

Пример расчета магнитоэлектрической двигателя момента (Д.М.) с воздушным магнитом.

Задание: Найти момент, развиваемый Д.М. с размерами
 $D_{корпус} = 40 \text{ мм}$; $\Delta_{техн} = 0,25 \text{ мм}$; $\Delta_{карс.} = 0,4 \text{ мм}$; $R_{дм} = 200 \text{ Ом}$
 $\gamma = 4 \text{ мм}$; $\frac{D_{корп}}{L_{корп}} = 1,5$. Материал магнита - сплав ЮНДК-25БА
 Магнит намагничивается в боре с магнитопроводом.
 Такелмажный рабочий угол Д.М. $\alpha_p = 5^\circ$
 Температурный перепад датчика до 20°C
 Сердечник магнитопровода - сталь Арико (индукция насыщ. $2T_A$)

Этап 1. Выверчивается жезл Д.М.

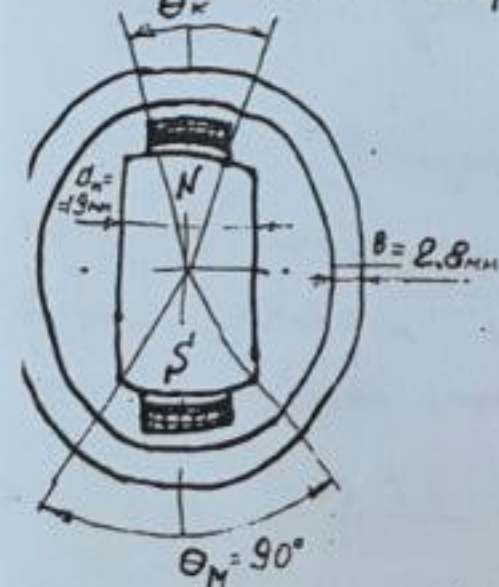
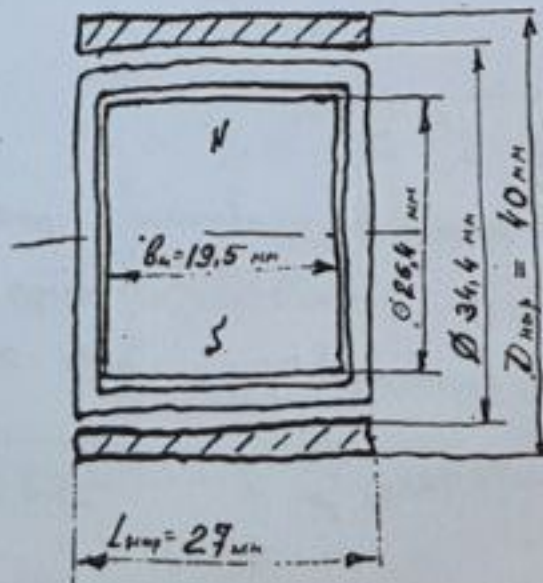


Рис. 1



Для начала расчета
 толщина кольца в
 вывертке равной $0,07 D_{корп}$.
 Затем значение в расчете
 учитывается из условия
 обеспечения индукции в
 магнитоприводе $\sim 1,8 \div 1,9 T_A$.

$$b = 0,07 \cdot 40 = 2,8 \text{ мм}$$

$$\theta_m = 90^\circ - \text{рац. значение}$$

$$\theta_k = \theta_m \cdot 0,9 - 2\alpha_p = 71^\circ$$

$$L_{корп} = \frac{40}{1,5} \approx 27 \text{ мм}; \text{ Толщина катушки } = 4 - 2 \cdot 0,25 - 0,4 = 3,1 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина катушки} = 2 R_{ср. катуш.} \cdot \sin \frac{\theta_k}{2} = 2(20 - 2,8 - 0,25 - 1,505) \sin \frac{71^\circ}{2} \approx 18 \text{ мм}$$

$$\text{Длина дуги катушки} - l_{дуги} = R_{ср. катуш.} \cdot \frac{71^\circ}{57,3} \approx 19 \text{ мм}$$

$$\text{Диаметр магнита} - D_m = 40 - 2 \cdot (2,8 + 4) = 26,4 \text{ мм}$$

$$\text{Высота магнита} - b_m = 27 - (3,1 + 0,4 + 0,25) \cdot 2 = 19,5 \text{ мм}$$

$$\text{Ширина магнита} - a_m = 2 R_m \cdot \sin \frac{\theta_m}{2} = 13,2 \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ \approx 19 \text{ мм}$$

Этап 2. Расчет магнитной цепи.

Определяется проводимость воздушного зазора.

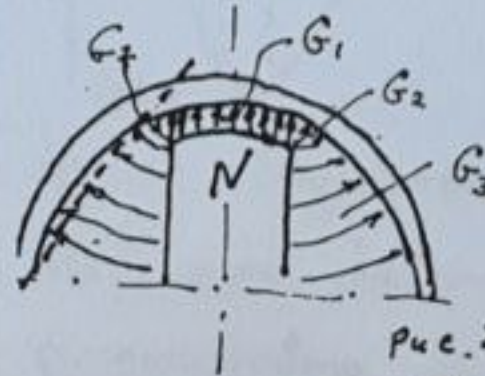


Рис. 2

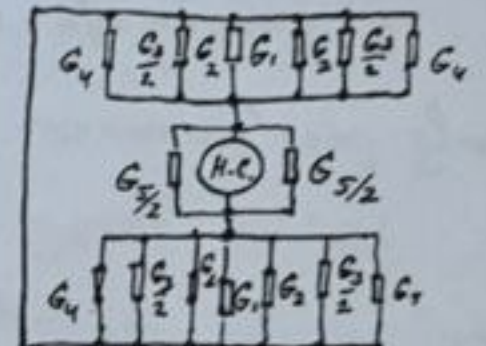
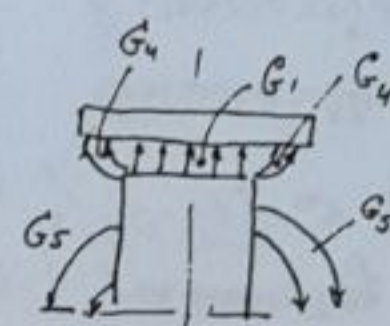
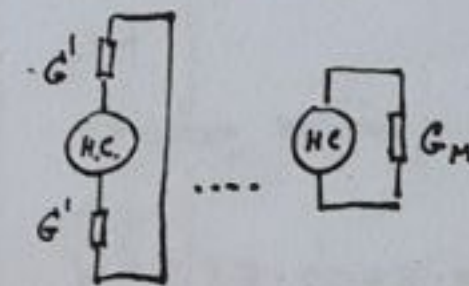


Рис. 3

$$G_1 = \mu_0 \cdot b_m \cdot \frac{\Phi_m}{l_m \frac{D_m + 25}{D_m}} = 4 \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\pi/2}{l_m \frac{26,4 + 8}{26,4}} \cdot 19,5 \cdot 10^{-3} = 1,45 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

Затем определяются по формулам для проводимостей (см. справочник
 по рел. Ю.М. Пяткина "Постоянные магниты" изд. Энергия) G_2, G_3, G_4 .
 Проводимость G_5 пренебрегаем. При определении G_3 производим
 аппроксимацию цилиндрической поверхности "эквивалентной" плоскостью
 (см. пунктир на рис. 2). *

Преобразуем схему магнитной цепи:

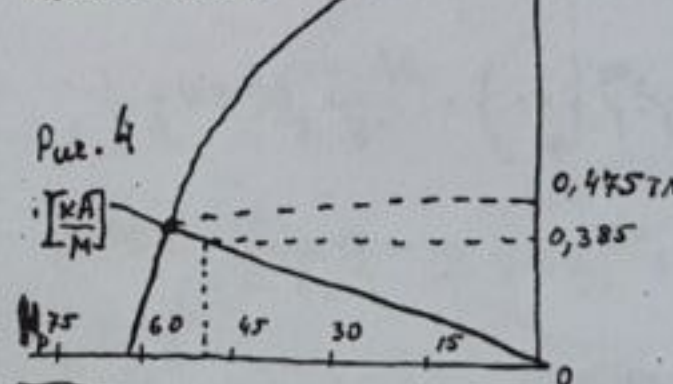


$$G' = G_1 + 2(G_2 + \frac{G_3}{2} + G_4)$$

$$G'_m = \frac{G'}{2} = 1,085 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

$$K_{разм} = G'_m \cdot \frac{l_m}{S_m} = 1,085 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{26,4 \cdot 10^{-3}}{19,5 \cdot 10^{-6}} = 0,77 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \left(\frac{T_A}{\text{А/м}} \right)$$

Кривую размагничивания
 рис. 4 взята из справочника
 Пяткина Ю.М.



$$K_{разм} = 0,77 \cdot 10^{-5} \frac{T_A}{\text{кА/м}}$$

$$\text{Возьмем } H = 50 \text{ кА/м}$$

$$B = 50 \cdot 0,77 \cdot 10^{-5} = 0,385 \text{ Тл}$$

$$\text{Индукция в магнитной цепи после статизации} = 0,475 \text{ Тл}$$

$$B_d = 0,9 \cdot 0,475 = 0,43 \text{ Тл}$$

$$B_{ср} = \frac{2B_d}{(1 + \frac{S_m}{S_{корп}}) K_{разм} \theta_k} \sin \frac{\theta_k}{2} \cos \alpha_{разм} \cdot \alpha_{разм} = 0$$

Примечание: В примере расчеты по определению $G_2 \dots G_4$ опущены.
 В итоге по заданию расчеты по определению $G_2 \dots G_4$ и любые другие

Коэффициент рассеивания $K_{\text{рас}} = \frac{G_M}{G_{1/2}} = \frac{1,085 \cdot 10^{-7} \cdot 2}{1,45 \cdot 10^{-7}} = 1,5$
превышение
рабочей толщи газора

$$B_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 0,43 \cdot \sin \frac{71^\circ}{2}}{\left(1 + \frac{4}{26,4}\right) \cdot 1,5 \cdot \frac{71^\circ}{57^\circ}} = 0,23 \text{ Тл.}$$

индукция в магнитопроводе (максимальная) - $B_M = B_d \cdot \frac{S_{\text{магнит}}}{S_{\text{магнитпровода}}} =$
 $= 0,43 \cdot \frac{19 \cdot 19,5}{2 \cdot 27 \cdot 2,8} = 0,95 \text{ Тл. } B_M < B_{\text{насыщения}} \quad (\checkmark)$

B_M значительно меньше 1,8...1,9 Тл, следовательно магнитопровод
 выбран слишком толстым. Необходимо уменьшая толщину кабеля в
 повторной расчёт методом посеребрённых приближений добиваться
 выполнения условия $1,8 < B_M < 1,9 \text{ Тл}$.

Этап 3. Расчёт обмотки



Рис. 5

$l_{\text{жиз}} = 19 \text{ мм. } S_{\text{жиз}} = 3,1 \cdot 19 = 58,9 \text{ мм}^2$

$W = \frac{S_{\text{жиз}}}{S_{\text{проб}}} K_{\text{зап}}; R_{\text{жиз}} = \rho \frac{l_{\text{жиз}}}{S_{\text{проб}}} W$, а следовательно $S_{\text{проб}}$

$W = \sqrt{\frac{S_{\text{жиз}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot R_{\text{жиз}}}{l_{\text{жиз}} \cdot \rho}}; \rho = 0,017 \frac{\Omega \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$K_{\text{зап}}$ (коэффициент заполнения) неизвестен. Для начала берём $\sim 0,5$

$l_{\text{жиз.ср}} = 2 \cdot 19,5 + 4 \left(0,25 + 0,4 + \frac{3,1}{2}\right) + 2 \cdot 26,4 + 4 \left(0,25 + 0,4 + \frac{3,1}{2}\right) = 109,4 \text{ мм} = 0,1094 \text{ м}$

$W = \sqrt{\frac{58,9 \cdot 0,5 \cdot 200}{0,1094 \cdot 0,017}} = 1770 \text{ витков. } S_{\text{проб}} = \frac{S_{\text{жиз}} \cdot K_{\text{зап}}}{W} = \frac{58,9 \cdot 0,5}{1770} = 0,017 \text{ мм}^2$

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{проб}}}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,017}{\pi}} = 0,146 \text{ мм} \approx 0,14 \text{ мм}$
Округлить до ближайшего стандартного значения d в меньшую сторону!

Для провода 0,14 $K_{\text{зап}}^* = 0,55$ - близко к выбранному значению, и больше.
(см. таблицу) Можно расчёт не повторять.

Если $K_{\text{зап}}^*$ сильно отличается от $K_{\text{зап}}$ или $K_{\text{зап}}^* < K_{\text{зап}}$, то расчёт повторить
 с $K_{\text{зап}} = K_{\text{зап}}^*$.

Этап 4. Расчёт мощности, температуры и критерия качества

$P \approx L \cdot S_{\text{пов}} \cdot \Delta t$ для свод. конденсаторов при давл. 1 атм. $L \sim 0,7 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ВТ}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

$S_{\text{пов}} = \left(\frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot 2 + \pi \cdot 4 \cdot 2,7\right) \text{ см}^2; \Delta t \text{ (перев)} = 20^\circ$

$P = 0,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ВТ}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (\dots) \cdot 20^\circ = 0,95 \text{ ВТ}; T_{\text{ок}} Y = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,95}{200}} = 0,069 \text{ А} = 69 \text{ мА}$

Мощность $M = B_{\text{ср}} \cdot Y \cdot W \cdot S_{\text{актив}}; S_{\text{актив}} = 19,5 \cdot \left[26,4 + 2 \left(0,25 + 0,4 + \frac{3,1}{2}\right)\right] 10^{-6} \text{ м}^2 =$
 $= 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

$M = 0,23 \cdot 0,069 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 1770 = 1,48 \cdot 10^{-2} \text{ Нм} = 148 \text{ сНсм}$

Критерий качества $\frac{M}{\sqrt{P} \cdot G_{\text{жиз}}}; G_{\text{жиз}} (\text{век Д.М.}) = \gamma_{\text{ср}} \cdot \frac{\pi D_{\text{нар}}^2}{4} L_{\text{нар}}$

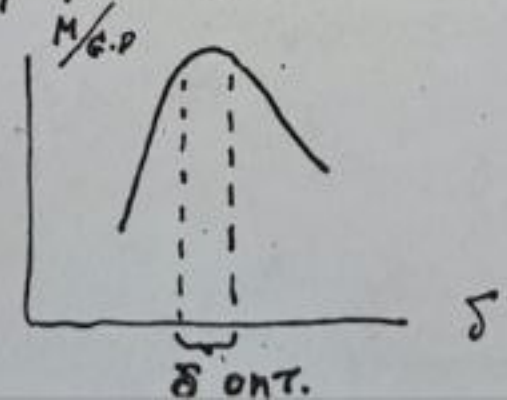
$\gamma_{\text{ср}} = \gamma_{\text{Fe}} \cdot K_{\text{зап Fe}} = 0,078 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2} \cdot (0,75 \dots 0,85) = 0,0615 \text{ Н/см}^2$
берём 0,8

$G_{\text{жиз}} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot 2,7 \cdot 0,0615 = 2,1 \text{ Н}$

$\frac{M}{\sqrt{P} \cdot G} = 0,725 \frac{\text{Нсм}}{\text{Н} \cdot \sqrt{\text{ВТ}}}$

Далее уменьшая размер δ и повторяя расчёт
 Д.М., соответствующее максимальному значению $\frac{M}{\sqrt{P} \cdot G}$

Оптимизацию провести с помощью ЭВМ. В итоге
 представить программу, результаты оптимизации и
 график зависимости $\frac{M}{(G \cdot \sqrt{P})}$ от δ . Эскиз Д.М.



выполнить на миллиметровой бумаге
 в масштабе и приложить к
 отчету.