

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ
ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ Ш-ОБРАЗНОГО
ЭЛЕКТРОМАГНИТА С ПОПЕРЕЧНО ДВИЖУЩИМЯ ЯКОРЕМ**

В. Н. ГУРНИЦКИЙ

(Представлена научным семинаром электромеханического факультета)

Существующие способы вычисления магнитных проводимостей воздушных промежутков электромагнитов вследствие трехмерности (в общем случае) магнитного поля и громоздкости самих методов расчета не дают полной уверенности в достаточной сходимости полученных в результате расчета данных с их истинными значениями. Если в случае простых геометрических форм воздушных промежутков расчет их проводимостей относительно несложен [1—4], то при необходимости вычислить проводимости зазора рассеяния и выпучивания для электромагнита такие вычисления часто оказываются практически невыполнимыми. В ряде случаев однако можно воспользоваться некоторыми опытными кривыми магнитных проводимостей воздушных промежутков для расчета магнитной цепи электромагнита.

Рассмотрим здесь случай Ш-образного электромагнита с поперечно движущимся якорем, являющимся элементом 4-обмоточного линейного двигателя [5].

Бегуны двухобмоточных и трехобмоточных линейных двигателей при перегрузках обладают свойством самореверса. Самореверс бегуна значительно устраняется при возрастании числа обмоток статора двигателя, но при этом возрастают также веса активных материалов на единицу мощности двигателя; четырехобмоточная конструкция в этом отношении является оптимальной. Геометрические размеры ярма и якоря электромагнита целесообразно отнести к величине перемещения якоря τ из начального положения (рис. 1, а) в конечное (рис. 1, б). Тогда относительная высота пакета железа электромагнита

$$b_{\tau} = \frac{b}{\tau},$$

относительная длина зубца якоря

$$l_{\tau} = \frac{l}{\tau},$$

относительная длина сердечника ярма

$$h_{\tau} = \frac{h}{\tau},$$

относительная величина перемещения якоря

$$x_{\tau} = \frac{x}{\tau}$$

относительная величина воздушного зазора электромагнита

$$\delta_{\tau} = \frac{\delta}{\tau}$$

Введение относительных единиц для выражения геометрических размеров данного электромагнита позволяет:

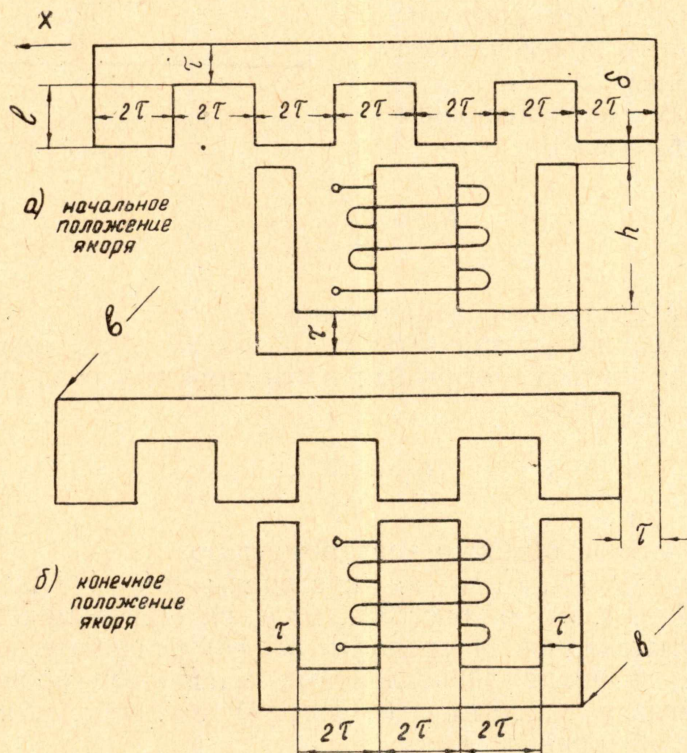


Рис. 1. Ш-образный электромагнит с поперечно движущимся якорем.

а) связать между собой значения проводимостей воздушных промежутков для различных b_{τ} , l_{τ} , x_{τ} , δ_{τ} , построив семейство кривых эквивалентных магнитных проводимостей воздушных промежутков $G_{\tau} = f(b_{\tau}, l_{\tau}, x_{\tau}, \delta_{\tau})$ при каком-то определенном значении τ ;

б) вычислить по построенным кривым простым пересчетом величины проводимостей воздушных промежутков для любого τ ;

в) проследить влияния геометрии магнитопровода, δ_{τ} и x_{τ} на величины G_{τ} . Построение семейства кривых $G_{\tau} = f(b_{\tau}, l_{\tau}, x_{\tau}, \delta_{\tau})$ проводилось следующим образом. По катушке электромагнита пропускали переменный ток I заданного напряжения U (все замеры проводились при ненасыщенном магнитопроводе). При $x_{\tau} = 0$ (конечное положение якоря и $\delta_{\tau} = 0$ ($b_{\tau} = \text{const}$, $l_{\tau} = \text{const}$) ток был минимальным; при увеличении x_{τ} и δ_{τ} ток возрастал. Представим ток I при любых $b_{\tau} = \text{const}$, $l_{\tau} = \text{const}$, $x_{\tau} = \text{const}$, $\delta_{\tau} = \text{const}$ в виде двух составляющих (рис. 2): $I_{\text{ж}}$ — ток, пропорциональный магнитному сопротивлению магнитопровода; $I_{\text{в}}$ — ток, пропорциональный эквивалентному магнитному сопротивлению всех путей потока индукции по воздуху.

Ток $I_{ж}$ измерялся при $x_{\tau}=0$, $\delta_{\tau}=0$, $b_{\tau}=\text{const}$, $l_{\tau}=\text{const}$ и считался постоянным при всех остальных значениях x_{τ} и δ_{τ} . Это допущение оказывалось справедливым, так как, когда $I_{ж}$ и $I_{в}$ соизмеримы, то есть x_{τ} и δ_{τ} близки к нулю, ошибка $\Delta I_{ж}$ также близка к нулю; когда $\Delta I_{ж}$ начинает сколько-нибудь изменяться $I_{в} \gg I_{ж}$. Таким образом, согласно первому закону Кирхгофа,

$$I_{в} = I - I_{ж}. \quad (1)$$

Эквивалентная индуктивность $L_{в}$ (рис. 2), пропорциональная эквивалентной магнитной проводимости воздушных промежутков G_{τ} , для различных b_{τ} , l_{τ} , x_{τ} , δ_{τ} равна (активным сопротивлением обмотки пренебрегаем)

$$L_{в} = \frac{U}{2\pi f \cdot I_{в}}, \quad (2)$$

где

f — частота питающего напряжения U .

Величины $L_{в}$ для различных b_{τ} , l_{τ} , x_{τ} , δ_{τ} были пересчитаны на значения эквивалентных магнитных проводимостей воздушных промежутков G_{τ} по формуле

$$G_{\tau} = \frac{L_{в}}{\omega^2}, \quad (3)$$

где ω — число витков обмотки электромагнита.

Кривые $G_{\tau} = f(b_{\tau}, l_{\tau}, x_{\tau}, \delta_{\tau})$ построены для $b_{\tau} = 2 \div 5$, $l_{\tau} = 1 \div 3$, $x_{\tau} = 0 \div 2$, $\delta_{\tau} = 0 \div 0,1$, $h_{\tau} = 6$ (рис. 3 а, б, в, г). При изменении $h_{\tau} = 5 \div 7$ значения G_{τ} отклонялись от среднего ($h_{\tau} = 6$) незначительно.

Расчетные значения эквивалентных магнитных проводимостей G для электромагнита с любым τ' (в метрах) получим, умножив значения G_{τ} , взятые из кривых, на τ_0

$$G = G_{\tau} \cdot \tau_0, \quad (4)$$

где $\tau_0 = \frac{\tau'}{0,01}$; 0,01 — значение τ (в метрах) электромагнита, на котором снимались кривые

$$G_{\tau} = f(b_{\tau}, l_{\tau}, x_{\tau}, \delta_{\tau}).$$

Действительно, формула (4) справедлива, так как проводимость подобного электромагнита с $\tau' \neq \tau$ изменяется в $\frac{\tau'}{\tau}$ раз. Проводимость G_{τ} , например, при больших значениях b , l малом δ и $x=0$ может быть вычислена

$$G_{\tau} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{b \cdot \tau}{\delta}. \quad (5)$$

Если

$$b = 5\tau, \quad \delta = 0,025 \cdot \tau,$$

то

$$G_{\tau} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{5\tau \cdot \tau}{0,025\tau} = 8\pi \cdot 10^{-5} \cdot \tau,$$

т. е. G_{τ} линейно зависит от τ .

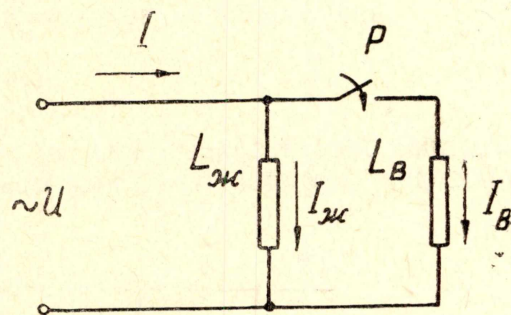
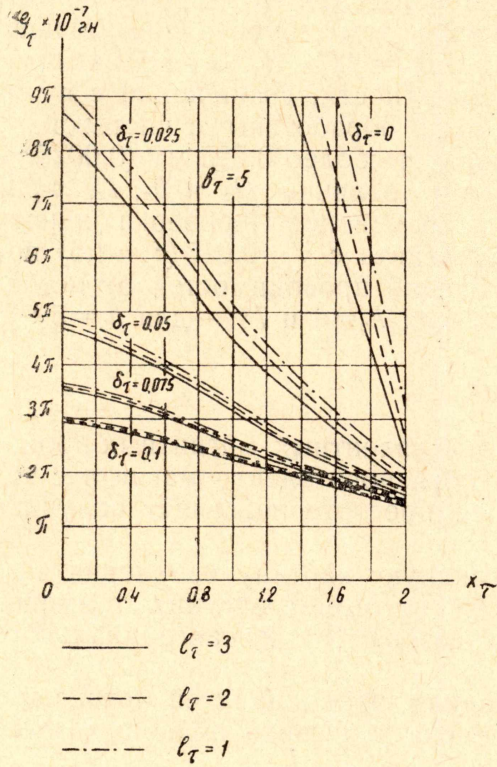
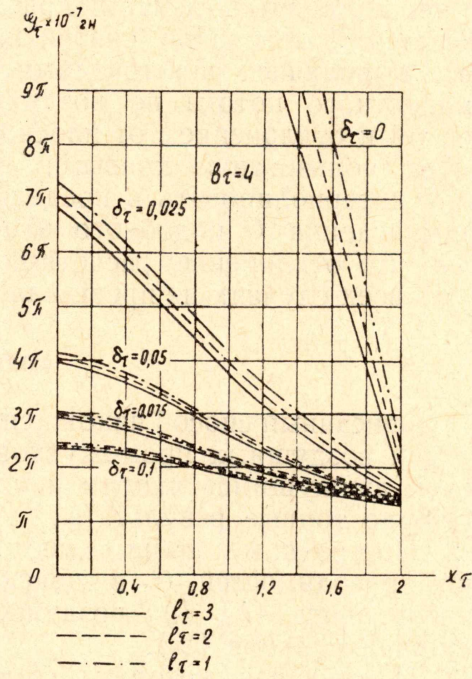


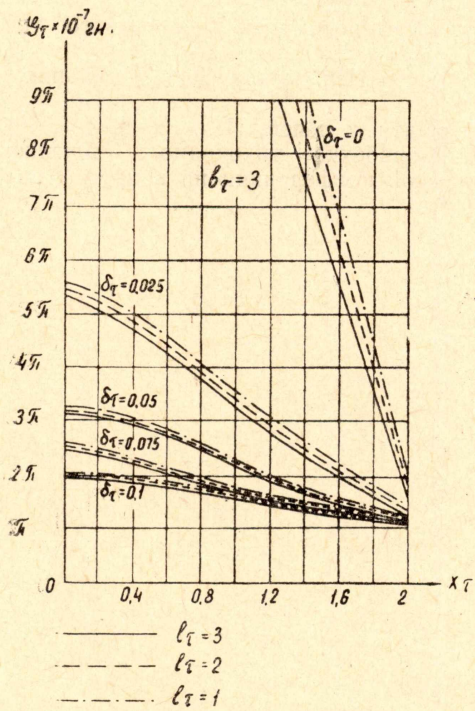
Рис. 2. Схема замещения магнитной цепи электромагнита.



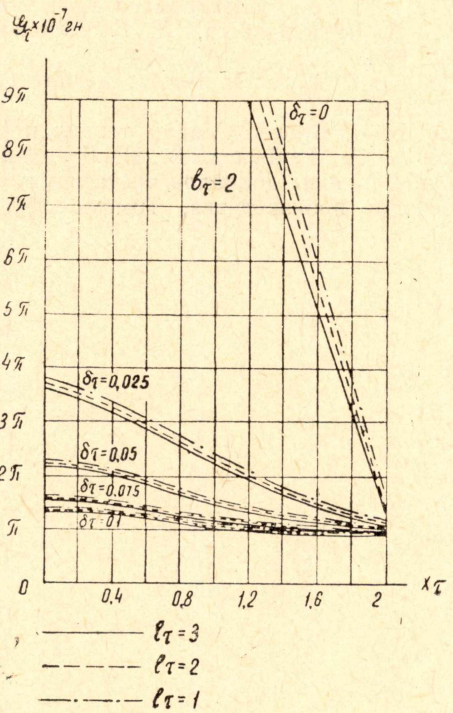
a



b



v



g

Рис. 3 а, б, в, г. Кривые эквивалентных магнитных проводимостей воздушных промежутков ш-образного электромагнита с поперечно движущимся якорем.

Формула (4) является точной для однородных полей и приближенной для неоднородных, причем приближение тем грубее, чем больше отличается τ' от τ . При снятии кривых $G_\tau = f(b_\tau, l_\tau, x_\tau, \delta_\tau)$ магнитопровод выполнялся шихтованным и поверхности, граничащие с путями магнитного потока по воздуху, были обработаны с чистотой не менее $\nabla 4$ и отклонением от плоскостности не более 0,025 мм (0,0025 τ).

При пользовании кривыми значения величин G_τ и $b_\tau, l_\tau, x_\tau, \delta_\tau$ можно интерполировать в пределах их изменений. Проверка кривых для вычисления G подобного электромагнита с $\tau' = 0,015$ ($\tau_0 = 1,5$) показала, что отклонение расчетных значений проводимостей от истинных во всех случаях не превышало 5% для $h_\tau = 6$ и 7% — для $h_\tau = 5 \div 7$.

Выводы

1. Описанный способ нахождения эквивалентных магнитных проводимостей воздушных промежутков Ш-образного электромагнита с поперечно движущимся якорем при своей простоте позволяет получить достаточно точные результаты.

2. Построенные кривые дают наглядную картину изменения значений проводимостей G_τ в зависимости от геометрических размеров магнитопровода (b_τ, l_τ), воздушного зазора (δ_τ) и тангенциального перемещения якоря (x_τ).

3. Изложенная методика определения проводимостей потока индукции по воздуху может быть применена для серии подобных электромагнитов любого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротерс. Электромагнитные механизмы, ГЭИ, 1949.
2. А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока, ГЭИ, 1960.
3. Ю. С. Русин. Расчет магнитной проводимости Изв. вузов «Электромеханика», № 12, 1963.
4. Б. К. Буль. Основы теории и расчета магнитных цепей, Изд. «Энергия», 1964.
5. А. И. Зайцев, В. Н. Гурницкий. Разработка тихоходного линейного привода. Тезисы докладов третьей научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства, Томск, 1964.