

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

КУРСОВ ПРОЕКТ

по

Електрически апарати за
автоматиката

Проектиране на неутрално
електромагнитно реле

Изготвил: Цветелин Качов
фак. N 02027081
14 гр. 4 курс

Ръководител: Хинов

София, 2002

1. Изходни данни:

-номинално напрежение:	$U := 48$
-номинален ток на загреване:	$I := 6$
-комутационна възможност при активен товар($T=0$):	0.9 A
-брой контактни системи:	$1N3$
-захранващо напрежение на намотката:	$U_{\text{нам}} := 18 \text{ V}$
-степен на защита:	$IP 00$
-ел.присъединяване:	чрез клеморед

2. Проектиране на релето.

2.1 Контактна система

- за контактните основи избирам : бронз-фосфорен марка: Бр-Оф6,5

$$\sigma_{\text{доп}} := 160 \div 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{взимаме:} \quad \sigma_{\text{доп}} := 160 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

-материал на контактното тяло: Ag

контактната сила според табл.10:

$$f_k := 0.01 \div 0.03 \frac{\text{N}}{\text{A}} \quad \text{избираме:} \quad f_k := 0.03 \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

$$F_k := I \cdot f_k$$

$$F_k := 6 \cdot 0.03$$

$$F_k = 0.18 \text{ N}$$

- преходно съпротивление на контактите

Избирам контактни тела с форма сфера-плоскост с диаметър:

$$D := 4 \text{ mm} \quad h := 1.5 \text{ mm} \quad (\text{съгласно табл.9})$$

$$c := 1 \quad \rho := 1.65 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm} \quad b := 1$$

$$H_B := (200 \div 700) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{избираме:} \quad H_B := 40000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$R_{\text{п}} := c \cdot \rho \cdot \frac{\sqrt{H_B}}{F_k b}$$

$$R_{\Pi} := 1 \cdot 1.65 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\sqrt{40000}}{0.18^1}$$

$$R_{\Pi} = 1.833 \times 10^{-3} \Omega$$

-пад на напрежението

$$\Delta U := R_{\Pi} \cdot I$$

$$U_{k.max} := 0.3 \cdot 0.09 (\text{таблица 13})$$

$$\Delta U := 1.375 \times 10^{-3} \cdot 6$$

$$\Delta U = 8.25 \times 10^{-3} \text{ V} < U_{k.max} = 0.02 \text{ V}$$

-разтвори на контактната система:

от кривата за 66V на фиг.18 при комутиране на ток 1.5A $\Delta := 0.7 \text{ mm}$

-провала на контактната система

$$f := (1.5 \div 2.0) 2 \cdot h$$

$$f := 2 \cdot 1.5 \cdot 1.5$$

$$f = 4.5 \text{ mm}$$

-размери на контактната основа

В разглеждания случай контактната основа играе ролята на тоководещ детайл от друга страна - пружиниращ елемент.

Избираме размери на контактната основа $I := 35 \text{ mm}$ $L := 38 \text{ mm}$

$$a := 12 \text{ mm} \quad E := 11.3 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$h := \frac{2}{3} \cdot I^2 \cdot \frac{\sigma_{\text{доп}}}{E \cdot f}$$

$$h := \frac{2}{3} \cdot 35^2 \cdot \frac{160}{11.3 \cdot 10^4 \cdot 4.5}$$

$$h = 0.257 \text{ mm}$$

$$b := 6 \cdot F_k \cdot \frac{I}{h^2 \cdot \sigma_{\text{доп}}}$$

$$b := 6 \cdot 0.18 \cdot \frac{35}{(0.321)^2 \cdot 160}$$

$$b = 2.293 \text{ mm}$$

приемат се : $h := 0.25 \text{ mm}$

$b := 5 \text{ mm}$

прави се проверка за:

$$f_{\Delta} := F_k \cdot \frac{12 \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot b \cdot h^3}$$

$$f_{\Delta} := 0.18 \cdot \frac{12 \cdot 35^3}{3 \cdot 1.13 \times 10^5 \cdot 5 \cdot 0.25^3}$$

$$f_{\Delta} = 4.736 \text{ mm} > f = 4.5 \text{ mm}$$

$$F_{k.max} := 6 \cdot F_k = 0.18 \cdot 6 = 1.08$$

$$\omega_{max} := h^2 \cdot b = 0.25^2 \cdot 5 = 0.313$$

$$\sigma_{max} := F_{k.max} \cdot \frac{l}{\omega_{max}}$$

$$\sigma_{max} := 1.08 \cdot \frac{35}{0.313}$$

$$\sigma_{max} = 120.767 < \sigma_{доп} := 180$$

възелът неподвижно контактно тяло (поз.2) се изпълнява със същите размери, но материалът е месинг марка: Мц 62 твърд.

-температура на контактната основа

$$\theta_o := 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \rho_o := 1.65 \cdot 10^{-6}$$

$$K_T := (5 \div 8) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} \text{ (приложение 7)}$$

$$\text{избираме: } K_T := 5 \cdot 10^{-6} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$P := 2 \cdot (h + b) = 2 \cdot (5 + 0.25) = 10.5 \text{ mm}$$

$$s := h \cdot b = 5 \cdot 0.25 = 1.25 \text{ mm}^2$$

$$\theta_{ko} := \theta_o + \rho_o \cdot \frac{l^2}{K_T \cdot P \cdot s}$$

$$\theta_{ko} := 40 + 1.65 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{6^2}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 10.5 \cdot 1.25}$$

$$\theta_{ko} = 40.905 \text{ } ^\circ\text{C}$$

-температурата на контактното тяло в мястото на контактуване за:

$$\lambda_{Ag} := .418 \frac{W}{mm \cdot ^\circ\text{C}}$$

(от приложение 5)

$$\lambda := \lambda_{Ag}$$

$$\tau_{КТ} := R_{\Pi} \cdot \frac{l^2}{2 \cdot \sqrt{\lambda \cdot K_T \cdot P \cdot s}}$$

$$\tau_{\text{КТ}} := 1.83 \times 10^{-3} \cdot \frac{6^2}{2 \cdot \sqrt{.418 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10.5 \cdot 1.25}} \tau_{\text{КТ}} = 6.289 \text{ } ^\circ\text{C}$$

-температурата на контактното тяло е:

$$\theta_{\text{КТ}} := \theta_{\text{КО}} + \tau_{\text{КТ}}$$

$$\theta_{\text{КТ}} := 41.609 + 6.289$$

$$\theta_{\text{КТ}} = 47.898 \text{ } ^\circ\text{C}$$

-температура на контактното петно

$$\tau_{\text{П}} := \frac{\Delta U^2}{8 \cdot \rho \cdot \lambda}$$

$$\tau_{\text{П}} := \frac{0.00825^2}{8 \cdot 1.65 \times 10^{-6} \cdot 0.418}$$

$$\tau_{\text{П}} = 12.336 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{\text{П}} := \theta_{\text{КТ}} + \tau_{\text{П}} = 50.01 + 21.93 = 71.94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{т.е. } \theta_{\text{П}} = 60.234 < \theta_{\text{Р.Аг}} := 150$$

-допустим ток.

$$I_{\text{доп}} := (0.5 \div 0.8) \cdot \frac{\Delta U}{R_{\text{П}}} = 0.8 \cdot \frac{0.00825}{1.83 \times 10^{-3}} = 3.607 \text{ A}$$

-ток на заваряване.

$$U_{\text{к.раз}} := 0.09 \text{ V}$$

$$I_3 := 2 \cdot U_{\text{к.раз}} \cdot \frac{\sqrt{F_{\text{к}}}}{\rho \cdot \sqrt{3.14 \cdot H_{\text{В}}}}$$

$$I_3 := 2 \cdot 0.09 \cdot \frac{\sqrt{0.18}}{1.65 \times 10^{-6} \cdot \sqrt{3.14 \cdot 40000}}$$

$$I_3 = 130.596 \text{ A}$$

$$\text{изпълнено е условието : } I_3 > I_{\text{доп}} = 3.6 \text{ A}$$

3. Изчисляване на задвижващото устройство(електромгнитната система)

по конструктивни съображения избираме

размерите на електромагнита:

$$r := 7 \text{ mm} \quad c := 20 \text{ mm}$$

$$l_1 := 23 \text{ mm} \quad l_2 := 47 \text{ mm}$$

$$F_{\text{пр}} := b \cdot h^2 \cdot \frac{\sigma_{\text{доп}}}{6 \cdot l}$$

$$F_{\text{пр}} := 5 \cdot 0.25^2 \cdot \frac{160}{6 \cdot 35}$$

$$F_{\text{пр}} = 0.238 \text{ N}$$

-въздушна междина

Определя се от разтвора и провала на контактната система

$$\delta := l_1 \cdot (l - a) \cdot \frac{(f + \Delta)}{l \cdot l_2}$$

$$\delta = 1.672 \text{ mm}$$

-определяне на електромагнитната сила

$$l := 75 \text{ mm}$$

$$F_e := F_{\text{пр}} \cdot \frac{l_2}{l_1}$$

$$F_e := 0.238 \cdot \frac{47}{23}$$

$$F_e = 0.486 \text{ N}$$

-определяне на работния магнитен поток

$$a := 5 \text{ (за реле с кръгло сечение)}$$

$$s := 0.785 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \mu_0 := 3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-7}$$

$$\Phi_p := \sqrt{F_e \cdot 2 \cdot \mu_0 \cdot s \cdot (1 + 100 \cdot a \cdot \delta \cdot 10^{-3})}$$

$$\Phi_p := \sqrt{0.486 \cdot 2 \cdot 12.56 \cdot 10^{-7} \cdot 0.785 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 100 \cdot 5 \cdot 1.672 \cdot 10^{-3})}$$

$$\Phi_p = 1.326 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

-проводимост на единица дължина на потока на разсейване м/у ядрото и ярема

$$G := 2 \cdot \frac{3.14 \cdot \mu_0}{\ln \left[\frac{(c + \sqrt{c^2 - r^2})}{r} \right]}$$

$$G := 2 \cdot \frac{3.14 \cdot 12.56 \cdot 10^{-7}}{\ln \left[\frac{(20 + \sqrt{20^2 - 7^2})}{7} \right]}$$

$$G = 4.61 \times 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

-магнитен поток в участъка x на ядрото

$$R_1 := l_1 - r = 23 - 7 = 16 \text{ mm}$$

$$R_2 := l_1 + r = 23 + 7 = 30 \text{ mm}$$

магнитното съпротивление на въздушната междина го изчисляваме като пренебрегваме краевите потоци.

$$R_{\delta} := \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot I_1 \cdot 10^{-3} \cdot \mu_0 \cdot \left(I_1 \cdot 10^{-3} - \sqrt{R_1 \cdot 10^{-6} \cdot R_2} \right)}$$

$$R_{\delta} := \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14 \cdot 23 \cdot 10^{-3} \cdot 12.56 \cdot 10^{-7} \cdot \left(23 \cdot 10^{-3} - \sqrt{16 \cdot 10^{-6} \cdot 30} \right)} \cdot 8.448 \times 10^6 \cdot 1$$

$$\Phi_x := \Phi_p \cdot \left[1 + G \cdot \frac{R_{\delta} \cdot (l^2 - x^2)}{2 \cdot l} \right]$$

-определяне на необходимото магнитодвижещо напрежение

магнитната верига се разделя на 5 равни части за всяка стойност се изчислява Φ_x

x, m	X ²	L ² -x ² m	(G.R/2.l).(l-x)	Φ Wb	B T	μ
0,075	0,005625	0	0	0,0003433	0,44	4000
0,06	0,0036	0,002025	0,98658	0,00068199	0,87	5000
0,03	0,0009	0,004725	2,30202	0,00113358	1,44	3000
0,015	0,000225	0,0054	2,63088	0,00124648	1,59	2000
0	0	0,005625	2,7405	0,00128411	1,64	800
μ _{cp} =						3000

$$\mu_{cp} := \frac{h}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\mu_i}} \quad \mu_{cp} := 3000$$

-средната стойност на магнитното съпротивление на стоманата за 1 метър дължина (S_я=S_k и m_{cp}=mk)

$$R_{CT} := \frac{2}{\mu_{cp} \cdot \mu_0 \cdot S}$$

$$R_{CT} := \frac{2}{3000 \cdot 12.56 \cdot 10^{-7} \cdot 7.85 \times 10^{-5}} \quad R_{CT} = 6.762 \times 10^6 \cdot 1^{-1}$$

като се пренебрегне съпротивлението в неработните въздушни междини, за магнитодвижещото напрежение се получава:

$$q := 1 + \left(l \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot G \cdot \frac{R_{CT}}{3}$$

$$q := 1 + \left(75 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 4.61 \times 10^{-6} \cdot \frac{6.762 \times 10^6}{3} \quad q = 1.058$$

$$I_0 := \Phi_p \cdot (l \cdot 10^{-3} \cdot R_{CT} + q \cdot R_\delta)$$

$$I_0 := 1.326 \times 10^{-5} \cdot (75 \cdot 10^{-3} \cdot 6.762 \times 10^6 + 1.058 \cdot 8.448 \times 10^{-1}) \quad I_0 = 125.242 \text{ A}$$

3. Изчисляване на намотката:

Броят на навивките и сечението на проводника на намотката се определя от следните изисквания:

$$1 \cdot I_0 \geq I_{0\min} := 125 \cdot \text{A}$$

$$2 \cdot U_{\text{нам}} := 18 \text{ V} \quad U_{\min} := 0.85 \cdot U_{\text{нам}}$$

$$3. \tau \leq \tau_{\text{доп}}$$

$$r = 7 \text{ mm} \quad c = 20 \text{ mm} \quad l = 75 \text{ mm}$$

$$d := 2 \cdot r \quad D_n := 2 \cdot c \quad h_n := 50 \cdot 10^{-3}$$

-средна дължина на една навивка

$$l_{\min} := (r \cdot 2 + 2) \cdot 3.14 \cdot 10^{-3} \quad l_{\min} = 0.05 \text{ m}$$

$$l_{\max} := D_n \cdot 3.14 \cdot 10^{-3} \quad l_{\max} = 0.12 \text{ m}$$

$$l_{\text{cp}} := \frac{(l_{\min} + l_{\max})}{2} \quad l_{\text{cp}} = 0.088 \text{ m}$$

-тоководещо сечение на проводника:

$$\rho := 22 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m} \text{ (при температура } 105^\circ\text{C)}$$

$$q := \rho \cdot l_{\text{cp}} \cdot \frac{I_0}{0.85 \cdot U_{\text{нам}}}$$

$$q := 22 \cdot 10^{-9} \cdot 0.088 \cdot \frac{125}{0.85 \cdot 18} \quad q = 1.582 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

-диаметъра на проводника

$$d_{Cu} := \sqrt{4 \cdot \frac{q}{3.14}} \quad d_{Cu} = 1.284 \times 10^{-4} \text{ m}$$

избираме стандартна стойност за диаметъра на проводника

$$d_{Cu} := 0.13 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad d_n := 0.15 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad \tau_{\text{доп}} := 50 \cdot ^\circ\text{C}$$

Проводник меден ,емаилиран ПЕТ-2F

$$q := d_{Cu}^2 \cdot \frac{3.14}{4}$$

$$q := 0.00013^2 \cdot \frac{3.14}{4} \quad q = 1.327 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

- охлаждащата повърхност на намотката е

$$S_{\text{вът}} := l_{\text{min}} \cdot h_{\text{н}} = 0.05 \cdot 0.050 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$S_{\text{вън}} := l_{\text{max}} \cdot h_{\text{н}} = 0.126 \cdot 0.050 = 6.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$\beta := 1$ - поради добрата топлопроводимост на намотката

$$S_{\text{охл}} := S_{\text{вът}} \cdot \beta + S_{\text{вън}} = 2.5 \times 10^{-3} + 6.3 \times 10^{-3} = 8.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

-броят на навивките на намотката е

$$K_T := 10 \frac{W}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \text{ - коефициент на топлодаване}$$

$$W := I_0 \cdot \frac{U_{\text{нам}}}{K_T \cdot S_{\text{охл}} \cdot \tau_{\text{доп}}}$$

$$W := 125 \cdot \frac{18}{10 \cdot 0.0088 \cdot 50}$$

$$W = 511.364 \text{ избираме } W := 520$$

-коефициент на запълване на намотката:

$K_y := 0.9$ - свободно навиване

$$K_3 := K_y \cdot \frac{3.14 \cdot \left(\frac{d_{\text{Cu}}}{d_{\text{и}}} \right)^2}{4}$$

$$K_3 := 0.9 \cdot \frac{3.14 \cdot \left(\frac{0.13}{0.15} \right)^2}{4}$$

$$K_3 = 0.531$$

полученият резултат означава че 53% от намотката е запълнена с мед, а останалото пространство е с въздух или изолация.

-необходимото намотъчно пространство е

$$Q := q \cdot \frac{W}{K_3} = 1.327 \times 10^{-8} \cdot \frac{520}{0.531} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$h' := \frac{Q}{h_{\text{н}}} = \frac{1.3 \cdot 10^{-5}}{0.050} = 2.6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

допустимата дебелина на намотката е много по малка от първоначално зададената от което би следвало изчисленията да се направят наново с по-малка височина на намотката.

-съпротивление на проводника

$$R_H := \rho \cdot l_{cp} \cdot \frac{W}{q}$$

$$R_H := 22 \cdot 10^{-9} \cdot 0.088 \cdot \frac{520}{1.327 \times 10^{-8}} \quad R_H = 75.864 \quad \Omega$$

$$I_{\omega \min} := 0.85 \cdot U_{\text{нам}} \cdot \frac{W}{R_H}$$

$$I_{\omega \min} := 0.85 \cdot 18 \cdot \frac{520}{75} \quad I_{\omega \min} = 149.036 \quad I_{\omega} = 125.242 \text{ A}$$

$$I_{\omega H} := U_{\text{нам}} \cdot \frac{W}{R_H} \quad I_{\omega H} = 126.681 > I_{\omega} = 125.242 \text{ A}$$

-ток през намотката при

$$U_{11} := U_{\text{нам}} \cdot 1.1$$

$$I_H := \frac{U_{11}}{R_H}$$

$$I_H := \frac{19.8}{75} \quad I_H = 0.264 \text{ A}$$

-загубите в намотката при U_{11}

$$P := \frac{U_{11}^2}{R_H} \quad P = 5.168 \text{ W}$$

-средното прегряване на намотката

$$\tau := \frac{U^2}{R_H \cdot K_T \cdot S_{\text{охл}}}$$

$$\tau := \frac{18^2}{75 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{-3}} \quad \tau = 48 \quad .^{\circ}\text{C}$$

като се има предвид, че проводниците са ПЕЛ-Т са емайлирани със синтетичен лак и имат термо-пластично лаково покритие следва, че изчисленото прегряване е допустимо.