot f^2) \cdot 10^{-2} \cdot \Delta B^2 \quad \text{Вт/кг,}$$

где f — частота перемагничивания магнитопровода, Гц

ΔB - диапазон изменения магнитной индукции в магнитопроводе, Тл.

Частота перемагничивания определяется скоростью V перемещения магнитолевитационного модуля и длиной магнитной волны $\lambda = 2\tau$

$$f = \frac{V}{\lambda} \quad \text{Гц.}$$

Масса перемагничиваемого магнитопровода это масса активной части путевой балки длиной равной длине магнитолевитационного модуля.

Пример

Определим удельное электромагнитное сопротивление движению транспортного модуля ЭЛТРО: длина магнитной волны $\lambda = 0,2$ м;

длина магнитолевитационного модуля $l_m=0,65$ м;

количество магнитолевитационных модулей на транспортный модуль $n=4$;

удельная масса активной части путевой балки $m_6=24$ кг/м;

полная масса транспортного модуля $m_n=1600$ кг;

магнитная индукция в путевой балке:

максимальная $B_m=0,75$ Тл;

остаточная $B_r=0,45$ Тл.

Удельное электромагнитное сопротивление движению

$$w_{эм} = \frac{n \cdot m_6 \cdot l_m}{m_n \cdot V} \cdot p = \frac{n \cdot m_6 \cdot l_m}{m_n} \left(\frac{4,4}{\lambda} + \frac{5,6 \cdot V}{\lambda^2} \right) \cdot 10^{-2} \cdot \Delta B^2 = \frac{4 \cdot 24 \cdot 0,65}{1600} \left(\frac{4,4}{0,2} + \frac{5,6 \cdot V}{0,2^2} \right) \cdot 10^{-2} \cdot 0,3^2$$
$$w_{эм} = 7,72 \cdot 10^{-4} + 4,914 \cdot 10^{-3} \cdot V \quad \text{Н/кг.}$$

Аэродинамическое сопротивление движению

Удельное аэродинамическое сопротивление движению для маглева определяется как и для других транспортных средств по формуле

$$w_6 = \frac{\alpha \cdot S \cdot V^2}{m} \quad \text{Н/кг,}$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления ТС, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

S — площадь поперечного сечения ТС, м^2 ;

V — скорость движения ТС, м/с ;

m — масса ТС, кг .

Пример

Определим удельное аэродинамическое сопротивление движению транспортного модуля ЭЛТРО:

$\alpha = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

$S = 4 \text{ м}^2$;

$m = 1600 \text{ кг}$.

Удельное аэродинамическое сопротивление движению

$$w_6 = \frac{0,3 \cdot 4 \cdot V^2}{1600} = 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \quad \text{Н/кг}$$

```
Файл  Правка  Формат  Настройки  Окно  Выполнить  Справка
MR_mgl_max.sce (/home/slv/Sci_PROJ/MR_mgl_max.sce) - SciNotes
MR_mgl_max.sce  MR.sce
1 //Программа -расчёта -удельного -сопротивления -движению -"Mechanical_Resistance"
2 v=[0:1:30];
3 w_em=7.72E-4+4.91E-3*v;
4 w_aero=7.5E-4*v^2;
5 w_mgl=7.72E-4+4.91E-3*v+7.5E-4*v^2; //маглев
6 plot(v,w_em,v,w_aero,v,w_mgl);
7 xgrid();
8 xtitle('Удельное -сопротивление -движению -маглева','v,-м/с','w,-Н/кг');
9 legend('w_em','w_aero','w_sum',2)
10
11
```

