

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

КУРСОВ ПРОЕКТ

по

Комутационна техника

Изчисление на комутационен апарат

за ниско напрежение

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

Ръководител: доц. Ценева

София, 2001

1. Задание:

1.1. Главна контактна система:

Номинално напрежение:	$U_e := 380V$
Номинален ток:	$I_e := 25A$
Честота:	$f_{mp} := 50Hz$
Брой полюси (фази):	$n_p := 3$
Комутационна възможност, група:	AC4
Номинално напрежение на изолацията:	$U_{izo} := 660V$
Механична износоустойчивост:	$N_{meh} := 5 \cdot 10^6$ к.ц.
Електрическа износоустойчивост:	$N_{el} := 10^6$ к.ц.
Режим на работа, съгласно БДС 4004-84:	
Продължителност на включване (ПВ)	$ПВ := 25\%$
Комутационна честота, клас, [к.ц./ч.]:	$Z := 1200 \cdot \frac{1}{hr}$ $Z = 0.333 s^{-1}$

1.2. Помощна контактна система:

Тип (нормално затворен или отворен) и брой:	$n_{H3} := 2$ $n_{HO} := 2$
Номинално напрежение:	$U_{e.пкс} := 380V$
Номинален ток:	$I_{e.пкс} := 10A$

1.3. Допълнителни

Номинално напрежение на командната верига:	$U_{e.кв} := 380V$
Защитни устройства:	няма
Степен на защита, съгласно БДС 3443-65:	$IP := "IP00"$
Температура на околната среда:	$\tau_{oc} := 40\text{ }^{\circ}C$

2. Обяснителна записка

За проектирането и изчисляването е използвана методологията описана в книгата "Ръководство за проектиране на комутационни апарати за ниско напрежение" от авторите проф. А. Писарев и А. Личев издадена през далечната 1987 година, но засегнала общоизвестни закони от електротехниката и материята на електрическите апарати, който можем да използваме и днес. Благодаря на Библиотечно Информационен Комплекс (БИК) към Технически Университет - София, за указаното съдействие при ползването на книгата под сигнатурен номер 621599.

Идеен вариант.

Главната верига е с двукратно прекъсване за полюс, което е благоприятно за гасене на дъгата при променливо напрежение. Конструкцията и връзките между подвижните части са опростени. Подвижните контакти извършват постъпателно движение във вертикална посока. По този начин се постига нечувствителност на КА към хоризонтално действащи сили. Избягва се произволното включване и изключване на апарата.

3. Главен тоководещ контур

3.1. Клеми

Избирам плоски клеми със сводести шайби подобни на фиг. 4.2.2. г.
От таблица 4.2.4 избирам за стойност на тока

$$I_e = 25 \text{ A}$$

Резба на клемния винт:

M5

Височина на нарязаната част в клемното тяло:

$$h_{\text{клема}} := 3 \text{ mm}$$

Широчина на клемното тяло:

$$b_{\text{клема}} := 12 \text{ mm}$$

Сечение на свързващите проводници от 2.5 до 10 mm²

3.2. За контактните съединения от тоководещия контур избирам
от таблица 4.3.1 размер на нетоководещия винт:

M5

3.3. За тоководещи връзки избирам неподвижни, твърди от
материал мед от П.9:

$$\rho_{\text{Cu}} := 8.8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$a_{\text{TK}} := h_{\text{клема}} \quad a_{\text{TK}} = 3 \text{ mm}$$

$$b_{\text{TK}} := b_{\text{клема}} \quad b_{\text{TK}} = 12 \text{ mm}$$

$$q_{\text{TK}} := a_{\text{TK}} \cdot b_{\text{TK}} \quad q_{\text{TK}} = 3.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$j_{\text{TK}} := \frac{I_e}{q_{\text{TK}}} \quad j_{\text{TK}} = 6.944 \times 10^5 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

$$j_{\text{доп}} := 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \quad j < j_{\text{доп}} \text{ което е под допустимото}$$

От таб. П.10.1 избирам:

Дебелина на тоководещия контактоносач:

$$a_{\text{кт.нос}} := 2 \text{ mm}$$

Дебелина на подвижния контактоносач (мост):

$$a_1 := 1 \text{ mm}$$

Дължина на подвижния контактоносач (мост):

$$l_{\text{КТ}} := 17.5 \text{ mm}$$

Височина на неподвижния контактоносач:

$$h_{\text{кт.нос}} := 2 \text{ mm}$$

3.4. Главна контактна система

За посочения номинален ток от таблица 4.4.1 избирам контактна система тип "контактен мост усилен с дъгогасителна камера и П-образен контур".

За материал на контактните тела избирам сребро (Ag).

$$\rho_{Ag} := 10.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Приблизителен диаметър на контактното тяло:

$$D_{KT} := 1.5 \cdot \sqrt{I_e \cdot \left(\frac{\text{mm}^2}{A} \right)} \quad D_{KT} = 7.5 \text{ mm}$$

За посочения номинален ток избирам от таблица 4.4.2 контактни тела с цилиндрична форма:

$$D_{KT} := 10 \text{ mm} \quad h_{KT} := 2 \text{ mm}$$

Износване на контактните тела.

От таблица П.5 за AC4

$$\text{Ток на включване} \quad I_B := 6 \cdot I_e \quad I_B = 150 \text{ A}$$

$$\text{Ток на изключване} \quad I_{II} := 6 \cdot I_e \quad I_{II} = 150 \text{ A}$$

$$\text{от таб. 4.4.3:} \quad k_B := 50 \cdot \frac{\text{mg}}{\text{A}^2} \quad (\text{Коефициент на включване})$$

$$\text{от таб. 4.4.4:} \quad k_{II} := 280 \cdot \frac{\text{mg}}{\text{A}^2} \quad (\text{Коефициент на изключване})$$

$$\text{Коефициент на неравномерност:} \quad k_{\text{нер}} := 2$$

Маса на износения контактен материал се определя по империчната формула:

$$m_{KT} := 10^{-9} \cdot N_{el} \cdot \left(k_B \cdot I_B^2 + k_{II} \cdot I_e^2 \right) \cdot k_{\text{нер}}$$

$$m_{KT} = 2.6 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{Линейното износване е:} \quad \Delta h := \frac{m_{KT}}{\left(\frac{\rho_{Ag} \cdot \pi \cdot D_{KT}^2}{4} \right)} \quad \Delta h = 3.153 \text{ mm}$$

$2 \cdot h_{KT} = 4 \text{ mm}$ което е повече от линейното износване и остава достатъчен запас за гарантиране на електрическата износоустойчивост.

За контактни тела от сребро избирам за провал на нови контактни тела стойност по-голяма от линейното износване:

$$f_{\text{нач}} := 4 \text{ mm}$$

3.5. Контактни сили

От таб. 4.4.5 за главната контактна система от сребро избирам за специфична минимална контактна сила:

$$f_k := 0.1 \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

Контактната система е с двукратно прекъсване на полюс.

$$c_1 := 1.2$$

За минимална крайна контактна сила при износени контактни тела получавам:

$$F_{kk} := c_1 \cdot f_k \cdot I_e \quad F_{kk} = 3 \text{ N}$$

За начална контактна сила получавам:

$$F_{kH} := 0.8 \cdot F_{kk} \quad F_{kH} = 2.4 \text{ N}$$

Определям минимален провал при износени контактни тела:

$$f_{\text{min}} := 0.10 \cdot f_{\text{нач}} \quad f_{\text{min}} = 0.4 \text{ mm}$$

Остатъчен запасен провал след електрическото износване на контактните тела:

$$(f_{\text{нач}} - f_{\text{min}}) - \Delta h = 4.472 \times 10^{-4} \text{ m}$$

И за максималната контактна крайна сила при неизносени контактни тела получавам:

$$F_{k\text{max}} := (F_{kk} - F_{kH}) \cdot \frac{f_{\text{нач}}}{f_{\text{min}}} + F_{kH} \quad F_{k\text{max}} = 8.4 \text{ N}$$

За изработката на контактната пружина (кпр.) избирам за материал кръгла пружинна стомана (тел) със следните параметри:

модул на еластична деформация: $E_{\text{кпр.}} := 196 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

модул на ъглова деформация: $G_{\text{кпр.}} := 78.5 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

напрежение на смачкване: $\sigma_{\text{кпр.}} := 600 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

напрежение на срязване при огъване: $\tau_{\text{кпр.}} := 600 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

Избирам за конструкция цилиндрична винтова пружина със среден диаметър на пружината който е по малко от ширината на подвижния контактоносач или контактния мост

$$D_{\text{кпр.}} := 6 \cdot \text{mm} < b_{\text{TK}} = 12 \text{ mm}$$

Стъпката на пружината е: $t_{\text{кпр.}} := 0.5 \cdot D_{\text{кпр.}} \quad t_{\text{кпр.}} = 3 \text{ mm}$

$$d_{\text{кпр.}} := \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F_{\text{kmax}} \cdot D_{\text{кпр.}}}{\pi \cdot \tau_{\text{кпр.}}}} \quad d_{\text{кпр.}} = 0.598 \text{ mm}$$

Избирам тел, с дебелина по-голямото цяло стандартно число от стр. 33:

$$d_{\text{кпр.}} := 0.6 \text{ mm}$$

Твърдостта на пружината е:

$$i_{\text{кпр.}} := \frac{F_{\text{кк}} - F_{\text{кн}}}{f_{\text{min}}} \quad i_{\text{кпр.}} = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Броят на навивките като се вземе по-голямото цяло число е:

$$w_p := \frac{d_{\text{кпр.}}^4 \cdot G_{\text{кпр.}}}{8 \cdot D_{\text{кпр.}}^3 \cdot i_{\text{кпр.}}} \quad w_p = 3.925$$

Брой работни навивки (цяло число):

$$w_p := \text{ceil}(w_p) \quad w_p = 4$$

Общ брой навивки: $w := w_p + 2 = 6$

Дължината на пружината в свободно състояние е:

$$L_{\text{кпр.}} := t_{\text{кпр.}} \cdot w_p + 1.5 \cdot d_{\text{кпр.}} \quad L_{\text{кпр.}} = 0.013 \text{ m}$$

Дължината на напълно свитата пружина е:

$$l_{\text{кпр.}} := d_{\text{кпр.}} \cdot w_p + 1.5 \cdot d_{\text{кпр.}} \quad l_{\text{кпр.}} = 3.3 \text{ mm}$$

Дължина на пружината при максималната крайна контактна сила при нови контактни тела:

$$\frac{F_{\text{kmax}}}{i_{\text{кпр.}}} = 5.6 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Запас от работно свиване преди упор:

$$\frac{F_{\text{kmax}}}{i_{\text{кпр.}}} - l_{\text{кпр.}} = 2.3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{L_{\text{кпр.}}}{D_{\text{кпр.}}} = 2.15 < 5, \text{ в граници е. Опасността от изкълчване е минимална.}$$

$$\frac{D_{\text{кпр.}}}{d_{\text{кпр.}}} = 10 = (5-10), \text{ в граници е.}$$

3.6. Контактно съпротивление на главната контактна система

За точков контакт (нови контактни тела) $n_{\text{нови}} := 0.5$

За равнинен контакт (износени контактни тела) $n_{\text{изн}} := 1$

От таб. 4.4.6 за контактна двойка сребро-сребро избирам:

$$\varepsilon := 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \Omega$$

За нови контактни тела контактното съпротивление е:

$$R_{\text{кнови}} := \frac{\varepsilon}{\left[\frac{F_{\text{kmax}} \cdot (1 \cdot N)}{2} \right]^{n_{\text{нови}}}} \quad R_{\text{кнови}} = 2.928 \times 10^{-4} \Omega$$

За износени контактни тела контактното съпротивление е:

$$R_{\text{кизн}} := \frac{\varepsilon}{\left(\frac{F_{\text{kk}}}{2} \right)^{n_{\text{изн}}}} \quad R_{\text{кизн}} = 4 \times 10^{-4} \Omega$$

Приемам температура на контактното тяло по време на работа по-малка от температурата на размекване (таб. 4.4.7):

$$\tau := 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температурен коефициент на контактния материал по П.9 е:

$$\alpha_{\text{Ag}} := 4.2 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{ктнови}} := R_{\text{кнови}} \cdot \left[1 + \left(\frac{2}{3} \right) \cdot \alpha_{\text{Ag}} \cdot (\tau - \tau_{\text{OC}}) \right] \quad R_{\text{ктнови}} = 3.42 \times 10^{-4} \Omega$$

$$R_{\text{ктизн}} := R_{\text{кизн}} \cdot \left[1 + \left(\frac{2}{3} \right) \cdot \alpha_{\text{Ag}} \cdot (\tau - \tau_{\text{OC}}) \right] \quad R_{\text{ктизн}} = 4.672 \times 10^{-4} \Omega$$

Пад на напрежение в контактната система

$$\Delta U_{\text{кнови}} := I_{\text{e}} \cdot R_{\text{ктнови}} \quad \Delta U_{\text{кнови}} = 8.549 \text{ mV}$$

$$\Delta U_{\text{кизн}} := I_{\text{e}} \cdot R_{\text{ктизн}} \quad \Delta U_{\text{кизн}} = 11.68 \text{ mV}$$

За комутационна честота - клас 1200 (често комутиране) ΔU_{k} трябва да е до 50 mV (стр. 34), тоест ΔU_{k} е в норма.

3.7. Проверовъчни изчисления на главната контактна система

Загриване на контактната система

Допустимото прегряване на свързващите проводници за клас А е

$$\theta_C := 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

За двукратно прекъсване на полюс $k_K := 350 \cdot \frac{1}{V}$

коэффициент на топлопроводност на контактния материал $\lambda_{Ag} := 210 \frac{W}{m}$

Специфично съпротивление при 0 С $\rho_{O_Ag} := 2.62 \cdot 10^{-8} \cdot \Omega \cdot m$

За износени контактни тела:

$$\theta_{кизн} := \theta_C \cdot \left(1 + \frac{k_K \cdot \Delta U_{кизн}}{\sqrt{\theta_C}} \right) \quad \theta_{кизн} = 97.959^{\circ}\text{C}$$

Средната температура на износено контактено тяло е:

$$\tau_{кизн} := \tau_{OC} + \theta_{кизн} \quad \tau_{кизн} = 137.959^{\circ}\text{C}$$
$$\rho_{\tau} := \rho_{O_Ag} \cdot (1 + \alpha_{Ag} \cdot \tau_{кизн}) \quad \rho_{\tau} = 4.138 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

Температурата на контактното петно при износени контактни тела е:

$$\tau_{кп_изн} := \tau_{кизн} + \frac{\Delta U_{кизн}^2}{8 \cdot \lambda_{Ag} \cdot \rho_{\tau}} \quad \tau_{кп_изн} = 139.921^{\circ}\text{C}$$

За нови контактни тела:

$$\theta_{кнови} := \theta_C \cdot \left(1 + \frac{k_K \cdot \Delta U_{кнови}}{\sqrt{\theta_C}} \right) \quad \theta_{кнови} = 89.123^{\circ}\text{C}$$

Средната температура на ново контактено тяло е:

$$\tau_{кнови} := \tau_{OC} + \theta_{кнови} \quad \tau_{кнови} = 129.123^{\circ}\text{C}$$
$$\rho_{\tau} := \rho_{O_Ag} \cdot (1 + \alpha_{Ag} \cdot \tau_{кнови}) \quad \rho_{\tau} = 4.041 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

Температурата на контактното петно при нови контактни тела е:

$$\tau_{кп_нови} := \tau_{кнови} + \frac{\Delta U_{кнови}^2}{8 \cdot \lambda_{Ag} \cdot \rho_{\tau}} \quad \tau_{кп_нови} = 130.2^{\circ}\text{C}$$

От таб. 4.4.7 за сребро отчитам температура на размекване 180°C което е по-малко от температурата на контактното петно.

Устойчивост на контактната система срещу заваряване:

За ударният коефициент, зависещ от степента на затихване на апериодичната компонента на тока I_B избирам:

$$k_y := 1.5$$

Амплитудна стойност на тока I_B $i_y := k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_B$ $i_y = 318.198 \text{ A}$

$$S_{KT} := \frac{\pi \cdot D_{KT}^2}{4} \quad S_{KT} = 78.54 \text{ mm}^2$$

Напрежение на смачкване на контактния материал:

$$\sigma_{CM_Ag} := 303 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

Площ на контактното петно: $S_{KP} := \frac{F_{kk}}{\sigma_{CM_Ag}}$ $S_{KP} = 9.901 \times 10^{-9} \text{ m}^2$

Електродинамична сила:

$$F_{ед} := 0.5 \cdot 10^{-7} \cdot i_y^2 \cdot \ln\left(\frac{S_{KT}}{S_{KP}}\right) \cdot \left(\frac{N}{A^2}\right) \quad F_{ед} = 0.045 \text{ N}$$

За да не се заваряват контактните тела, необходимо е да са спазват следните условия:

$$F_{kk} > F_{ед}$$

$$F_{kk} = 3 \text{ N} \quad F_{ед} = 0.045 \text{ N} \quad \Rightarrow \text{условието е спазено.}$$

$$\Delta U_{ку} < \Delta U_{кз}$$

$$\Delta U_{кун} := \frac{i_y \cdot \varepsilon}{[(F_{kk} - F_{ед}) \cdot (1 \cdot N)]^{n_{нови}}} \quad \Delta U_{кун} = 0.111 \text{ V}$$

$$\Delta U_{куизн} := \frac{i_y \cdot \varepsilon}{(F_{kk} - F_{ед})^{n_{изн}}} \quad \Delta U_{куизн} = 64.619 \text{ mV}$$

И двете напрежение са по-малки от падът на напрежение при който контактната система се загарява от 240mV (таб, 4.4.7), следователно не съществува опасност от заваряване.

3.8. Дъгогасителна система

Избирам за конструкция на дъгогасителната система полузатворена дъгогасителна камера с вертикална дъгогасителна решетка.

От таб. П.10.1 избирам:

Разтвор на главната контактна система: $A_{ГКС} := 4 \text{ mm}$

Разстояние между полюсите (фазите):	$\Delta\phi := 23\text{mm}$
Дебелина на стената на камерата:	$\Delta_K := 3\text{mm}$
Дебелина на дъгогасителната пластина:	$\Delta_{\text{пл}} := 3\text{mm}$
Разстояние между пластините:	$\delta_{\text{пл}} := 2\text{mm}$

Избирам стандартни размери на пластините (стр. 50):

Широчина на пластинките:	$b_{\text{пл}} := 20\text{mm}$
Височина (дължина) на пластините:	$l_{\text{пл}} := 40\text{mm}$

От таб. 4.5.3 отчитам за коефициент на схемата при трифазна верига с три полюсен апарат:

$$K_{\text{CX}} := 1.5$$

От таб. П.6 за комутационна възможност AC4 отчитам при изключване:

$$\cos\phi_{\text{и}} := 0.35$$

За максимална стойност на възвръщащото се напрежение получавам:

$$U_{\text{им}} := \frac{1.1 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{е}}}{\sqrt{3}} \cdot K_{\text{CX}} \cdot \sqrt{1 - \cos\phi_{\text{и}}^2} \quad U_{\text{им}} = 479.563\text{V}$$

Максимална стойност на възтановяващото се напрежение:

$$U_{\text{Вм}} := 1.5 \cdot U_{\text{им}} \quad U_{\text{Вм}} = 719.344\text{V}$$

Начална електрическа якост избирам от таб. 4.5.4

$$E_{\text{н}} := 280\text{V}$$

Общият брой на пластините в дъгогасителната система закръглен към по-голямото четно число е:

$$n_{\text{пл}} := \frac{U_{\text{Вм}}}{E_{\text{н}}} \quad n_{\text{пл}} = 2.569 \quad n_{\text{пл}} := 2 \cdot \text{ceil}\left(\frac{n_{\text{пл}}}{2}\right) \quad n_{\text{пл}} = 4$$

Тъй като прекъсването е двукратно, на разрыв се падат по:

$$\frac{n_{\text{пл}}}{2} = 2 \quad \text{пластини}$$

От приложение П.6 отчитам кратност на тока на изключване за определяне на комутационната възможност.

$$I_{\text{и.кв}} := 10 \cdot I_{\text{е}}$$

Напрежението на дъгата в дъгогасителната решетка съгласно (4.29) е:

$$U_{\text{д}} := \left[100 + 0.003 \cdot I_{\text{и.кв}} \cdot \left(\frac{1}{\text{A}} \right) \right] \cdot \left[0.7 + 0.04 \cdot \delta_{\text{пл}} \cdot \left(\frac{1}{\text{m}} \right) \right] \cdot \sqrt{n_{\text{пл}} - 0.6} \cdot V$$

$$U_{\text{д}} = 130.057\text{V}$$

Време за горене на дъгата:

$$t_{\text{д}} := 0.01\text{s}$$

Енергия на дъгата за едно изключване:

$$A_D := \left(\frac{\sqrt{2} I_{II} \cdot U_D}{\pi \cdot f_{MP}} \right) \quad A_D = 175.638 \text{ J}$$

Изчислителната мощност на дъгата е:

$$P_D := A_D \cdot Z \quad P_D = 58.546 \text{ W}$$

Конструктивни размери на камерата:

Широчина на работната зона на камерата за 1 полюс:

$$\delta_2 := \Delta\phi - \Delta_K \quad \delta_2 = 0.02 \text{ m}$$

$$\text{Широчина на камерата: } B_K := n_{II} \cdot \delta_2 + (n_{II} + 1) \cdot \Delta_K \quad B_K = 0.072 \text{ m}$$

Дължина на камерата с вертикалните пластини:

$$C_K := 2 \cdot l_{KT} + n_{II} \cdot \Delta_{II} + (n_{II} + 2) \cdot \delta_{II} + \Delta_K + \sqrt{P_D \cdot \left(\frac{\text{mm}^2}{W} \right)}$$
$$C_K := \frac{\text{ceil}(C_K \cdot 1000)}{1000} \quad C_K = 70 \text{ mm}$$

Височина на камерата с вертикални пластини:

$$H_K := h_{KT.HOC} + a_{KT.HOC} + a_1 + 2 \cdot h_{KT} + A_{ГКС} + l_{II} \quad H_K = 53 \text{ mm}$$

Външна повърхнина за охлаждане на камерата:

$$S_K := 2 \cdot H_K \cdot (B_K + C_K) + B_K \cdot C_K \quad S_K = 0.02 \text{ m}^2$$

Температура на дъгогасителните пластини:

$$\tau_{II} := \tau_{OC} + 0.018 \cdot I_{II} \cdot \sqrt{Z} \cdot \left(\frac{\sqrt{hr}}{A} \right) + 0.05 Z \cdot (hr) \quad \tau_{II} = 193.53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температурата на пластината след един комутационен цикъл:

$$\rho_{Fe} := 7.9 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad c_{Fe} := 0.46 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m_{II} := \left(l_{II} \cdot b_{II} - \frac{b_{II}^2}{8} \right) \cdot \Delta_{II} \cdot \rho_{Fe} \quad m_{II} = 0.018 \text{ kg}$$

$$\tau_{II1} := \tau_{OC} + \frac{A_D}{m_{II} \cdot c_{Fe} \cdot n_{II}} \quad \tau_{II1} = 45.37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура на стените на камерата:

За материал избирам от таб. П.11 Полиамид със стъклени влакна

$$k_T := 15 \cdot \frac{W}{\text{m}^2}$$

$$\tau_K := \tau_{OC} + \frac{P_D}{k_T \cdot S_K} \quad \tau_K = 234.26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. Помощен тоководещ контур

4.1. Клеми

Избирам плоски клеми със сводести шайби подобни на фиг. 4.2.2. г.
От таблица 4.2.4 избирам за стойност на тока

$$I_{e.пкс} = 10 \text{ A}$$

Резба на клемния винт:

M4

Височина на нарязаната част в клемното тяло:

$$h_{\text{клема.пкс}} := 2.5 \text{ mm}$$

Широчина на клемното тяло:

$$b_{\text{клема.пкс}} := 9 \text{ mm}$$

Сечение на свързващите проводници от 1 до 4 mm²

4.2. За контактните съединения от тоководещия контур избирам
от таблица 4.3.1 размер на нетоководещия винт:

M4

4.3. За тоководещи връзки избирам неподвижни, твърди от
материал мед от П.9

$$a_{\text{тк.пкс}} := h_{\text{клема.пкс}}$$

$$a_{\text{тк.пкс}} = 2.5 \text{ mm}$$

$$b_{\text{тк.пкс}} := b_{\text{клема.пкс}}$$

$$b_{\text{тк.пкс}} = 9 \text{ mm}$$

$$q_{\text{тк.пкс}} := a_{\text{тк.пкс}} \cdot b_{\text{тк.пкс}}$$

$$q_{\text{тк.пкс}} = 2.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$j_{\text{тк.пкс}} := \frac{I_{e.пкс}}{q_{\text{тк.пкс}}}$$

$$j_{\text{тк.пкс}} = 4.444 \times 10^5 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

$$j_{\text{доп}} := 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

$$j < j_{\text{доп}} \text{ което е под допустимото}$$

От таб. П.10.1 избирам:

Дебелина на тоководещия контактоносач:

$$a_{\text{кт.нос.пкс}} := 1.5 \text{ mm}$$

Дебелина на подвижния контактоносач (мост):

$$a_{1.пкс} := 1 \text{ mm}$$

Дължина на подвижния контактоносач (мост):

$$l_{\text{кт.пкс}} := 12.5 \text{ mm}$$

Височина на неподвижния контактоносач:

$$h_{\text{кт.нос.пкс}} := 1.5 \text{ mm}$$

4.4. Помощна контактна система

За посочения номинален ток от таблица 4.4.1 избирам контактна
система тип "контактен мост".

За материал на контактните тела избирам сребро (Ag).

$$\rho_{\text{Ag}} := 10.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Приблизителен диаметър на контактното тяло:

$$D_{\text{кт.пкс}} := 1.5 \cdot \sqrt{I_{e.пкс} \cdot \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{A}} \right)} \quad D_{\text{кт.пкс}} = 4.743 \text{ mm}$$

За посочения номинален ток избирам от таблица 4.4.2 контактни тела с цилиндрична форма:

$$D_{\text{КТ.ПКС}} := 5\text{mm} \quad h_{\text{КТ.ПКС}} := 2\text{mm}$$

Износване на контактните тела.

От таблица П.5 за AC15 (по стария стандарт AC11)

$$\text{Ток на включване} \quad I_{\text{В.ПКС}} := 10 \cdot I_{\text{Е.ПКС}} \quad I_{\text{В.ПКС}} = 100\text{A}$$

$$\text{Ток на изключване} \quad I_{\text{И.ПКС}} := 1 \cdot I_{\text{Е.ПКС}} \quad I_{\text{И.ПКС}} = 10\text{A}$$

$$\text{от таб. 4.4.3:} \quad k_{\text{В.ПКС}} := 20 \cdot \frac{\text{mg}}{\text{A}^2} \quad (\text{Коефициент на включване})$$

$$\text{от таб. 4.4.4:} \quad k_{\text{И.ПКС}} := 520 \cdot \frac{\text{mg}}{\text{A}^2} \quad (\text{Коефициент на изключване})$$

$$\text{Коефициент на неравномерност:} \quad k_{\text{Нер}} := 2$$

Маса на износения контактен материал се определя по империчната формула:

$$m_{\text{КТ.ПКС}} := 10^{-9} \cdot N_{\text{EI}} \cdot \left(k_{\text{В.ПКС}} \cdot I_{\text{В.ПКС}}^2 + k_{\text{И.ПКС}} \cdot I_{\text{Е.ПКС}}^2 \right) \cdot k_{\text{Нер}}$$

$$m_{\text{КТ.ПКС}} = 5.04 \times 10^{-4} \text{kg}$$

$$\text{Линейното износване е:} \quad \Delta h_{\text{ПКС}} := \frac{m_{\text{КТ.ПКС}}}{\left(\frac{\rho_{\text{Ag}} \cdot \pi \cdot D_{\text{КТ.ПКС}}^2}{4} \right)}$$

$$\Delta h_{\text{ПКС}} = 2.445\text{mm}$$

$2 \cdot h_{\text{КТ.ПКС}} = 4\text{mm}$ което е повече от линейното износване и остава достатъчен запас за гарантиране на електрическата износостойчивост.

За контактни тела от сребро избирам за провал на нови контактни тела стойност по-голяма от линейното износване:

$$f_{\text{нач.ПКС}} := 3\text{mm}$$

От таб. 4.4.5 за помощната контактна система от сребро избирам за специфична минимална контактна сила:

$$f_{\text{к.ПКС}} := 0.1 \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

Контактната система е с двукратно прекъсване на полюс.

$$c_{1.\text{ПКС}} := 1.2$$

За минимална крайна контактна сила при износени контактни тела получавам:

$$F_{\text{кк.ПКС}} := c_{1.\text{ПКС}} \cdot f_{\text{к.ПКС}} \cdot I_{\text{Е.ПКС}} \quad F_{\text{кк.ПКС}} = 1.2\text{N}$$

За начална контактна сила получавам:

$$F_{\text{кн.ПКС}} := 0.8 \cdot F_{\text{кк.ПКС}} \quad F_{\text{кн.ПКС}} = 0.96\text{N}$$

Определям минимален провал при износени контактни тела:

$$f_{\min.\text{пкс}} := 0.10 \cdot f_{\text{нач.пкс}} \quad f_{\min.\text{пкс}} = 0.3 \text{ mm}$$

Остатъчен запасен провал след електрическото износване на контактните тела:

$$(f_{\text{нач.пкс}} - f_{\min.\text{пкс}}) - \Delta h_{\text{пкс}} = 2.554 \times 10^{-4} \text{ m}$$

И за максималната контактна крайна сила при неизносени контактни тела получавам:

$$F_{k\max.\text{пкс}} := (F_{kk.\text{пкс}} - F_{kh.\text{пкс}}) \cdot \frac{f_{\text{нач.пкс}}}{f_{\min.\text{пкс}}} + F_{kh.\text{пкс}}$$

$$F_{k\max.\text{пкс}} = 3.36 \text{ N}$$

За изработката на контактната пружина (кпр.) избирам за материал кръгла пружинна стомана (тел), а за конструкция цилиндрична винтова пружина:

$$D_{\text{кпр.пкс}} := 6 \cdot \text{mm} \quad < \quad b_{\text{тк.пкс}} = 9 \text{ mm}$$

Стъпката на пружината е:

$$t_{\text{кпр.пкс}} := 0.5 \cdot D_{\text{кпр.пкс}} \quad t_{\text{кпр.пкс}} = 3 \text{ mm}$$

$$d_{\text{кпр.пкс}} := \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F_{k\max.\text{пкс}} \cdot D_{\text{кпр.пкс}}}{\pi \cdot \tau_{\text{кпр.}}}} \quad d_{\text{кпр.пкс}} = 0.441 \text{ mm}$$

Избирам тел, с дебелина по-голямото цяло стандартно число от стр. 33:

$$d_{\text{кпр.пкс}} := 0.5 \text{ mm}$$

Твърдостта на пружината е:

$$i_{\text{кпр.пкс}} := \frac{F_{kk.\text{пкс}} - F_{kh.\text{пкс}}}{f_{\min.\text{пкс}}} \quad i_{\text{кпр.пкс}} = 800 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Броят на навивките като се вземе по-голямото цяло число е:

$$w_{\text{р.пкс}} := \frac{d_{\text{кпр.пкс}}^4 \cdot G_{\text{кпр.}}}{8 \cdot D_{\text{кпр.пкс}}^3 \cdot i_{\text{кпр.пкс}}} \quad w_{\text{р.пкс}} = 3.549$$

Брой работни навивки (цяло число):

$$w_{\text{р.пкс}} := \text{ceil}(w_{\text{р.пкс}}) \quad w_{\text{р.пкс}} = 4$$

$$\text{Общ брой навивки:} \quad w_{\text{пкс}} := w_{\text{р.пкс}} + 2 \quad w_{\text{пкс}} = 6$$

Дължината на пружината в свободно състояние е:

$$L_{\text{кпр.пкс}} := t_{\text{кпр.пкс}} \cdot w_{\text{р.пкс}} + 1.5 \cdot d_{\text{кпр.пкс}} \quad L_{\text{кпр.пкс}} = 0.013 \text{ m}$$

Дължината на напълно свитата пружина е:

$$l_{\text{кпр.пкс}} := d_{\text{кпр.пкс}} \cdot w_{\text{р.пкс}} + 1.5 \cdot d_{\text{кпр.пкс}} \quad l_{\text{кпр.пкс}} = 2.75 \text{ mm}$$

Дължина на пружината при максималната крайна контактна сила при нови контактни тела:

$$\frac{F_{k\max.\text{пкс}}}{i_{\text{кпр.пкс}}} = 4.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Запас от работно свиване преди упор:

$$\frac{F_{k\max.\text{пкс}}}{i_{\text{кпр.пкс}}} - l_{\text{кпр.пкс}} = 1.45 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\frac{L_{\text{кпр.пкс}}}{D_{\text{кпр.пкс}}} = 2.125 < 5, \text{ в граници е. Опасността от изкълчване е минимална.}$$

$$\frac{D_{\text{кпр.пкс}}}{d_{\text{кпр.пкс}}} = 12 = (5-10), \text{ не в граници.}$$

5. Обща кинематична характеристика на противодействащите сили:

Изчисление на възвратни сили и пружини:

Масата на подвижните части е:

$$G_{\text{пч}} := 0.1 \cdot l_e \cdot \left(\frac{\text{N}}{\text{A}} \right) \quad G_{\text{пч}} = 2.5 \text{ N}$$

За предотвратяване на случайни задействия от вибрации и удари приемам:

$$G_{\text{пч}} := 3 \cdot G_{\text{пч}} \quad G_{\text{пч}} = 7.5 \text{ N}$$

Избираме брой възвратни пружини: $n_{\text{вп}} := 2$

специфично изчислително тегло: $k_c := 1.1$

Начална сила на възвратната пружина:

$$F_{\text{вп.нач}} := \frac{1}{n_{\text{вп}}} \cdot (G_{\text{пч}} + n_{\text{нз}} \cdot F_{k\max.\text{пкс}}) \cdot k_c \quad F_{\text{вп.нач}} = 7.821 \text{ N}$$

Крайна сила на възвратната пружина:

$$F_{\text{вп.кр}} := 1.5 \cdot F_{\text{вп.нач}} \quad F_{\text{вп.кр}} = 11.732 \text{ N}$$

Ходът на свиване на пружината е:

$$\delta_{\max} := A_{\text{гкс}} + f_{\text{нач}} \quad \delta_{\max} = 8 \text{ mm}$$

$$\delta_{\min} := 0.1 \text{ mm}$$

Твърдостта на възвратната пружина е:

$$i_{\text{вп}} := \frac{F_{\text{вп.кр}} - F_{\text{вп.нач}}}{\delta_{\max}} \quad i_{\text{вп}} = 488.813 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Избирам диаметър: $D_{\text{вп}} := 7 \cdot \text{mm}$

Стъпката на пружината: $t_{\text{вп}} := 0.5 \cdot D_{\text{вп}} \quad t_{\text{вп}} = 3.5 \text{ mm}$

За диаметъра на телта за пружината получаваме:

$$d_{\text{вп}} := \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F_{\text{вп.кр}} \cdot D_{\text{вп}}}{\pi \cdot \tau_{\text{кпр}}}} \quad d_{\text{вп}} = 0.704 \text{ mm}$$

Избирам тел, с дебелина по-голямото цяло стандартно число от стр. 33:

$$d_{\text{вп}} := 0.6 \cdot \text{mm}$$

Брой работни навивки:

$$w_{\text{р.вп}} := \frac{d_{\text{вп}}^4 \cdot G_{\text{кпр}}}{8 \cdot D_{\text{вп}}^3 \cdot i_{\text{вп}}} \quad w_{\text{р.вп}} = 7.585$$

Брой работни навивки (цяло число):

$$w_{\text{р.вп}} := \text{ceil}(w_{\text{р.вп}}) \quad w_{\text{р.вп}} = 8$$

$$\text{Общ брой навивки:} \quad w_{\text{вп}} := w_{\text{р.вп}} + 2 \quad w_{\text{вп}} = 10$$

Дължината на пружината в свободно състояние е:

$$L_{\text{вп}} := t_{\text{вп}} \cdot w_{\text{р.вп}} + 1.5 \cdot d_{\text{вп}} \quad L_{\text{вп}} = 0.029 \text{ m}$$

Дължината на напълно свитата пружина е:

$$l_{\text{вп}} := d_{\text{вп}} \cdot w_{\text{р.вп}} + 1.5 \cdot d_{\text{вп}} \quad l_{\text{вп}} = 5.7 \text{ mm}$$

Дължина на пружината при максималната крайна контактна сила при нови контактни тела:

$$\frac{F_{\text{вп.кр}}}{i_{\text{вп}}} = 0.024 \text{ m}$$

Запас от работно свиване преди упор:

$$\frac{F_{\text{вп.кр}}}{i_{\text{вп}}} - l_{\text{вп}} = 0.018 \text{ m}$$

$$\frac{L_{\text{вп}}}{D_{\text{вп}}} = 4.129 \quad < 5, \text{ в граници е. Опасността от изкълчване е минимална.}$$

$$\frac{D_{\text{вп}}}{d_{\text{вп}}} = 11.667 \quad = (5-10), \text{ не в граници.}$$

Характеристика на противодействащите сили $F = f(\delta)$ при нови контактни тела:

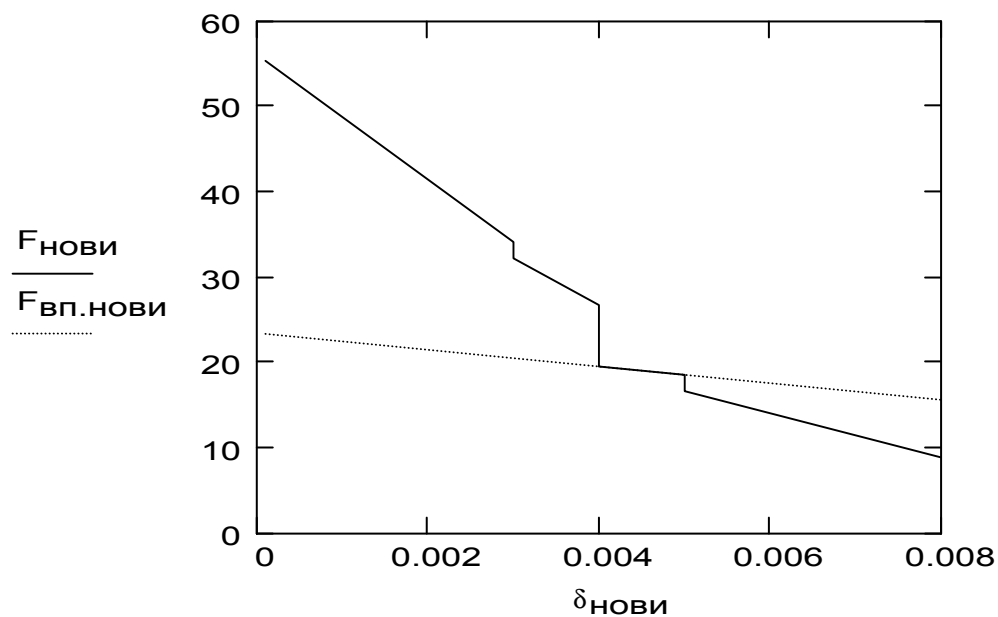
$$i := 0 \dots 7 \quad i_{\text{max}} := 7$$

$$F_{..} := n_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{max}} - f_{\text{нач.пкс}})]$$

$$F_{\text{нови}} := \begin{bmatrix} n_{\text{вп}} \cdot F_{\text{вп.кр}} + n_{\text{п}} \cdot F_{\text{кмах}} + n_{\text{но}} \cdot F_{\text{кмах.пкс}} \\ F_{\text{..}} + n_{\text{п}} \cdot [F_{\text{кн}} + i_{\text{кпр.}} \cdot (f_{\text{нач}} - f_{\text{нач.пкс}})] + n_{\text{но}} \cdot F_{\text{кн.пкс}} \\ F_{\text{..}} + n_{\text{п}} \cdot [F_{\text{кн}} + i_{\text{кпр.}} \cdot (f_{\text{нач}} - f_{\text{нач.пкс}})] \\ n_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{мах}} - f_{\text{нач}})] + n_{\text{п}} \cdot F_{\text{кн}} \\ n_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{мах}} - f_{\text{нач}})] \\ n_{\text{вп}} \cdot (F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot f_{\text{нач.пкс}}) \\ n_{\text{вп}} \cdot (F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot f_{\text{нач.пкс}}) - n_{\text{нз}} \cdot F_{\text{кн.пкс}} \\ n_{\text{вп}} \cdot F_{\text{вп.нач}} - n_{\text{нз}} \cdot F_{\text{кмах.пкс}} \end{bmatrix}$$

$$\delta_{\text{нови}} := \begin{pmatrix} \delta_{\text{min}} \\ f_{\text{нач.пкс}} \\ f_{\text{нач.пкс}} \\ f_{\text{нач}} \\ f_{\text{нач}} \\ \delta_{\text{мах}} - f_{\text{нач.пкс}} \\ \delta_{\text{мах}} - f_{\text{нач.пкс}} \\ \delta_{\text{мах}} \end{pmatrix} \quad F_{\text{нови}} = \begin{pmatrix} 55.383 \\ 34.15 \\ 32.23 \\ 26.753 \\ 19.553 \\ 18.575 \\ 16.655 \\ 8.922 \end{pmatrix} \quad N \quad \delta_{\text{нови}} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 3 \\ 3 \\ 4 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \\ 8 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

$$F_{\text{вп.нови}} := n_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{мах}} - \delta_{\text{нови}})]$$



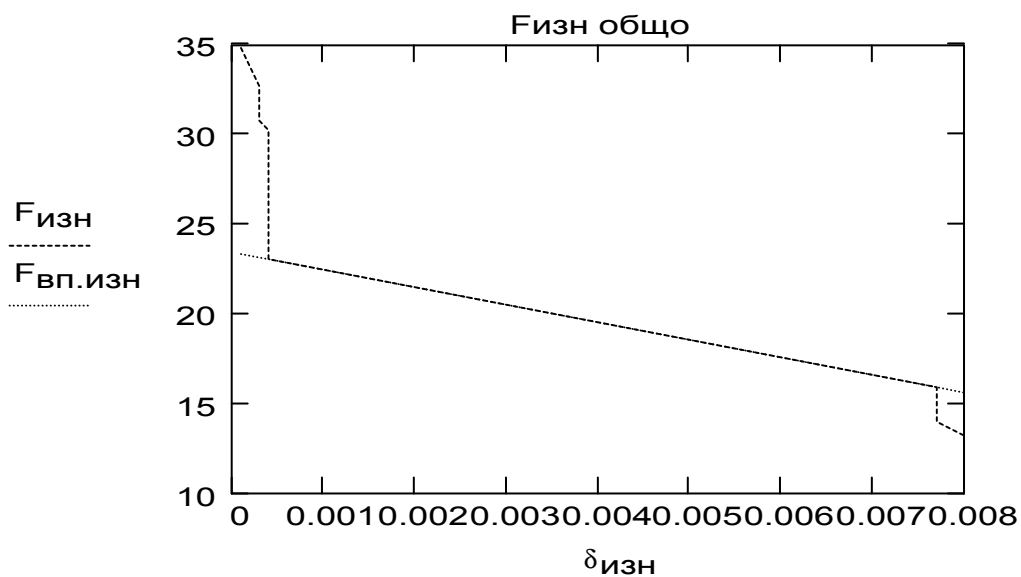
Характеристика на противодействащите сили $F = f(\delta)$ при износени контактни тела:

$$F_{\dots} := \eta_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{max}} - f_{\text{min.пкс}})]$$

$$F_{\text{изн}} := \begin{bmatrix} \eta_{\text{вп}} \cdot F_{\text{вп.кр}} + \eta_{\text{п}} \cdot F_{\text{кк}} + \eta_{\text{но}} \cdot F_{\text{кк.пкс}} \\ F_{\dots} + \eta_{\text{п}} \cdot [F_{\text{кн}} + i_{\text{кпр}} \cdot (f_{\text{min}} - f_{\text{min.пкс}})] + \eta_{\text{но}} \cdot F_{\text{кн.пкс}} \\ F_{\dots} + \eta_{\text{п}} \cdot [F_{\text{кн}} + i_{\text{кпр}} \cdot (f_{\text{min}} - f_{\text{min.пкс}})] \\ \eta_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{max}} - f_{\text{min}})] + \eta_{\text{п}} \cdot F_{\text{кн}} \\ \eta_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{max}} - f_{\text{min}})] \\ \eta_{\text{вп}} \cdot (F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot f_{\text{min.пкс}}) \\ \eta_{\text{вп}} \cdot (F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot f_{\text{min.пкс}}) - \eta_{\text{нз}} \cdot F_{\text{кн.пкс}} \\ \eta_{\text{вп}} \cdot F_{\text{вп.нач}} - \eta_{\text{нз}} \cdot F_{\text{кк.пкс}} \end{bmatrix}$$

$$\delta_{\text{изн}} := \begin{pmatrix} \delta_{\text{min}} \\ f_{\text{min.пкс}} \\ f_{\text{min.пкс}} \\ f_{\text{min}} \\ f_{\text{min}} \\ \delta_{\text{max}} - f_{\text{min.пкс}} \\ \delta_{\text{max}} - f_{\text{min.пкс}} \\ \delta_{\text{max}} \end{pmatrix} \quad F_{\text{изн}} = \begin{pmatrix} 34.863 \\ 32.74 \\ 30.82 \\ 30.272 \\ 23.072 \\ 15.935 \\ 14.015 \\ 13.242 \end{pmatrix} \text{ N} \quad \delta_{\text{изн}} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.4 \\ 7.7 \\ 7.7 \\ 8 \end{pmatrix} \text{ mm}$$

$$F_{\text{вп.изн}} := \eta_{\text{вп}} \cdot [F_{\text{вп.нач}} + i_{\text{вп}} \cdot (\delta_{\text{max}} - \delta_{\text{изн}})]$$



За контактор за променлив ток избирам критична въздушна междина при която има най-голямо нарастване на противодействащите сили при нови контактни тела:

$$\delta_{kp} := f_{нач} \quad \delta_{kp} = 4 \text{ mm} \quad i_{kp} := 3$$

Силата при критична въздушна междина е:

$$F_e := 1.2 \cdot F_{нови}; \quad F_e = 32.103 \text{ N}$$

6. Задвижващо електромагнитно устройство.

Избирам електромагнит за променливо напрежение с Е-образен магнитопровод и плоска котва. За материал избирам стомана листова електротехническа изотропна марка 1213, с дебелина 0,35 мм (П.13.1 и П.13.2).

$$B_{Fe} := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \\ 1.3 \\ 1.4 \\ 1.5 \end{pmatrix} \cdot T \quad H_{Fe} := \begin{pmatrix} 154 \\ 188 \\ 231 \\ 291 \\ 362 \\ 461 \\ 608 \\ 814 \\ 1150 \\ 1730 \end{pmatrix} \frac{A}{m} \quad p_{Fe} := \begin{pmatrix} 1.65 \\ 1.8 \\ 2 \\ 2.37 \\ 2.8 \\ 3.4 \\ 4.15 \\ 5 \\ 5.86 \\ 6.7 \end{pmatrix} \frac{W}{kg}$$

Магнитна проницаемост на вакуума: $\mu_0 := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{H}{m}$

Конструктивен фактор: $k_f := \sqrt{\frac{F_e}{\delta_{kp}}} \quad k_f = 89.587 \frac{kg^{0.5}}{s}$

коэффициент на запълване на пакета с ламели: $k_{з.лм} := 0.9$

От фиг. 6.4 избирам индукция в работната въздушна междина:

$$B_p := 0.5 \cdot T$$

Обща работна площ на полюсите:

$$S_{об} := \frac{4 \cdot \mu_0 \cdot F_e}{B_p^2} \cdot k_{з.лм} \quad S_{об} = 580.922 \text{ mm}^2$$

Площ на средния полюс: $S_{п} := \frac{S_{об}}{2} \quad S_{п} = 290.461 \text{ mm}^2$

Страната на средния полюс е: $a_{п} := \sqrt{S_{п}} \quad a_{п} = 17.043 \text{ mm}$

Избирам цяла стойност (мм):	$a_{\Pi} := \frac{\text{ceil}(a_{\Pi} \cdot 500)}{500}$	$a_{\Pi} = 18 \text{ mm}$
Страната на крайните полюси е:	$a'_{\Pi} := \frac{a_{\Pi}}{2}$	$a'_{\Pi} = 9 \text{ mm}$
За размерът с избирам (0.8-1.25):	$c := 1 \cdot a_{\Pi}$	$c = 18 \text{ mm}$
Площ на средния полюс:	$S_{\Pi} := a_{\Pi}^2$	$S_{\Pi} = 324 \text{ mm}^2$
Площи на крайните полюси:	$S_{\text{кр}} := \frac{S_{\Pi}}{4}$	$S_{\text{кр}} = 81 \text{ mm}^2$

6.1. Размери на намотката и скелета.

По БДС 6330- 67 избирам изолационно разстояние:	$\Delta_2 := 4 \cdot \text{mm}$
За коефициент на намотката избирам:	$k_H := 4$
дебелина на скелета:	$\Delta_{\text{СК}} := 2 \cdot \text{mm}$

Вътрешни размери на скелета:

$A_{\text{СК}} := a_{\Pi} + 1 \cdot \text{mm}$	$A_{\text{СК}} = 19 \text{ mm}$
$b_{\text{СК}} := a_{\Pi} + 3 \cdot \text{mm}$	$b_{\text{СК}} = 21 \text{ mm}$
$B_{\text{СК}} := b_{\text{СК}} + 1 \cdot \text{mm}$	$B_{\text{СК}} = 22 \text{ mm}$

Вътрешни размери на намотката:

$A_H := A_{\text{СК}} + 2 \cdot \Delta_{\text{СК}}$	$A_H = 23 \text{ mm}$
$B_H := B_{\text{СК}} + 2 \cdot \Delta_{\text{СК}}$	$B_H = 26 \text{ mm}$
$b_H := c - \Delta_{\text{СК}} - \Delta_2$	$b_H = 12 \text{ mm}$
$h_H := k_H \cdot b_H$	$h_H = 48 \text{ mm}$

Външни размери на намотката:

$A_1 := A_H + 2 \cdot b_H$	$A_1 = 47 \text{ mm}$
$B_1 := B_H + 2 \cdot b_H$	$B_1 = 50 \text{ mm}$

Външни размери на скелета:

$A_2 := A_1 + 2 \cdot \text{mm}$	$A_2 = 49 \text{ mm}$
$B_2 := B_1 + 2 \cdot \text{mm}$	$B_2 = 52 \text{ mm}$

Размери на магнитопровода.

$h_{\text{СК}} := h_H + 2 \cdot \Delta_{\text{СК}}$	$h_{\text{СК}} = 52 \text{ mm}$
$L_1 := h_{\text{СК}} + 4 \cdot \text{mm}$	$L_1 = 56 \text{ mm}$
$L_2 := L_1 + a_{\Pi}$	$L_2 = 74 \text{ mm}$

Определям остатъчна въздушна междина:

$\delta_{\text{min}} = 0.1 \text{ mm}$	$\delta_r := \delta_{\text{min}}$	$\delta_r = 0.1 \text{ mm}$
--	-----------------------------------	-----------------------------

6.2. Заместваща схема на магнитната верига. Магнитни проводимости на въздушните междини.

$$G_{cp_i} := \frac{\mu_o \cdot S_{\Pi}}{\delta_{\text{нови}_i}} \quad G_{сркр} := \mu_o \cdot a_{\Pi} \cdot 2 \cdot (0.52 + 0.32 + 0.26 + 0.32)$$

$$G_{AP_i} := \frac{\mu_o \cdot a_{\Pi}^2}{2 \cdot \delta_{\text{нови}_i}} \quad G_{Акр} := \mu_o \cdot a_{\Pi} \cdot (0.52 + 0.32 + 0.52 + 0.64)$$

$$G_{Акр} = 4.524 \times 10^{-8} \text{ H}$$

$$G_S := \mu_o \cdot h_H \cdot \left(\frac{a_{\Pi}}{c} + 2 \cdot 0.26 + \frac{2 \cdot 0.64}{1 + \frac{2 \cdot c}{a_{\Pi}}} \right) \quad G_C := G_{cp} + G_{сркр}$$

$$G_A := G_{AP} + G_{Акр}$$

$$G_S = 1.174 \times 10^{-7} \text{ H}$$

$$G_B := \frac{G_C \cdot 2 \cdot G_A}{G_C + 2 \cdot G_A}$$

$$\sigma_{\delta_i} := \frac{G_{C_i}}{G_{cp_i}} \quad \sigma_{\phi_i} := \frac{G_{B_i} + G_S}{G_{B_i}} \quad \sigma_{\psi_i} := \frac{G_{B_i} + 2 \cdot 0.33 \cdot G_S}{G_{B_i}}$$

$$G_{cp} = \begin{pmatrix} 4.072 \times 10^{-6} \\ 1.357 \times 10^{-7} \\ 1.357 \times 10^{-7} \\ 1.018 \times 10^{-7} \\ 1.018 \times 10^{-7} \\ 8.143 \times 10^{-8} \\ 8.143 \times 10^{-8} \\ 5.089 \times 10^{-8} \end{pmatrix} \text{ H} \quad G_{AP} = \begin{pmatrix} 2.036 \times 10^{-6} \\ 6.786 \times 10^{-8} \\ 6.786 \times 10^{-8} \\ 5.089 \times 10^{-8} \\ 5.089 \times 10^{-8} \\ 4.072 \times 10^{-8} \\ 4.072 \times 10^{-8} \\ 2.545 \times 10^{-8} \end{pmatrix} \text{ H} \quad G_C = \begin{pmatrix} 4.136 \times 10^{-6} \\ 2 \times 10^{-7} \\ 2 \times 10^{-7} \\ 1.66 \times 10^{-7} \\ 1.66 \times 10^{-7} \\ 1.457 \times 10^{-7} \\ 1.457 \times 10^{-7} \\ 1.151 \times 10^{-7} \end{pmatrix} \text{ H}$$

$$\sigma_{\delta} = \begin{pmatrix} 1.016 \\ 1.473 \\ 1.473 \\ 1.631 \\ 1.631 \\ 1.789 \\ 1.789 \\ 2.262 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\phi} = \begin{pmatrix} 1.056 \\ 1.003 \\ 1.003 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.002 \end{pmatrix} \quad \sigma_{\psi} = \begin{pmatrix} 1.037 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.002 \\ 1.001 \\ 1.001 \\ 1.001 \end{pmatrix}$$

$$G_B = \begin{pmatrix} 2.101 \times 10^{-6} \\ 4.091 \times 10^{-5} \\ 4.091 \times 10^{-5} \\ 4.866 \times 10^{-5} \\ 4.866 \times 10^{-5} \\ 5.49 \times 10^{-5} \\ 5.49 \times 10^{-5} \\ 6.797 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \text{ H} \quad G_A = \begin{pmatrix} 2.081 \times 10^{-6} \\ 1.131 \times 10^{-7} \\ 1.131 \times 10^{-7} \\ 9.613 \times 10^{-8} \\ 9.613 \times 10^{-8} \\ 8.595 \times 10^{-8} \\ 8.595 \times 10^{-8} \\ 7.069 \times 10^{-8} \end{pmatrix} \text{ H}$$

$$\begin{aligned} \delta_{\min} &= 0.1 \text{ mm} & \sigma_{\delta \min} &:= \sigma_{\delta_0} & \sigma_{\phi \min} &:= \sigma_{\phi_0} & \sigma_{\psi \min} &:= \sigma_{\psi_0} \\ \delta_{kp} &= 4 \text{ mm} & \sigma_{\delta kp} &:= \sigma_{\delta_{ikn}} & \sigma_{\phi kp} &:= \sigma_{\phi_{ikn}} & \sigma_{\psi kp} &:= \sigma_{\psi_{ikn}} \\ \delta_{\max} &= 8 \text{ mm} & \sigma_{\delta \max} &:= \sigma_{\delta_{ima}} & \sigma_{\phi \max} &:= \sigma_{\phi_{ima}} & \sigma_{\psi \max} &:= \sigma_{\psi_{imax}} \\ G_{cmin} &:= G_{c_0} & G_{Amin} &:= G_{A_0} \end{aligned}$$

Магнитните потоци при критична въздушна междина са:

$$\Phi_{\phi} := \sigma_{\delta kp} \cdot \sigma_{\phi kp} \cdot B_p \cdot S_{\Pi} \quad \Phi_{\phi} = 2.649 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{\psi} := \sigma_{\delta kp} \cdot \sigma_{\psi kp} \cdot B_p \cdot S_{\Pi} \quad \Phi_{\psi} = 2.647 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

6.3. Накъсосъединена навивка

Избирам за материал мед (Cu). На всеки краен полюс се поставя по една накъсосъединена навивка. За отношение на екранираната към неекранираната площ избирам $S_e/S_{ne} = 2/1$. За височина на намотката избирам:

$$b_{KH} := 2 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Специфично съпротивление:} \quad \rho_{\text{Cu}} := 1.58 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$$

$$\text{Повърхност на екранираната част:} \quad S_e := \frac{2}{3} \cdot \frac{S_{kp}}{2} \quad S_e = 27 \text{ mm}^2$$

$$\text{Повърхност на неекранираната част:} \quad S_{ne} := \frac{1}{3} \cdot \frac{S_{kp}}{2} \quad S_{ne} = 13.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Избирам:} \quad \psi := 60 \cdot \text{deg}$$

$$G_e := \frac{\mu_0 \cdot S_e}{\delta_{\min}} \quad G_e = 3.393 \times 10^{-7} \text{ H}$$

$$\omega := f_{MP} \cdot \pi \cdot 2 \quad \omega = 314.159 \text{ Hz}$$

$$\text{Активното съпротивление е} \quad r_{KH} := \frac{\omega \cdot G_e}{\tan(\psi)} \quad r_{KH} = 6.154 \times 10^{-5} \Omega$$

Дължина на навивката: $l_{\text{ср.кн}} := \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot a'_{\text{п}} + 2 \cdot a_{\text{п}} \quad l_{\text{ср.кн}} = 48 \text{ mm}$

Дебелина на наксосъединената навивка

$$h_{\text{кн}} := \rho_{\text{O-Cu}} \cdot \frac{l_{\text{ср.кн}}}{b_{\text{кн}} \cdot \tau_{\text{кн}}} \quad h_{\text{кн}} = 6.162 \text{ mm}$$

Навивки на късосъединената намотка

$$\zeta := \frac{S_{\text{не}}}{S_{\text{е}} \cdot \cos(\psi)} \quad \zeta = 1$$

$$\Phi_{1\text{p}} := \frac{\Phi_{\text{о}\psi}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot \sigma_{\delta\text{min}} \cdot \sigma_{\psi\text{min}}} \quad \Phi_{1\text{p}} = 7.254 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{2\text{p}} := \Phi_{1\text{p}}$$

$$\Phi_{\text{pA}} := \sqrt{3} \cdot \Phi_{1\text{p}} \quad \Phi_{\text{pA}} = 1.256 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{\text{pB}} := \Phi_{\text{pA}}$$

Електромагнитните сили в двата крайни полюса от потоците $\Phi_{1\text{p}}$ и $\Phi_{2\text{p}}$ са постоянни и променливи:

$$F_{1\text{p}} := \frac{2 \cdot \Phi_{1\text{p}}^2}{4 \cdot \mu_{\text{O}} \cdot S_{\text{не}}} \quad F_{1\text{p}} = 155.083 \text{ N}$$

$$F_{2\text{p}} := \frac{F_{1\text{p}}}{2} \quad F_{2\text{p}} = 77.542 \text{ N}$$

Средната сила от потока в средния полюс е:

$$F_{\text{C}} := \frac{(2 \cdot \Phi_{\text{pA}})^2}{4 \cdot \mu_{\text{O}} \cdot a_{\text{п}}^2} \quad F_{\text{C}} = 38.771 \text{ N}$$

Средната стойност на силата, действаща върху котвата е:

$$F_{\text{O}} := F_{1\text{p}} + F_{2\text{p}} + F_{\text{C}} \quad F_{\text{O}} = 271.396 \text{ N}$$

Резултатната на променливите сили е:

$$F_{12\text{p}} := \sqrt{F_{1\text{p}}^2 + F_{2\text{p}}^2 + 2 \cdot F_{1\text{p}} \cdot F_{2\text{p}} \cdot \cos(2 \cdot \psi)} \quad F_{12\text{p}} = 134.306 \text{ N}$$

Фазовите ъгли са:

$$\alpha := \text{asin}\left(\frac{\Phi_{1\text{p}} \cdot \sin(\psi)}{\Phi_{\text{pA}}}\right) \quad \alpha = 30 \text{ deg}$$

$$\varepsilon := \text{asin}\left(\frac{F_{2\text{p}} \cdot \sin(2 \cdot \psi)}{F_{12\text{p}}}\right) \quad \varepsilon = 30 \text{ deg}$$

$$\gamma := 2 \cdot \psi - 2 \cdot \alpha - \varepsilon \quad \gamma = 30 \text{ deg}$$

Амплитудата на общата променлива сила, действаща върху котвата е:

$$F_{OV} := \sqrt{F_{12p}^2 + F_c^2 + 2 \cdot F_c \cdot F_{12p} \cdot \cos(\gamma)} \quad |F_{OV}| = 168.998 \text{ N}$$

Максималната и минималната сила, действащи върху контакта при δ_{\min} са:

$$F_{\max} := F_o + F_{OV} \quad F_{\max} = 440.394 \text{ N}$$

6.4. Намотка

Избирам $k_{CH} := 0.96$

Определям броя навивки при напрежение $0.85U_{e.kv}$

$$w_H := \frac{k_{CH} \cdot 0.85 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{e.kv}}{\omega \cdot \Phi_{O\psi}} \quad w_H = 5.274 \times 10^3$$

$$w_H := 10 \text{ceil}\left(\frac{w_H}{10}\right) \quad w_H = 5.28 \times 10^3$$

Възбудителният ток при затворена котва (δ_{\min}) и напрежение $1,1U_e$ е:

$$I_{\mu\delta\min} := \frac{1.1 \cdot \Phi_{O\phi}}{0.85 \cdot \sqrt{2} \cdot w_H \cdot \sigma_{O\phi\min}} \cdot \left(\frac{1}{G_{c\min}} + \frac{1}{2 \cdot G_{A\min}} \right)$$

$$I_{\mu\delta\min} = 20.958 \text{ mA}$$

Индукцията е една и съща в средното и в крайните ядра, в котвата и в основата:

$$B_{Fe.\min} := \frac{1.1 \cdot \Phi_{O\phi}}{0.85 \cdot \sigma_{O\phi\min} \cdot S_{\Pi}} \quad B_{Fe.\min} = 1.002 \text{ T}$$

От таб. П.13.1 от кривата на намагнитване на електротехническа стомана листовка марка 1213 отчитам интензитета на полето чрез линейно интерполиране:

$$H_{Fe.\min} := \text{linterp}(B_{Fe.}, H_{Fe.}, B_{Fe.\min}) \quad H_{Fe.\min} = 363.954 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Средна дължина на магнитната силова линия:

$$l_{cp} := \left[\left(\frac{a_{\Pi}}{2} + L_1 \right) \cdot 2 + 2 \cdot \left(c + \frac{a_{\Pi}}{2} + \frac{a_{\Pi}}{4} \right) \right] \quad l_{cp} = 193 \text{ mm}$$

Токът необходим за прокаране на магнитния поток през феромагнитните части:

$$I_{\mu F\min} := \frac{H_{Fe.\min} \cdot l_{cp}}{\sqrt{2} \cdot w_H} \quad I_{\mu F\min} = 9.407 \times 10^{-3} \text{ A}$$

Обемът на магнитопровода е:

$$V_{Fe} := a_{\Pi}^2 \cdot (a_{\Pi} + c + 2 \cdot L_1) \quad V_{Fe} = 4.795 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Плътност на магнитопровода: $\rho_{Fe} := 7.9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Масата на магнитопровода е:

$$m_{Fe} := \rho_{Fe} \cdot V_{Fe} \quad m_{Fe} = 0.379 \text{ kg}$$

От таб. П.13.2 отчитам специфичните загуби за марка 1213 чрез линейно интерполиране:

$$p_{min} := \text{linterp}(B_{Fe.}, \rho_{Fe.}, B_{Fe.min}) \quad p_{min} = 2.812 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

Токът, който отчита загубите във феромагнитните участъци:

$$I_{a\delta min} := \frac{p_{min} \cdot m_{Fe}}{1.1 \cdot U_{e.kv}} \quad I_{a\delta min} = 2.548 \times 10^{-3} \text{ A}$$

Токът през накъсосъединената навивка, приведен към броя на навивките на възбудителната намотка:

$$I'_{KH} := \frac{4.44 \cdot f_{mp} \cdot \Phi_{2p} \cdot 1.1}{0.85 \cdot r_{KH} \cdot w_H} \quad I'_{KH} = 0.064 \text{ A}$$

Възбудителен ток при затворена котва:

$$i_{min} := \sqrt{(I_{\mu\delta min} + I_{\mu Femin})^2 + (I_{a\delta min} + 2 \cdot I'_{KH})^2} \quad i_{min} = 0.134 \text{ A}$$

Токът през намотката при отворена котва (δ_{max}) и напрежение 1,1Ue е:

$$I_{\mu\delta max} := \frac{1.1 \cdot \Phi_{O\phi}}{0.85 \cdot \sqrt{2} \cdot w_H \cdot \sigma_{O\phi max}} \cdot \left(\frac{1}{G_{cmin}} + \frac{1}{2 \cdot G_{Amin}} \right)$$

$$I_{\mu\delta max} = 22.092 \text{ mA}$$

Магнитна индукция при максимална въздушна междина:

$$B_{Fe.max} := \frac{1.1 \cdot \Phi_{O\phi}}{0.85 \cdot \sigma_{O\phi max} \cdot S_{\Pi}} \quad B_{Fe.max} = 1.056 \text{ T}$$

Отчитат се интензитетът на полето и специфичните загуби от П.13.1 и П.13.2 за марка 1213 чрез линейно интерполиране:

$$H_{Fe.max} := \text{linterp}(B_{Fe.}, H_{Fe.}, B_{Fe.max}) \quad H_{Fe.max} = 417.586 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$p_{max} := \text{linterp}(B_{Fe.}, \rho_{Fe.}, B_{Fe.max}) \quad p_{max} = 3.137 \frac{\text{W}}{\text{kg}}$$

$$I_{\mu Femax} := \frac{H_{Fe.max} \cdot l_{cp}}{\sqrt{2} \cdot w_H} \quad I_{\mu Femax} = 0.011 \text{ A}$$

$$I_{a\delta max} := \frac{p_{max} \cdot m_{Fe}}{1.1 \cdot U_{e.kv}} \quad I_{a\delta max} = 2.843 \times 10^{-3} \text{ A}$$

Възбудителен ток при отворена котва:

$$i_{max} := \sqrt{(I_{\mu\delta max} + I_{\mu Femax})^2 + (I_{a\delta max})^2} \quad i_{max} = 0.033 \text{ A}$$

$$t_{\text{ц}} := \frac{1}{Z} \quad t_{\text{ц}} = 3 \text{ s}$$

$$t_{\text{вкл}} := t_{\text{ц}} \cdot \text{ПВ} \quad t_{\text{вкл}} = 0.75 \text{ s}$$

$$t_{\text{пуск}} := \frac{t_{\text{вкл}}}{4} \quad t_{\text{пуск}} = 0.188 \text{ s}$$

Еквивалентен ток през намотката при повторно кратковременен режим е:

$$i_e := \sqrt{\frac{i_{\text{max}}^2 \cdot t_{\text{пуск}} + i_{\text{min}}^2 \cdot (t_{\text{вкл}} - t_{\text{пуск}})}{t_{\text{ц}}}} \quad i_e = 0.059 \text{ A}$$

Избирам плътност: $j_{\text{нам}} := 1.25 \cdot \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Сечението на проводника е: $q_{\text{си}} := \frac{i_e}{j_{\text{нам}}} \quad q_{\text{си}} = 0.047 \text{ mm}^2$

$$d_{\text{си}} := \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{си}}}{\pi}} \quad d_{\text{си}} = 0.245 \text{ mm}$$

От таблица П.14 избирам проводник ПЕЛ-1 с диаметър на жилото и диаметър на изолирания проводник съответно:

$$d_{\text{не.из}} := 0.21 \text{ mm} \quad d_{\text{из}} := 0.24 \text{ mm}$$

$$q_{\text{си}} := \frac{\pi \cdot d_{\text{не.из}}^2}{4} \quad q_{\text{си}} = 0.035 \text{ mm}^2$$

Активното съпротивление на проводника е:

$$r_{\text{н}} := \frac{\rho_{\text{о_Cu}} \cdot l_{\text{ср}} \cdot w_{\text{н}}}{q_{\text{си}}} \quad r_{\text{н}} = 464.858 \Omega$$

Падът на напрежение в намотката е:

$$u_{\text{г}} := i_e \cdot r_{\text{н}} \quad u_{\text{г}} = 27.303 \text{ V}$$

$$k_{\text{сн1}} := \frac{\sqrt{(U_{\text{е.кв}} \cdot 1.1)^2 - u_{\text{г}}^2}}{1.1 \cdot U_{\text{е.кв}}} \quad k_{\text{сн1}} = 0.998$$

$$\frac{k_{\text{сн1}} - k_{\text{сн}}}{k_{\text{сн1}}} = 3.795 \% \quad \text{Съответствието между приетия Ксн и изчисления Ксн е задоволително (<15%).}$$

Прегряване:

Площта на охлаждащата повърхност е:

$$S_{\text{оН}} := 2 \cdot (B_1 + A_1) \cdot h_{\text{н}} \quad S_{\text{оН}} = 9.312 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Прегряването на намотката е:

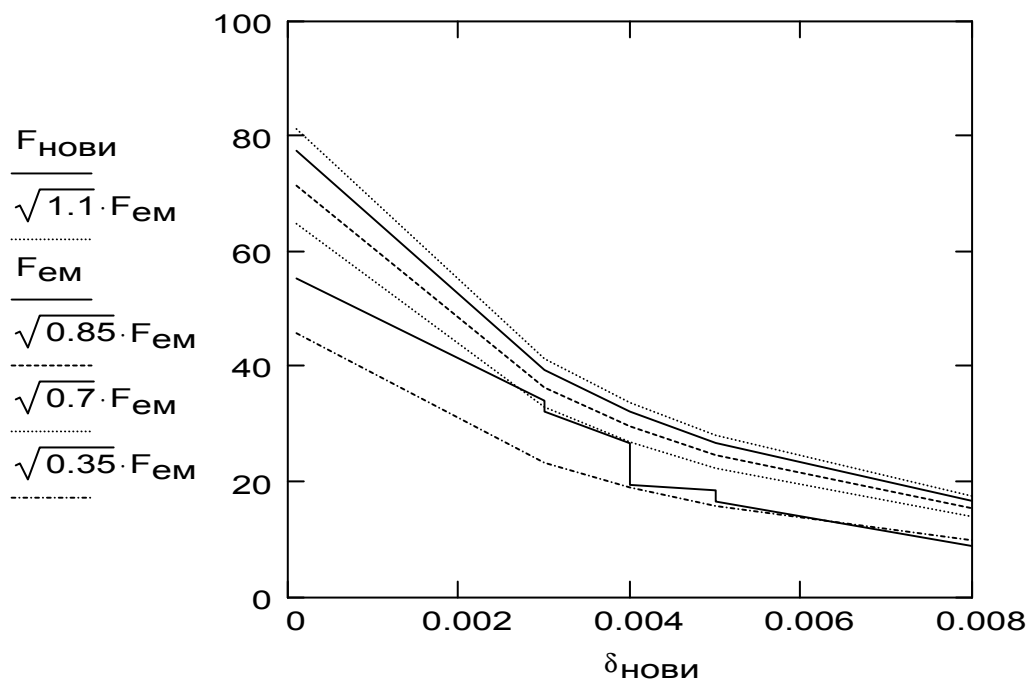
$$\theta := i_e^2 \cdot r_{\text{н}} \cdot \frac{1}{12 \cdot S_{\text{оН}}} \cdot \left(\frac{\text{s}^3}{\text{kg}} \right) \quad \theta = 14.351 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.5. Статична електромеханична характеристика.

Средната стойност на силата се определя от потока през челната повърхност на полюса, т.е. от работния поток.

$$\Phi_{p_i} := \frac{\Phi_{O\Psi}}{\sigma_{O\Psi_i} \cdot \sigma_{\delta_i}} \quad F_{em_i} := \frac{(\Phi_{p_i})^2}{2 \cdot \mu_0 \cdot S_{\Pi}}$$

$$\Phi_p = \begin{pmatrix} 2.513 \times 10^{-4} \\ 1.793 \times 10^{-4} \\ 1.793 \times 10^{-4} \\ 1.62 \times 10^{-4} \\ 1.62 \times 10^{-4} \\ 1.477 \times 10^{-4} \\ 1.477 \times 10^{-4} \\ 1.169 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \text{ Wb} \quad F_{em} = \begin{pmatrix} 77.542 \\ 39.477 \\ 39.477 \\ 32.229 \\ 32.229 \\ 26.804 \\ 26.804 \\ 16.77 \end{pmatrix} \text{ N}$$



Маса на подвижните части:

Маса на котвата:

$$V_K := a_{\Pi}^2 \cdot (a_{\Pi} + c)$$

$$V_K = 1.166 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$M_K := \rho_{Fe} \cdot V_K$$

$$M_K = 0.092 \text{ kg}$$

Маса на подвижните контактни тела:

$$V_{\text{пкт}} := 2 \cdot n_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{кт}}^2}{4} \cdot h_{\text{кт}} + 2 \cdot (n_{\text{нз}} + n_{\text{но}}) \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{кт.пкс}}^2}{4} \cdot h_{\text{кт.пкс}}$$

$$V_{\text{пкт}} = 1.257 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{\text{пкт}} := \rho_{\text{Ag}} \cdot V_{\text{пкт}} \quad M_{\text{пкт}} = 0.013 \text{ kg}$$

Маса на подвижния контактоносащ (мост):

$$V_{\text{пкн}} := n_{\text{п}} \cdot a_1 \cdot l_{\text{кт}} \cdot b_{\text{тк}} + (n_{\text{нз}} + n_{\text{но}}) \cdot a_1 \cdot l_{\text{кт.пкс}} \cdot b_{\text{тк.пкс}}$$

$$V_{\text{пкн}} = 1.08 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_{\text{пкн}} := \rho_{\text{Cu}} \cdot V_{\text{пкн}} \quad M_{\text{пкн}} = 9.504 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Приема се, че масата на контактната пружина, ограничителите, пластмасовите детайли, винтове и др. увеличават общата маса на подвижните части с 20 гр.

$$M_{\text{др.пч}} := 0.02 \text{ kg}$$

Обща маса на подвижните части:

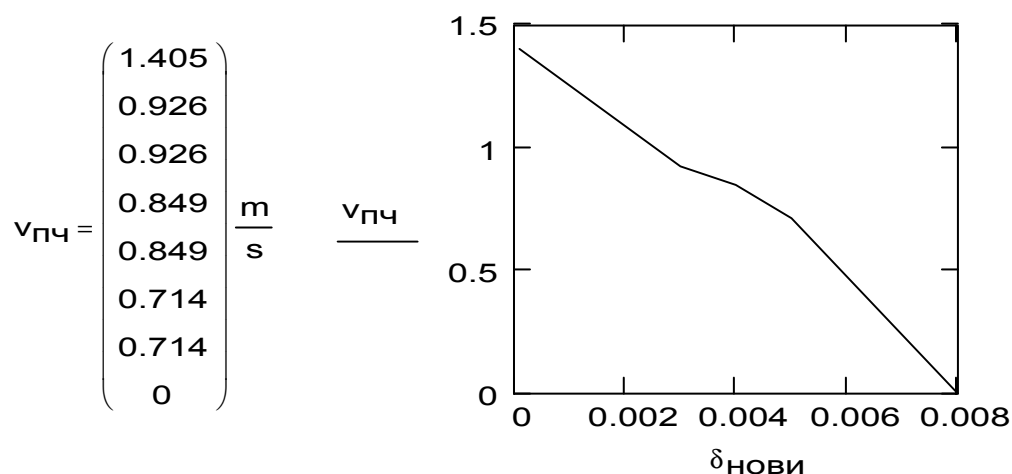
$$M_{\text{пч}} := M_{\text{к}} + M_{\text{пкт}} + M_{\text{пкн}} + M_{\text{др.пч}} \quad M_{\text{пч}} = 0.135 \text{ kg}$$

Времето на включване и времето на изключване на електромагнити за променлив ток се изчислява трудно, понеже зависят от преходните процеси при изменението на магнитния поток в магнитната система.

Скорост на подвижните части на електромагнита при включване при 1.1Ue

$$i_{\text{в}} := 6 \dots 0 \quad v_{\text{пч}_7} := 0 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad t_{\text{пч}_7} := 0 \text{ s}$$

$$v_{\text{пч}_{i_{\text{в}}}} := \sqrt{\frac{2 \cdot (\sqrt{1.1} \cdot F_{\text{ем}_{i_{\text{в}}}} - F_{\text{нови}_{i_{\text{в}}}}) \cdot (\delta_{\text{нови}_{i_{\text{в}}+1}} - \delta_{\text{нови}_{i_{\text{в}}}})}{M_{\text{пч}}} + (v_{\text{пч}_{i_{\text{в}}+1}})^2}$$



Максималната скорост на подвижните части е при δ_{\min} :

$$v_{\text{пч.max}} := v_{\text{пч0}} \quad v_{\text{пч.max}} = 1.405 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Изчисляване на времето на движение:

$$t_{\text{пч}_{iv}} := \frac{(\delta_{\text{нови}_{iv+1}} - \delta_{\text{нови}_{iv}})}{v_{\text{пч}_{iv}}}$$

Време за движение на подвижните части:

$$t_{\text{дв}} := \sum_{iv} t_{\text{пч}_{iv}} \quad t_{\text{дв}} = 8.524 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Вибрация на подвижното контактно тяло:

Скоростта на подвижното контактно тяло в момента на допиране на контактните тела:

$$v_{\text{пч}_4} = 0.849 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Отчитам коефициент на възстановяване на скоростта от фиг. 6.32:

$$k := 0.26$$

Време за вибрации:

$$t_{\text{вб}} := \frac{2 \cdot k}{1 - k} \cdot \frac{M_{\text{пч}} \cdot v_{\text{пч}_4}}{n_{\text{п}} \cdot F_{\text{кн}}} \quad t_{\text{вб}} = 0.011 \text{ s}$$

7. Общо оразмеряване. Габарити. Монтажни размери.

Избирам за закрепване отвори без резба от таб. 7.1 с диаметър 4,8мм, стандартно разстояние между отворите от стр.105 съответно 80мм и 100мм.

Общи габарити: височина - 165мм, ширина - 128мм, дължина - 100мм

Размери на основата: 128x90мм

Височина на клемата на ГКС: 102мм

Разстояние между клемите на ГКС: 23мм

ВНИМАНИЕ!!!

Възможно е да има грешки или неточности. Авторът не носи никква отговорност.

Copyright (C) Меист 2001

<http://www.geocities.com/katchov/tu>

Този файл е създаден с MathCAD Version 2000 (*.mcd). От един студент от специализация ел. апарати който не е съгласен да се учи от ръководства и технологии от миналия век, които дори свършват и ги няма в библиотеката. Да не говорим колко грешки и неточности има, за липсващата международната система от единици SI и изобилието от емпирични формули на които им се чудиш каква им е дименсията.

С настоящия файл се опитвам малко или много да променя това. Или поне да дам на следващите след мен, малко по-добро ръководство за Проектиране на КАНН от това, което имаме днес. Това своеобразно ръководство не е одобрено от МОН, нито пък го е писал някой с титла "инж." или "др. т. н." Но мисля, че ще бъде полезно.

За файловете:

Преди да разпечатиш виж дали си на форма на страницата A4 във:
Menu <Alt> -> File <F> --> Page Setup... <U> --> Paper size: --> A4

Това трябва да е 31 страница. Задай само толкова, без една (тази която я четеш сега), ако не искаш да ти се отпечатаат и тези които са в повече.

Ако при разпечатването се появяват излишни точки на десния край на листа, не се шашкай:-) проблемът не е в твоя принтер или монитор. Аз съм ги поставил на места на които смятам, че трябва да се обърне внимание, като: избиране на коефициенти и стойности от таблици, проверка за изпълняващи се условия и др. Затова:

"ОБЪРНИ ВНИМАНИЕ НА ТОЧКИТЕ ! ! !"

И все пак малко и за чертежа. Може да ти го принтват (плотнат), изрежат и сгънат само за едно левче в 35 блок, Студентски град :-). Лошото е, че приемат само плот файлове (*.plt) или в краен случай CorelDraw файлове (*.cdr).

Ако си в AutoCAD и файлът е (*.dwg) трябва да му дадеш "plot" от менюто "file" като използваш драйвер за стандартен плотер или HP DesignJet 450C, 650 или 800. Използвай мащаб (скала) 1:1, монохромна таблица на стила. Използвай "Full Preview", за да видиш дали е центрирано изображението.

Успех.

С уважение: Меист

17.12.2001г. София

П.С. И не забравяй, че трябва да предадеш НЕЩО! Дори и да не е вярно! Просто няма да имаш отличен 6:-)

Пояснения:

Коефициентите K_v от 4.4.3 и K_i от 4.4.4 съм ги взел малко намерки, защото иначе се получават някакви си фантастични височини на контактните тела от порядъка на десетки сантиметри :-)

Други за сега няма, а ако се сетиш нещо. Напиши го!

Използвани означения и съкращения:

$F_{KH} = 2.4 \text{ N}$ начална контактна сила

$F_{KK} = 3 \text{ N}$ крайна контактна сила

