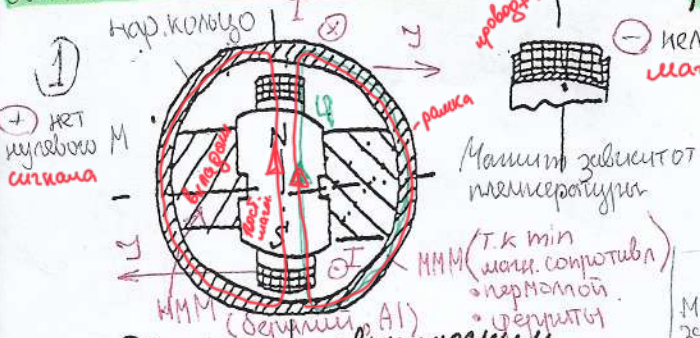


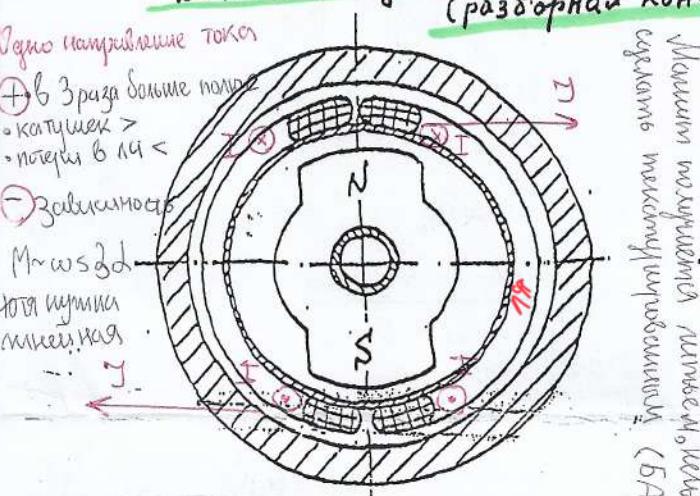
Датчик с 2х полюсным магнитом



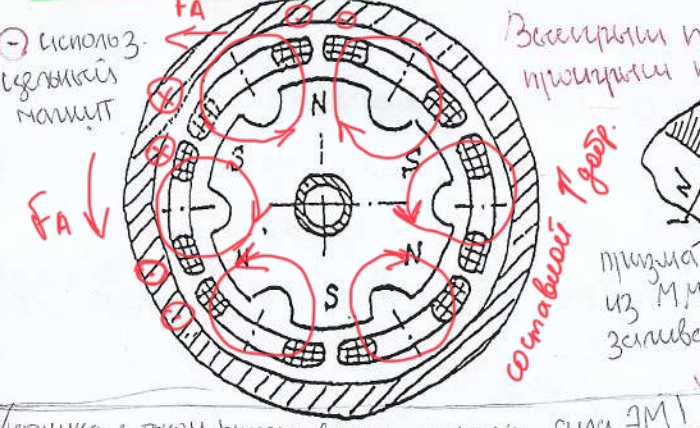
Датчик с двухполюсным магнитом (неразборная конструкция)

- НММ: магнит - соедрый кобалт б (но больше t коф)
- НММ: рамочки, вкладыши - латуни, карбос-бериллий
- обмотка: медь (% Fe), никель, Al

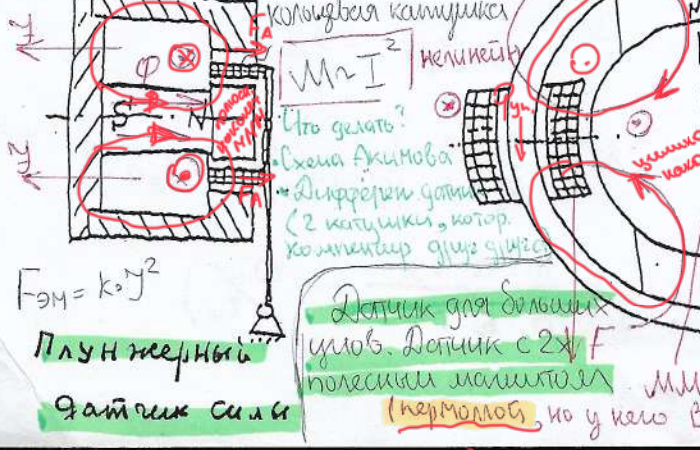
Датчик с двухполюсным магнитом (разборная конструкция)



ДМ с 6х полюсным магнитом

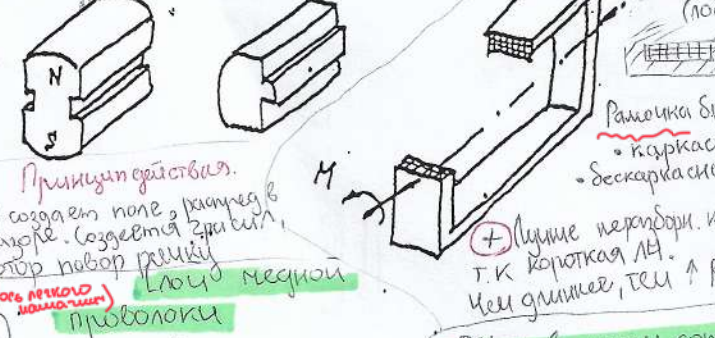


Катушка с током притягивает железку, сила F_M (или магнетизирован притяг к катушке)



Магнитоэлектрические двухполюсные катушки

нельзя втащить магнит, не разобрав систему
магнит размещается



- 1- медь
- 2- твердая изоляция
- 3- клей

Магнитная система автомата, магнит можно вставить

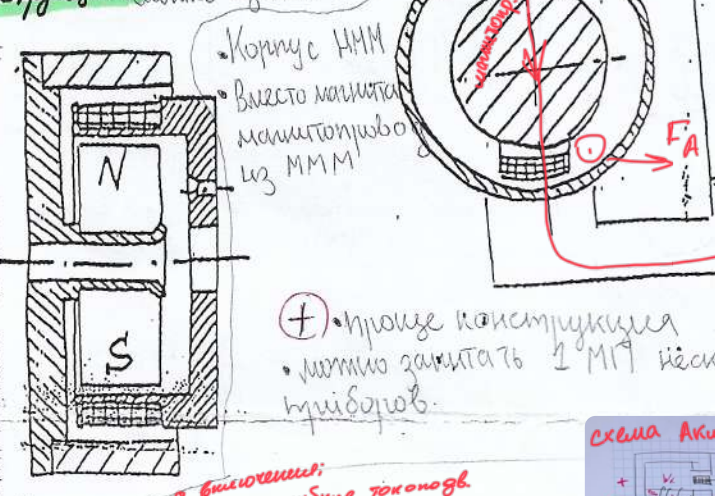
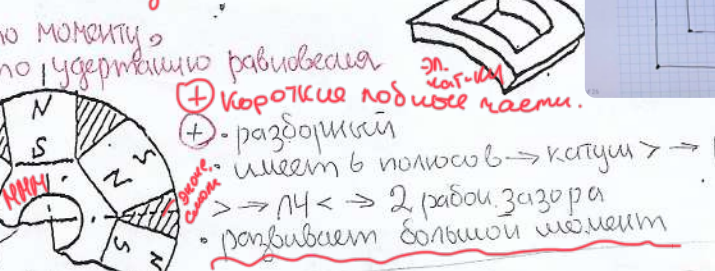
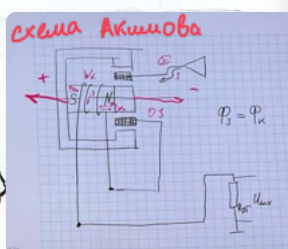
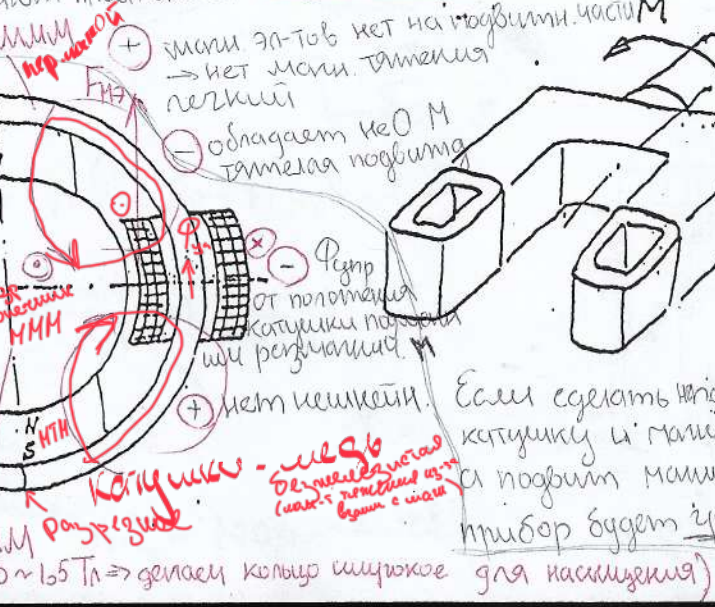
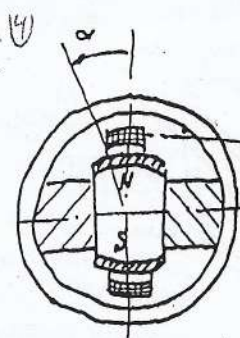


схема выключения: 1) коб. кат-ка: $\ominus$ идкие ток по дв. 2) коб. магн: $\ominus$ ток-7 и сила на дюр.

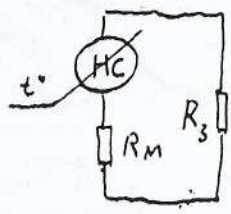
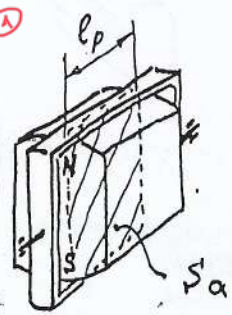


ДМ с подвижной катушкой





индукция магнита в зазоре. **Ошибки магнитодатчиков момента** (схема накладки ММ)
 с учетом погрешности катушки
 $M = B I w 2 z_{\text{ср}} l_p = B I w S_a$; $B = B(\alpha; \gamma; t; t^0)$
 кол-во витков $z_{\text{ср}}$ длина катушки l_p сред. R катушки
 ток катушки I $z_{\text{ср}}$ с тем же магнитом



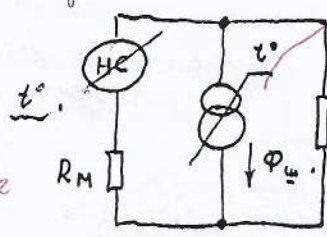
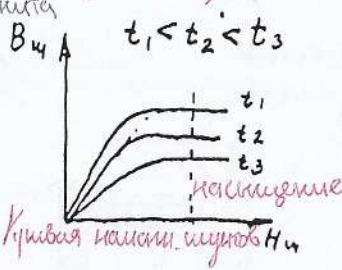
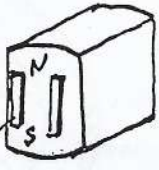
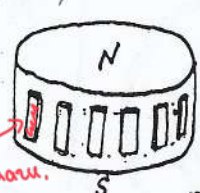
$$B = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{H C_0 (1 - \beta \Delta t^0)}{S_0 (R_M + R_3)} = B_0 (1 - \beta \Delta t^0)$$

плотность зазора

$\beta \sim 0,02 \dots 0,2 \frac{\%}{\text{град C}}$
 нужно меньше

- 1) материал (может быть неоднороден)
 - 2) I (разматывание и намагничивание) делают обратную связь
 - 3) t доводят до намагничивания
- тогда элемент уходит стабильность выше.

1. Термощунты В зависимости от t^0 ($t^0 \downarrow, B \uparrow$)
 (из ММ) ($\sim 30-40 \text{ мТ}$) они погреш. I магнита



температ. коэф. индукции
 основной $B \downarrow, t \uparrow$
 точность шунта

Часть МП через зазор и через шунты; проходит через шунты МП вводит их в намагничивание. Они, поддерживают МП в зазоре = const
 при $\uparrow t^0$ делают перекompенсацию кол-во шунтов.

$$H C = (\Phi + \Phi_{\text{ш}}) R_M + \Phi R_3;$$

$$\Phi = \frac{H C - \Phi_{\text{ш}} \cdot R_M}{R_M + R_3}$$

сопротивл. зазора
 сопр. магнит

$$H C = H C_0 (1 - \beta \Delta t^0); \quad \Phi_{\text{ш}} = B_{\text{ш}} \cdot n \cdot S_{\text{ш}} (1 - \beta_{\text{ш}} \Delta t^0)$$

$$B = \frac{H C_0 (1 - \beta \Delta t^0) - B_{\text{ш}} n R_M S_{\text{ш}} (1 - \beta_{\text{ш}} \Delta t^0)}{(R_M + R_3) S_3} = B_0 \left\{ \left[1 - \frac{B_{\text{ш}} \cdot n \cdot R_M S_{\text{ш}}}{B_0 (R_M + R_3) S_3} \right] - \left[\beta - \beta_{\text{ш}} \frac{B_{\text{ш}} \cdot n \cdot R_M S_{\text{ш}}}{B_0 (R_M + R_3) S_3} \right] \Delta t^0 \right\}$$

Намагниченность M с t^0 становится $>$, $I_{\text{ср}} <$ обмотки ДМ из-за медл. обмотки $\uparrow R$. При протекании тока, $U_{AB} \downarrow$, появляется $I_{\text{ш}}$ при $\uparrow t^0$ обмотки. Ток $\approx$ с $I_{\text{обд}}$

$$B' = B_0' (1 + \gamma_1 \Delta t^0)$$

$\gamma_1 < 0$ - недокомпенсация

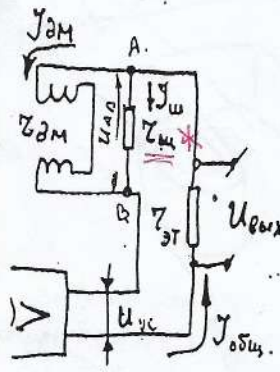
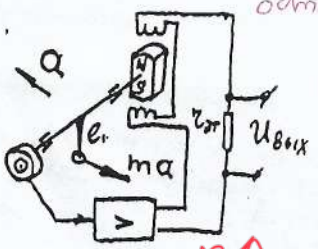
$\gamma_1 = 0$ - полная компенсация

$\gamma_1 > 0$ - перекомпенсация

$$m l \alpha = B \cdot w S_a I_{\text{ср}}; \quad U_{\text{вых}} = I_{\text{ср}} Z_{\text{эт}} = \frac{m l \alpha z_{\text{эт}}}{B_0' (1 + \gamma_1 \Delta t^0) \cdot w \cdot S_a}$$

нужно подобрать R, чтобы $I_{\text{обд}}$ не зависел от t^0

$$\gamma_1 > 0$$



$$U_{AB} = I_{\text{ср}} \cdot Z_{\text{ср}} (1 + \alpha_{\text{ср}} \Delta t^0); \quad I_{\text{ш}} = \frac{U_{AB}}{Z_{\text{ш}}}; \quad I_{\text{обд}} = I_{\text{ср}} + I_{\text{ш}} =$$

$$= I_{\text{ср}} \left(1 + \frac{Z_{\text{ср}}}{Z_{\text{ш}}} \right) \left[1 + \frac{Z_{\text{ср}} / Z_{\text{ш}}}{1 + Z_{\text{ср}} / Z_{\text{ш}}} \alpha_{\text{ср}} \Delta t^0 \right] = \frac{m l \alpha (1 + Z_{\text{ср}} / Z_{\text{ш}})}{B_0' (1 + \gamma_1 \Delta t^0) w S_a (1 + \gamma_2 \Delta t^0)}$$

$$\gamma_1 = \gamma_2; \quad U_{\text{вых}} = I_{\text{обд}} \cdot Z_{\text{эт}} = \frac{m l \alpha z_{\text{эт}}}{B_0' w S_a} \left(1 + \frac{Z_{\text{ср}}}{Z_{\text{ш}}} \right)$$

$$\gamma_1 \sim 2 \cdot 10^{-4}$$

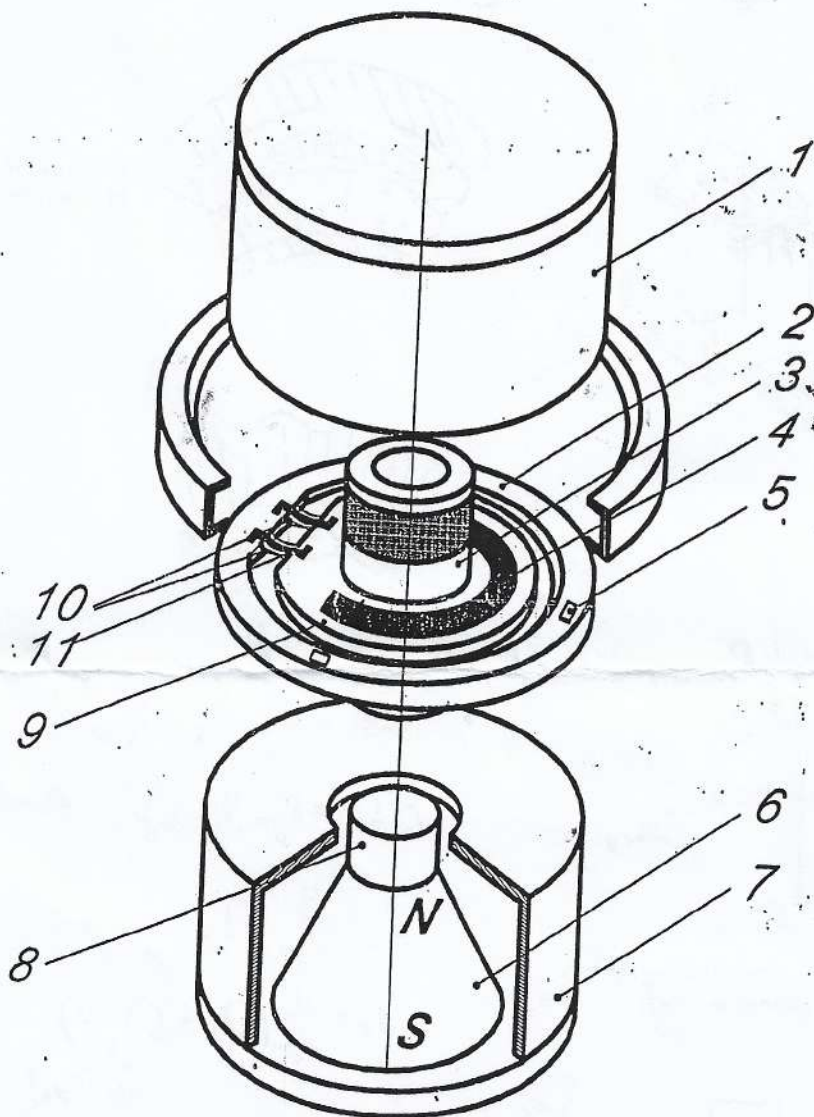
$$\frac{Z_{\text{ср}} / Z_{\text{ш}}}{1 + Z_{\text{ср}} / Z_{\text{ш}}} \cdot 0,004 = 2 \cdot 10^{-4} \rightarrow Z_{\text{ш}} \sim 20 Z_{\text{ср}}$$

нужно подобрать R, чтобы $I_{\text{обд}}$ не зависел от t^0

сопр. медной катушки. $t \uparrow$, $R \uparrow$, $I_{\text{обд}} \uparrow$

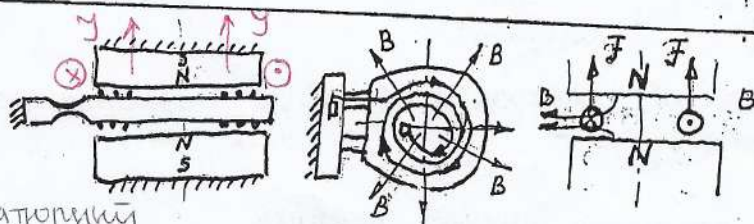
Если нет $\Gamma_{\text{ш}}$, то для равенства $t \uparrow, B \downarrow \Rightarrow$ так для равенства $\mu_{\text{ш}}$ меньший $\Rightarrow Y \downarrow$,
 но! с $\Gamma_{\text{ш}}$ $Y_{\text{ш}} \uparrow$ увеличивается, $Y_{\text{обш}} \uparrow \Rightarrow$ равенство
 создаваемых

Дифференциальный пьезоэлектрический МЭД акселерометра "А-100"



- 1, 7 - Корпус пьезоэлектрического датчика
- 2 - Опорное кольцо
- 3 - Катушка моментного датчика
- 4 - Подвижный электрод емкостного датчика
- 5 - Установочные пластины

- 6 - Магнит
- 7 - Крышка
- 8 - Полюсный наконечник
- 9 - Подвижная пластина
- 10 - Токотвод
- 11 - Упругая балка



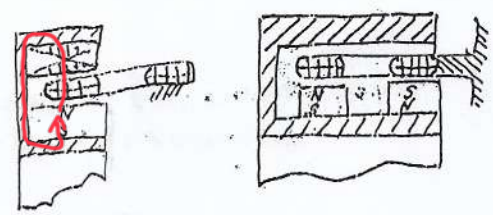
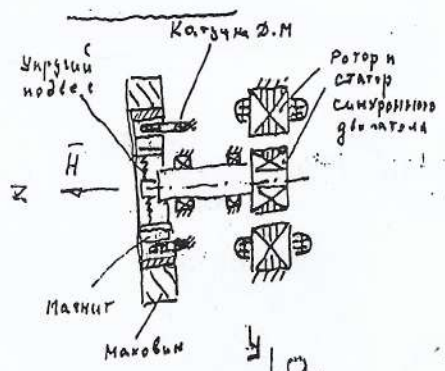
МЭД со стесненным магнитным полем

⊕ миниатюрный магнитопровод датчика

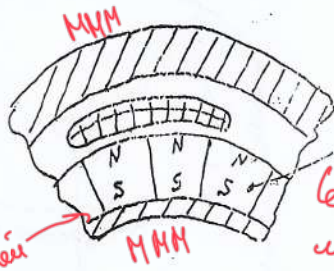
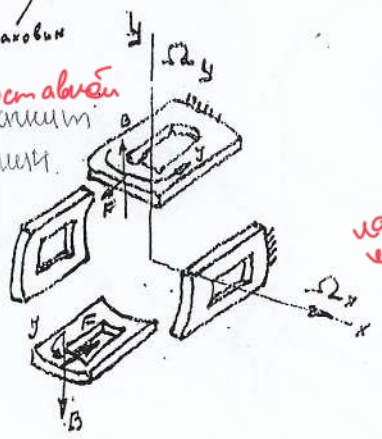
— Большая лобовая часть
укорачивает 2 магнита

ДМ ДНГ

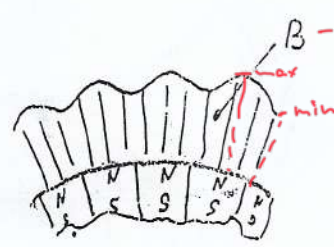
- ДМ, который обеспечивает 2 момента
- катушки строю под 90° (иначе момент не только отклонит вертикальной осю, но и проекцией отклонит горизонт осю)



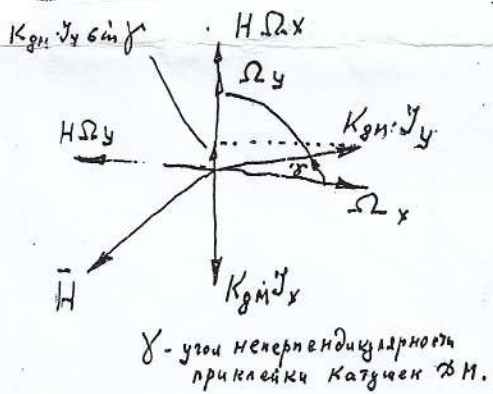
Использов коллинейной магнит с радиальной намагничен. **Sm Co5** (темно намагничивать) в целост.



сегменты магнитов из $Sm Co5$
большинство мест чашки. нарез. стр. др. между турбова.



В-целост. Кольца Стенда вращаются => перемагничивают состав => все ипр.



$$H \Omega_x = K_{gm} (I_x - I_y \sin \gamma)$$

ДНГ использ для измерения Ω_y и Ω_x

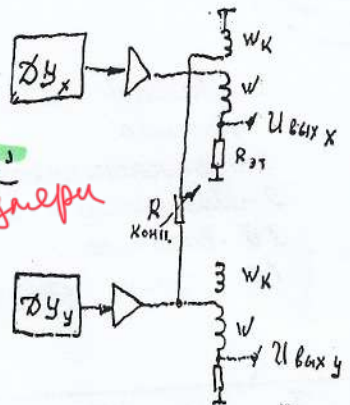
$$H \Omega_y = K_{gm} I_y \cos \gamma$$

$$I_y = \frac{H}{K_{gm}} \Omega_y$$

$$I_x = \frac{H}{K_{gm}} (\Omega_x + \Omega_y \gamma)$$

ошибка!

Компенсация
не перпендикулярности

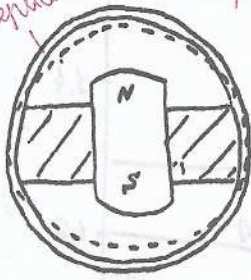


Из-за ошибки мы не можем обеспечить точное измерение Ω .
Как бороться? Выполняя ДМ с двойн. обмоткой, будет создаваться компенсация $K_{gm} I_y \sin \gamma$
Берём сигнал управления, который содержит I_y заводим ток в катушку, которая создаёт момент

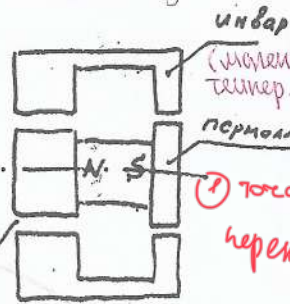
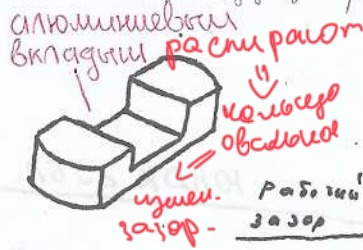
Ток заводим через R , которое подбираем, пока не выявится полного сигнала y (по осю x) или
Эти обмотки служат для устранения влияния катушек

2. Изменение зазора

периметр (кольцо)



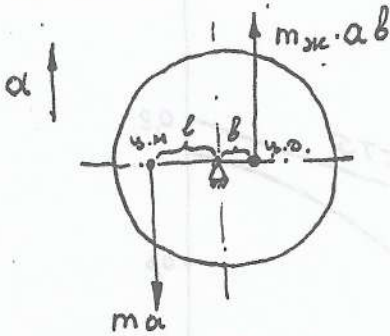
При $\uparrow \pm 0$ $\Phi \downarrow$, но т.к. сам зазор $\downarrow$, то $B = \text{const}$ (восстанавливает значение индукции)



При нагревании вкладыши расширяются $\rightarrow$ кольцо сжимается в верт. направлении $\rightarrow$ требуется посадка $\textcircled{1}$ много считать

точные детали через тепловую.

3. Смещение центра давления



$$m_{ж} = m_{ж0} (1 - \alpha_{ж} \Delta t^{\circ})$$

масса жидкости

Смещение компенсирует изменение индукции.

$$M = m l a + m_{ж0} (1 - \alpha_{ж} \Delta t^{\circ}) b a = (m l + m_{ж0} b) \cdot a \left[1 - \frac{m_{ж0} b}{m l + m_{ж0} b} \cdot \alpha_{ж} \Delta t^{\circ} \right] = K_{гм} \cdot (1 - \beta \Delta t^{\circ}) \gamma_{гм}$$

момент инерции

7 мм.крат.

$$\beta = \frac{m_{ж0} b}{m l + m_{ж0} b} \alpha_{ж} \approx \frac{b}{l + b} \alpha_{ж}; \quad \gamma_{гм} = \frac{m l + m_{ж0} b}{K_{гм0}} a$$

(не зависит от t°)

$$\beta \sim 0,02 \frac{\%}{\text{град}}; \quad \alpha_{ж} \sim 0,1 \frac{\%}{\text{град}}; \quad b \sim 0,2 l$$

$m = m_{то}$ - делают специально, чтобы не впадала и не точила $\gamma_{потребн} = \gamma_{гм}$

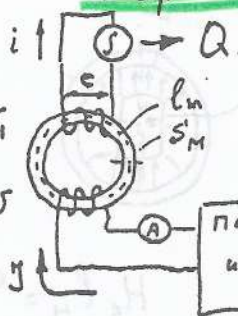
перекос $n \Rightarrow$ индукция.

Расчет магнитной индукции.

Аналогия:

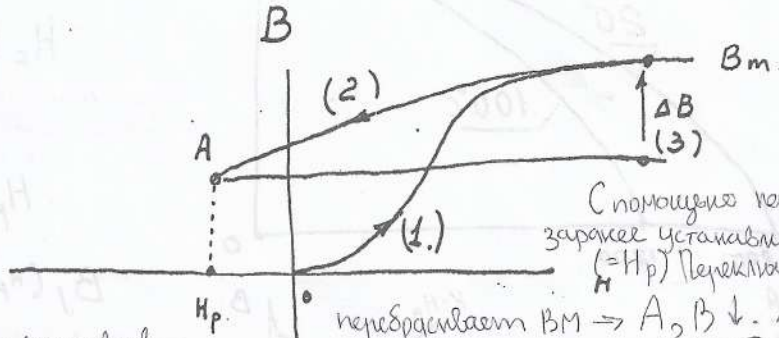
ток	$I \rightarrow \Phi$ [Вб]	поток
плотность ток	$I/S \rightarrow B$ [Тл]	плотность МПотока
элект. сопротивление	$R \rightarrow R_m$ [1/Гн]	ман. сопротивление
электр. проводимость	$1/R \rightarrow G$ [Гн]	приводимость
идеальное сопротивление	$\rho \rightarrow$ магнитная	
	$1/\rho \rightarrow \mu$ [Гн/м]	проницаемость
ЭДС	$\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{H} \ell_m$ [А]	намагничивающая сила
напряженность	$U = I \cdot R \rightarrow \Phi R_m$ [А]	длина магнита
поперечность МП	$H \ell \rightarrow$ длина проводника	

Характеристики магнитов твердых материалов.



$$\mathcal{E} = - \frac{d\psi}{dt} = - w_1 \frac{d\Phi}{dt} = w_1 S_m \frac{dB}{dt}$$

$$Q = K \int \mathcal{E} dt = K \cdot \Delta B$$



С помощью переключателя заранее установив значение I ($= H_p$) переключатель

переворачивает $B_m \rightarrow A, B \downarrow$. с B приводит к появлению потока, который в магните

$$H_p = \frac{U \cdot w}{\ell_m}$$

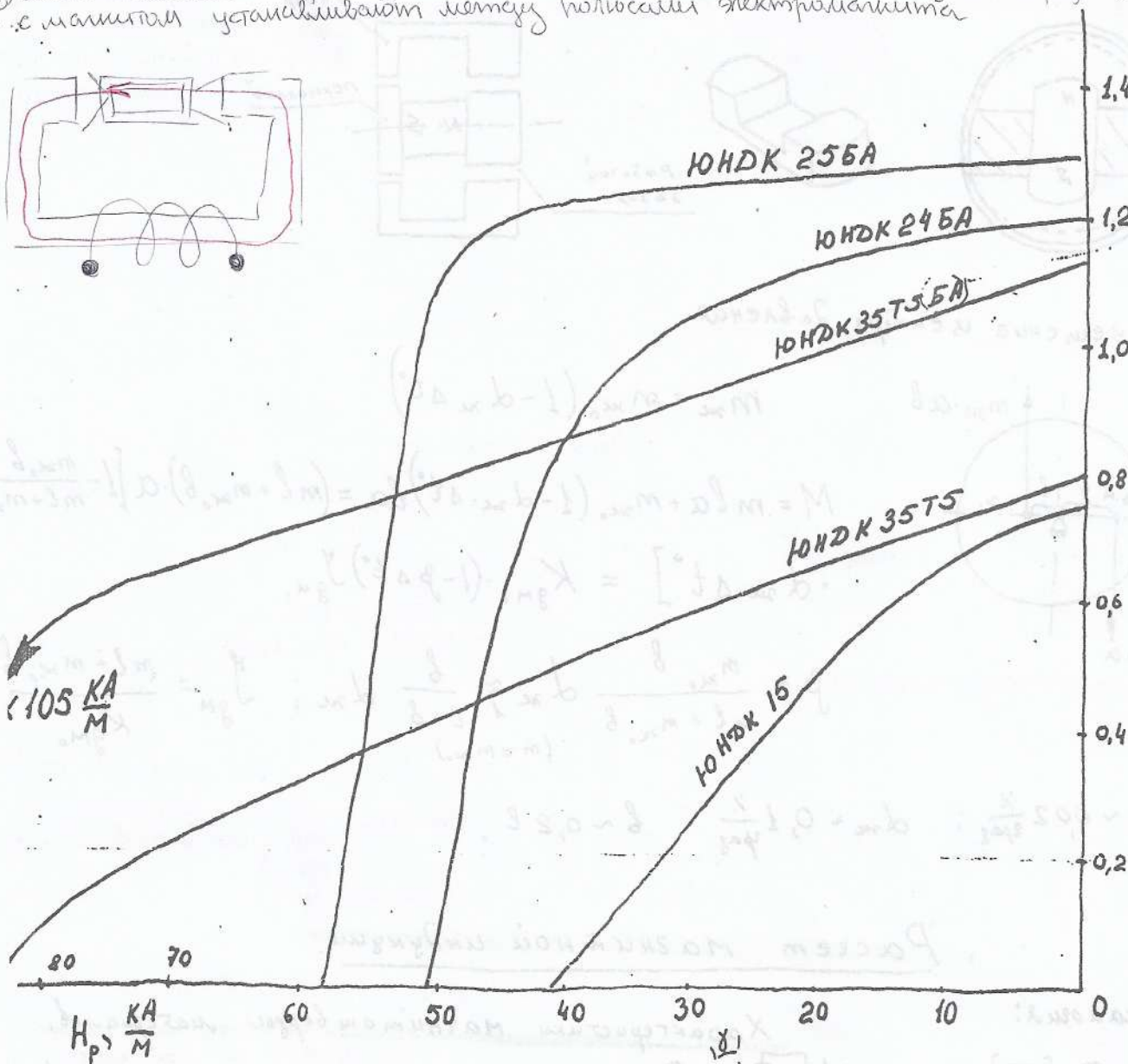
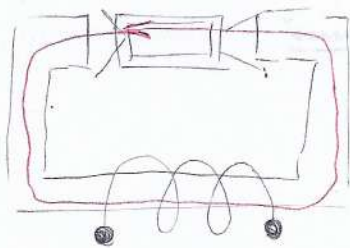
корректировка

Магнит в насыщение, переключатель переставляем для другого переключения. Токи, в результате кривая размагничивания

В первичной обмотке формируют I . Включая устанавливая ток, который создает большое МП, доходит до насыщения.

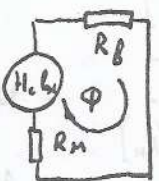
Методы намагничивания магнита:

① намагничивание в арматуре - магнит вставляют в магнитопровод, весь корпус $B, Tл$
 с магнитом устанавливают между полюсами электромагнита

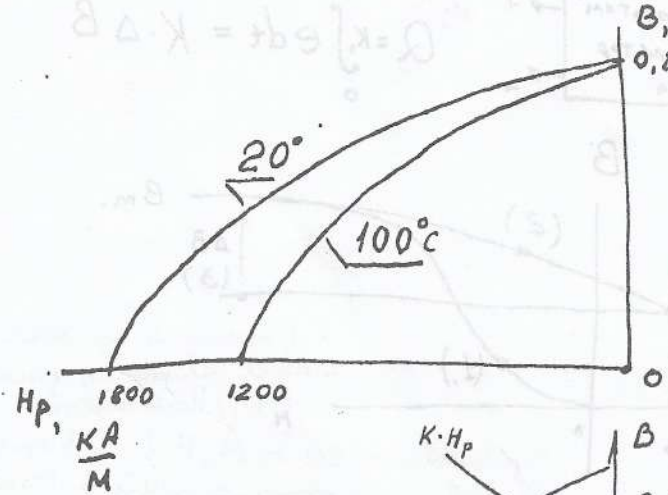


От - ширина катушки
 В - угол отклонения катушки от ср. положения
 $S_m C_0 5$

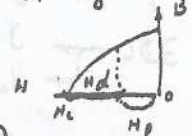
$S_m \cdot B_d; H_d$



Случай
намагничивания
в арматуре.



напряженность
 поля $H_d = H_c - H_p$
 (в Т.А)



$$H_c \ell_m = \Phi \cdot R_m + \Phi R_b$$

сопротивл. воздушн
 зазора

$$H_c \ell_m = H_d \cdot \ell_m + B_d \cdot S_m \cdot R_b$$

$$H_p \ell_m = B_d \cdot S_m \cdot R_b$$

коэф. размагн

$$B_d(H_p) = \frac{\ell_m}{S_m \cdot R_b} H_p = K H_p; [K]: \frac{Tл}{\frac{KA}{M}} = \frac{Tл}{A/M}$$

индукция в зазоре

индукция в теле магнита

коэф. рассеивания
 $K_p = \frac{G_1}{G_2}$

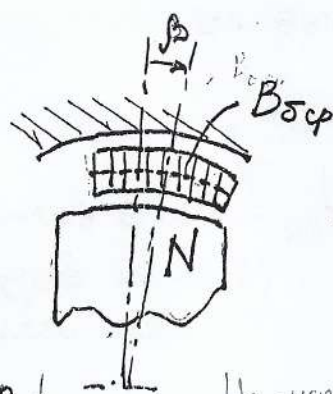
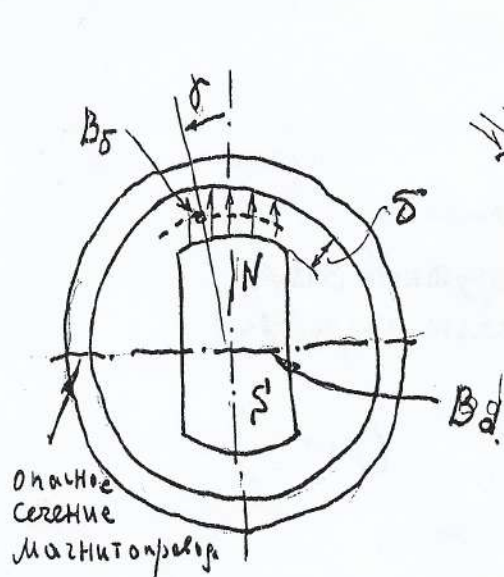
$$B_g = \frac{B_d \cos \delta}{(1 + \delta B_m) \cdot K_p}; B_{g\phi} = B_g \frac{2 \sin \frac{\theta_n}{2}}{\theta_n} \cdot \cos \beta$$

ср. индукция, выходящая из сечения катушки

Вз - полная магнитопровод $B(H_p)$
 Вб - магнитопровод
 без зазора

Метод возмущенных путей магнит потока

① нарушаем распределение магнитного потока в магнитопроводе

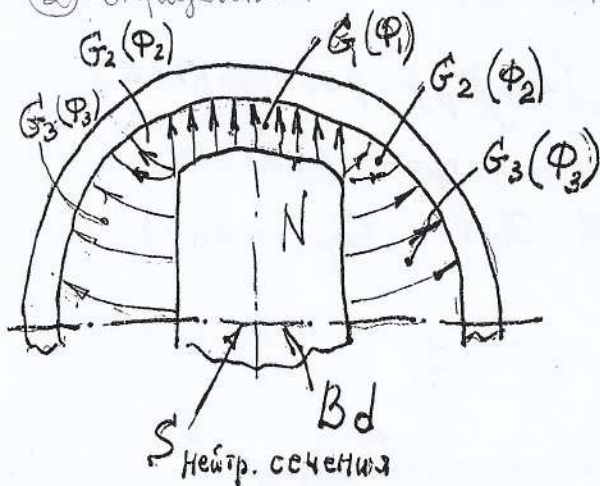


$$B_{\delta, \text{расч}} = 0,9 B_{\delta, \text{ср}}$$

размагничивание 10%

Из магнитного материала вырабатывается магнитопровод.

② определяем магнитные проводимости каждой части. Разбиваем δ_1, δ_2

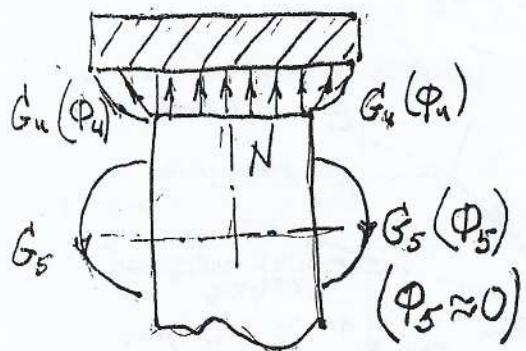


$$B_d = \frac{\Phi_1 + 2\Phi_2 + 2\Phi_3 + 2\Phi_4}{S_{\text{нейтр. сечения}}}$$

$$B_{\delta} = \frac{\Phi}{S_{\text{средн. сеч. возм.}}}$$

Считают эти трубки независимыми, рассчитывая потоки

$$K_{\text{расч}} = \frac{\Phi_1 + 2\Phi_2 + 2\Phi_3 + 2\Phi_4}{\Phi_1}$$



$$K_{\text{расч}} = \frac{l_m}{S_m \cdot R_e} = \frac{l_m}{S_m} G_{\delta}$$

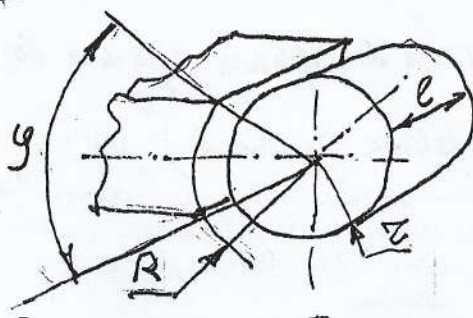
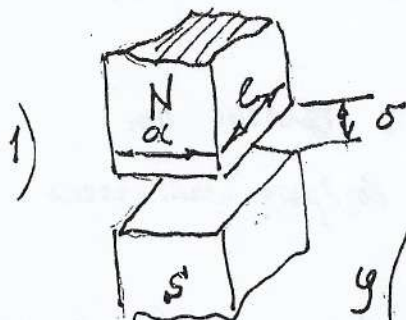
Метод возмущенных путей потока

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

$$G_{M_1} = \mu_0 \left[\frac{a^2}{2\delta} + 0,52 \left(1 + \frac{a}{e} \right) e + 0,308\delta \right]$$

$$G_M \approx \mu_0 \frac{a^2}{\delta} \quad \left(\text{если } \frac{\delta}{a} \text{ и } \frac{\delta}{e} < 0,04 \right)$$

точность 10%

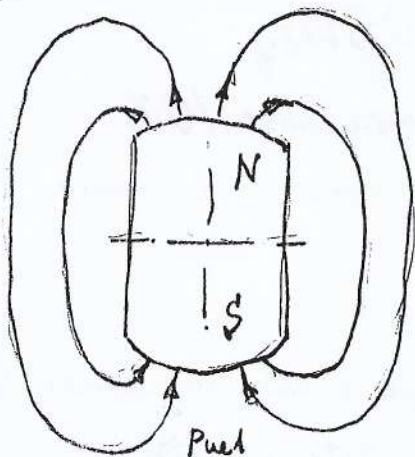


$$G_M = \mu_0 e \frac{\varphi}{l_n \frac{R}{2}}$$

Как разобрать магнитную систему после размагничивания? Можно замкнуть магнитное поле (или магнит. кольца прижимаются к торцу магнита, и МП замыкается через техническую накладку)

Случай намагничивания магнита без арматуры.

- 1) Разберется магнит без арматуры, рисуете магнитный поток (по кривой размагни)



G_{M1} - малая величина
(большой воздушный зазор, нет магнитопровода)

$$K_{разм1} = \frac{\ell_m}{S_m} G_{M1} \quad (\text{рис. 2})$$

коэф. размагничивания

- 2) Установка магнита в магнитопровод

$\mu_r B = \mu_{re} (или \mu_r)$ - реверсивная магнитная проницаемость
(Ю.М. Лягин, Справочник)

$$K_{разм2} = \frac{\ell_m}{S_m} = G_m$$

G_m - проводимость воздушного зазора в ДМ
 G_m - из варианта намагничивания в арматуре (рис 3)

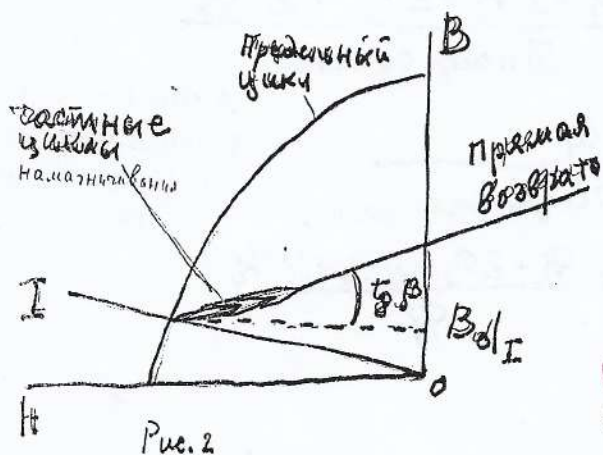


Рис. 2

Изменение МП изменяется по частотам циклов размагничивания

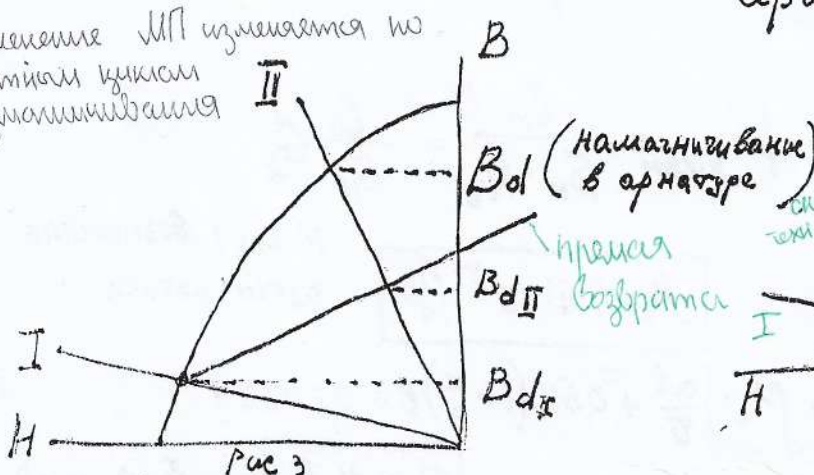
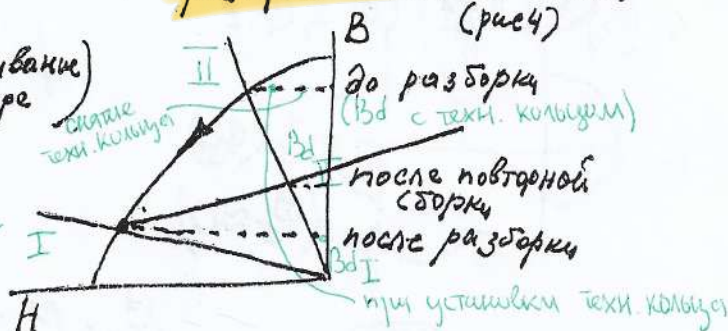


Рис. 3

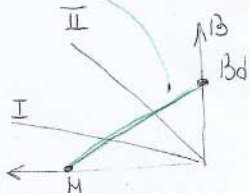
разборка магнитной системы (рис 4)



Магнит из $S_m Co_5$ можно намагничивать отдельно от

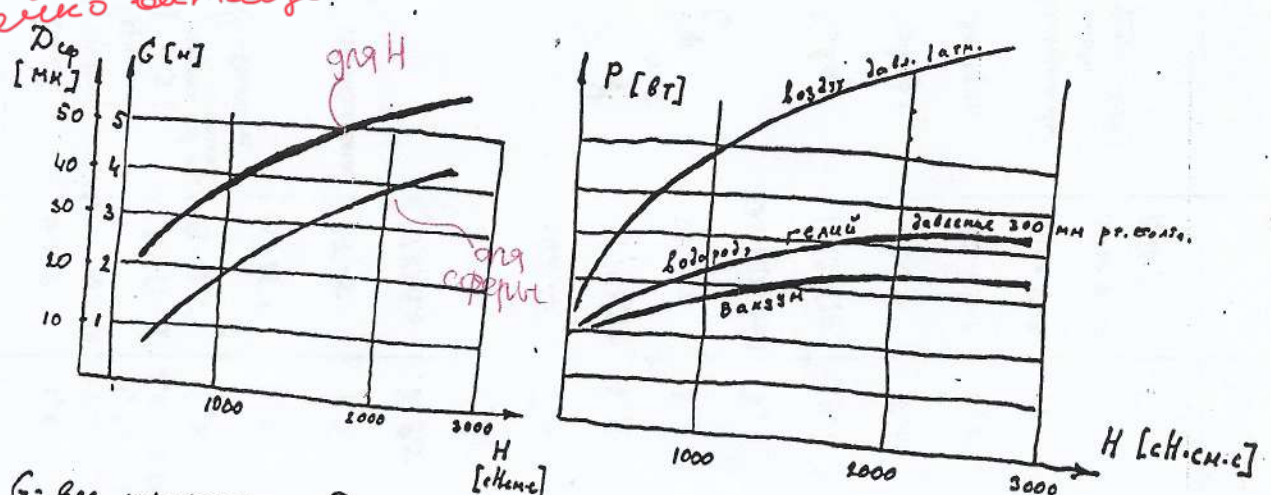
арматуры (для этого материала прямая возврата практически

совпадает с предельным циклом) (ДНГ)



Случай 1: ДМ карданный конструк. (магнит вытаскиваем). Была большая индукция, стала маленькой. Двигатель с const M. От притяжения М инерции не остается, момент в 2х. Вытаскиваем ротор, магниты остаются замкнуты магнитной системой.

→ дают меньше МММ к торцу прилегают. НП через колесо не идет. разобрал → НП не упираю, т.к. через колесо, вставили в зазор, колесо вращается.



G - вес гироскопа, $D_{сф}$ - диаметр сферы, P - выделяемая мощность.

Основные характеристики гироскопов.

(стальной ротор, $\Omega = 24000$ об/мин, конструкция орнотворная симметричная подвеса ротора на шарикоподшипниках. Напряг рассчитан на перегрузку $\sim 10 \dots 20$

Таблица добротностей и весов указанных гироскопов.

H с.м.с	200	400	500	1000	2000	4000	6000	10000	25000
D с.м.	3,2	3,4	4	5,3	6,2	9	9,3	12,12	12,5
G Н	0,62	1,17	1,22	1,9	3,2	4,5	6,19	8,2	20

Пермолон 50 Н
 $B_s \sim 1,5 Tn$

Пермолон 79 Нм
 $B_s \sim 1,2 Tn$

Пермолон
 $B_s = 2,4 Tn$

Конструкционные материалы, применяемые в точном приборостроении.

Табл. №2

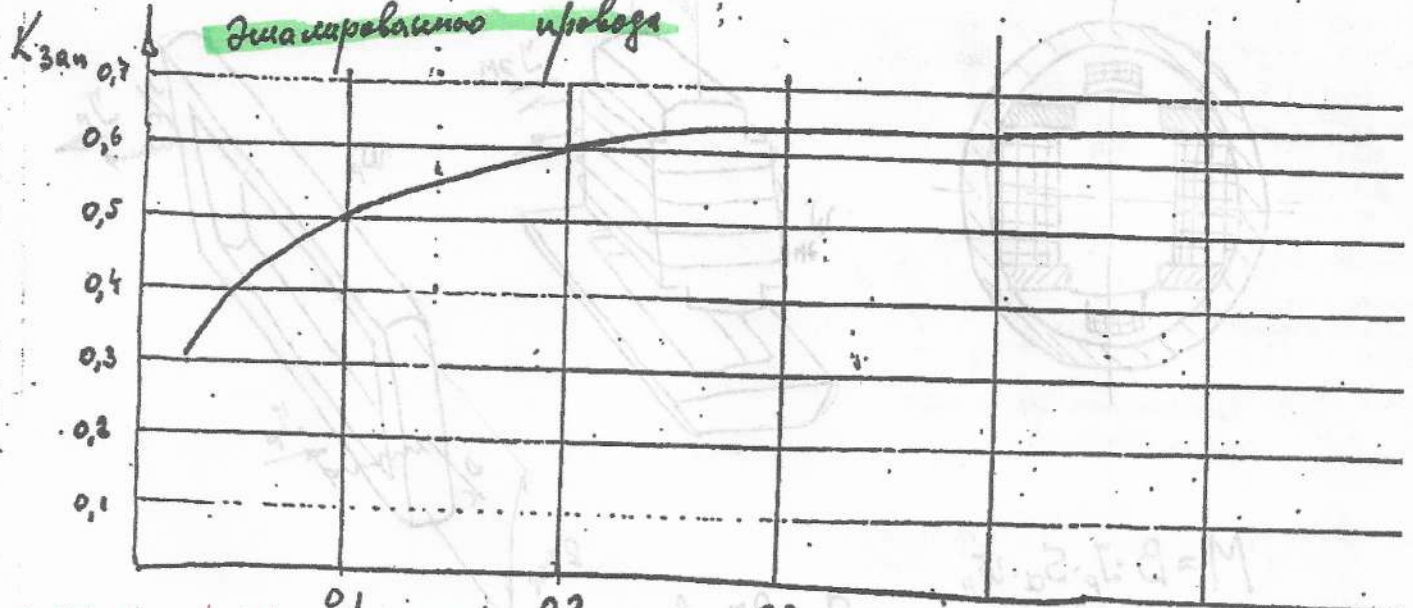
Наименование	Предел тек. $\sigma_{тек} \cdot 10^{-3} \left[\frac{H}{cm^2} \right]$	Твердость по Кнуппу $[H/mm^2]$	Модуль Юнга $[H/cm^2] \cdot 10^{-7}$	Плотность $[г/см^3]$	Темперостойкость $\left[\frac{Вт}{см. трз} \right] \lambda$	Кoeff. линейного расширения $K_{расшир} \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{град} \right]$
Корунд	154	21000	5,3	4,0	0,5	5,4
Алмаз	530	70000	10,35	3,5	20	1,0
Кварц квар. (волокно)	84	8200	0,73	2,5	0,014	0,55
Кремний	70	8500	1,9	2,33	1,57	2,6 (300°K) 1,43 (200°K) -0,05 (400°K)

500K 2,57
300K 2,54
400K 2,02

Наименование	Марка	Плотность [г/см³]	Прочность на разрыв $\sigma_{\text{р}} \cdot 10^{-3} [\text{Н/мм}^2]$	Прочность тепловая $\sigma_{\text{т}} \cdot 10^{-3} [\text{Н/мм}^2]$	Коэффициент напряжения температуры $K_{\text{т}} \cdot 10^{-5} [1/^\circ\text{C}]$	Темпероплотность $\lambda \left[\frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$	Рост показателя $E \cdot 10^{-3} [\text{Н/мм}^2]$	Коэффициент поглощения μ	Материал	Образец	Примечание
Материал Бериллий AKП-1 поп. 25° Ул. смолы	МА-8 неб30 AKП-1 В-95	1,8 + 1,85 + 2,6...2,65 + 2,8	12 - 58 + - 60	3,5 - 28 + - 55	2,6 - 11,0 + 12...13 + 23,2 +	0,37 1,46 - 1,14 +	0,455 2,9 - 0,74	0,04 - 0,33 0,33	НЕТ НЕМ НЕТ НЕМ	уд.д. уд.д. уд.д. уд.д.	отжиг отжиг, деформация Токсичен. Аном + кристаллы
Термопласт.	ВТ-5	4,5	45-95	40-85	8.	0,075	1,04	0,33	НЕМ	уд.д.	деформация.
18ХВ4	18ХВ4	7,95	130	90	14,5	0,238	2,04	0,3	ДР	Хор.	
4Х13	4Х13	7,68	114	91	12,6	0,276	2,0	0,3	ДР	Хор	
4Х15	4Х15	7,7	68	40	14	0,4	2,1	0,3	ДР	Хор	
1Х18Н9Т	1Х18Н9Т	7,9	58	24	16,6	0,163	2,0	0,3	Смолы	Пух.	
3Х13С	3Х13С	8,1	88	50	15,1	0,1	2,1	0,3	НЕМ	Пух.	
3Х13С(3Х13С)	3Х13С(3Х13С)	7,8	125	90	13-16	0,135	2,0	0,3	НЕМ	Пух.	
Кобар	H29K18	8,2	51	40	4,5-5,5	0,192	1,48		Д	Хор.	
Умбар.	H 36	8,1	50	35	1,1	0,109	1,51	0,3	Д	Хор.	
Ламин	AC-59-1	8,5	65	45	2,1	1,05	0,9-1,05		НЕМ	Хор.	
Восстановлен с модами (поп. 25°)	Вне-5-3 Вне-7-3 ВНМ	17 17 17	64 70	60 + 65 -	5,6 + 5,3	1,0 0,88	0,38		НЕМ СЛАС НЕТ	Хор. Хор. Хор.	Получен из отходов металла
AKП-1		2,61-2,65			12-13						

Коэффициент заимки для цилиндрического

диаметра провода

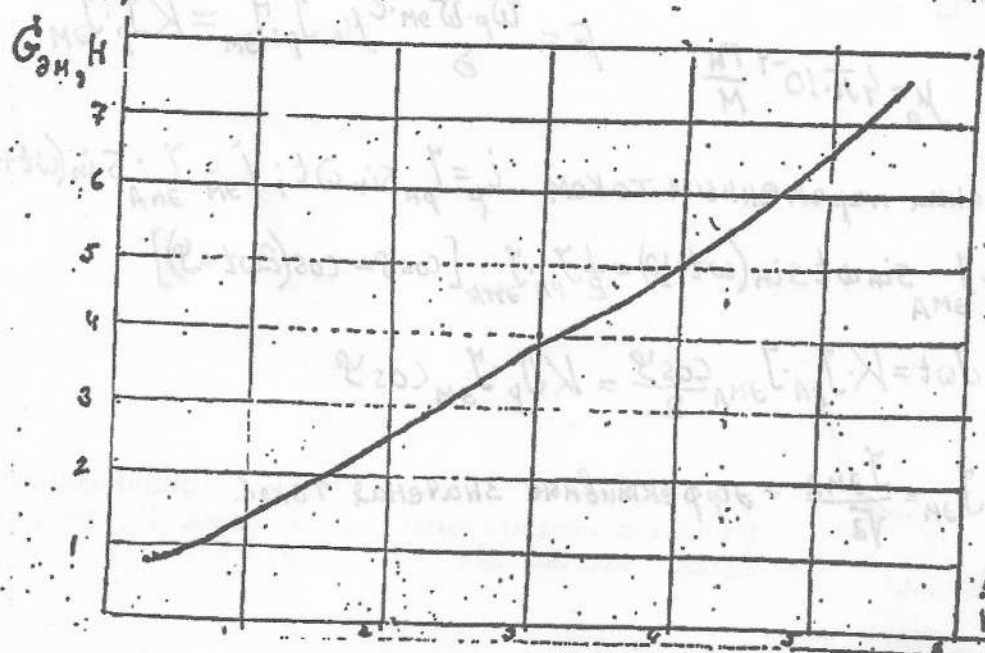


$M = B \omega S \alpha J$: $d \uparrow$ в 2 раза, $S \uparrow$ в 4 раза, $\omega \uparrow$ в 4 раза, $\alpha \uparrow$ в 4 раза, $R = \frac{\rho l}{S}$ $S \uparrow$ в 4 раза, $R \downarrow$ в 4 раза, $J^2 \downarrow$ в 16 раз $\rightarrow J \downarrow$ в 4 раза : $M = B \omega S \alpha J$ - не изменится

$P = I^2 R = \text{const} \rightarrow J^2 \downarrow$ в 16 раз $\rightarrow J \downarrow$ в 4 раза

Сопоставительные значения диаметра медного диэлектрического провода, мм

0,03	0,12	0,21
0,04	0,13	0,23
0,05	0,14	0,25
0,06	0,15	0,27
0,07	0,16	0,28
0,08	0,17	0,29
0,09	0,18	0,31
0,10	0,19	0,35
0,11	0,20	0,38



Характеристики
Оптимальная длина
молнии с
двух полюсных молний
и при молниевых разрядах
молнии молнии
ЮФК-24

$\frac{M}{Гр}, \frac{H_{вп}}{Г_{вп}}$

Нет магнита, нечему намагничиваться, не теряем индукции

Электродинамические (ферродинамические) моментные датчики

Похожи на МЭ, вместо постоянн. магнита электромагнит (~ ток питается)

Принцип: ток по катушке

поворот. М.Поток

в катушке ЭДС ~ повороту рамы

Свойности:

могут работать на const и ~ токе

⊕ стабильность во времени

⊖ есть мед. момент, связанный с трением, возникает при $I = const$

* может быть ДУ и ДМ (и оба)

Катушка стабилизатор тока для создания постоянн. М.Потока

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Сердечник-сталь Пермаллой

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Катушка для создания индукции в зазоре

Управление постоянным током

$$F = \frac{W_p \cdot W_{эм} \cdot I_{эм}}{S_{заз}} G \cdot L$$

$$G \approx \mu_0 \frac{S_{заз}}{2\delta}; \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$$

При управлении переменным током $i_p = I_{pA} \sin \omega t; i_{эм} = I_{эмA} \sin(\omega t + \varphi)$

$$f = K i_p i_{эм} = I_{pA} \cdot I_{эмA} \sin \omega t \sin(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2} I_{pA} \cdot I_{эмA} [\cos \varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$$

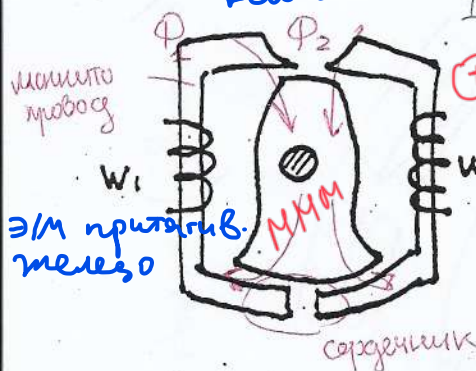
$$F_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f d\omega t = K \cdot I_{pA} \cdot I_{эмA} \frac{\cos \varphi}{2} = K I_p \cdot I_{эм} \cos \varphi$$

$I_p = \frac{I_{pA}}{\sqrt{2}}; I_{эм} = \frac{I_{эмA}}{\sqrt{2}}$ - эффективные значения токов. - эквивалентное значение переменному току const I_0 , котор. создает такой же эффект

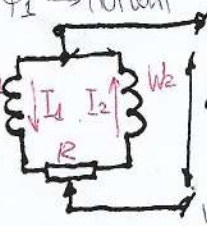
- При переменном I плохая точность
- Статический преобразователь тоже плохо
- Эти датчики могут использоваться как ДУ и ДМ

Э/М ДМ
 Статор, ротор - шихтование
 Автомобиль АП-15

Намнее достояного момента из-за остаточного магнетизма у ротора



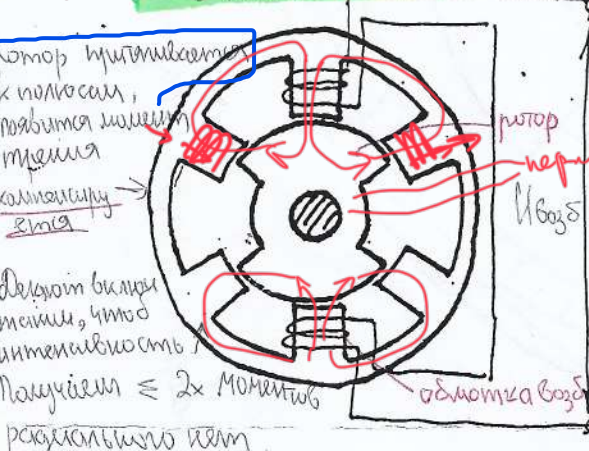
И₂ > И₁ → Φ₁ → Φ₂ → МОМЕНТ
 (+) Намнее зав-ть от +
 (+) нет маг. нет разн.



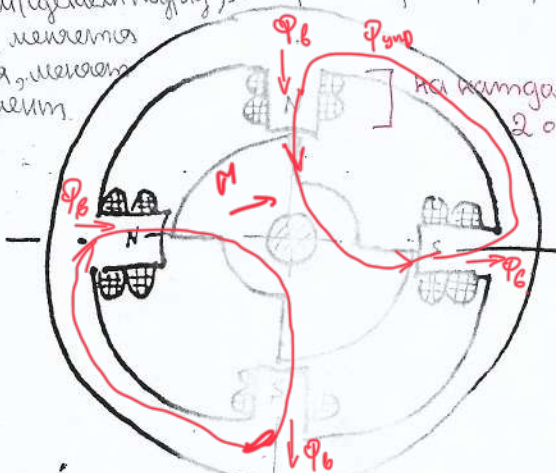
- Ток в обмотке возбуждения созд. МПоток
- если I_{упр} = 0, то момент не возникает, т.к. интенсивность с 2х сторон равна
- Обмотки соединены последовательно - встречно, Φ будут направлены в разные стороны
- остаточные токи возбужд. на роторе
- др. сил давления на опоры из-за притяжения ротора и полюсов

Четырех полюсник (микроами)

Статор и ротор шихтование переи. тем.

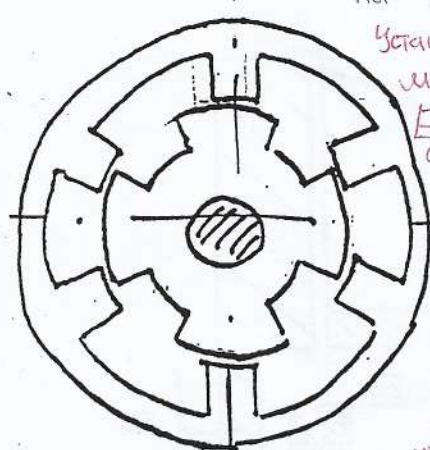


(другие фото)
 При неверном включении обмоток - чередование NSNS микроами, зм-танки I_{возб} будет работать как магн. привода.
 Если поменять (сделать подряд), то при повороте ротора меняется МП от max → 0, меняется магн. энергия, меняется возбужд. момент



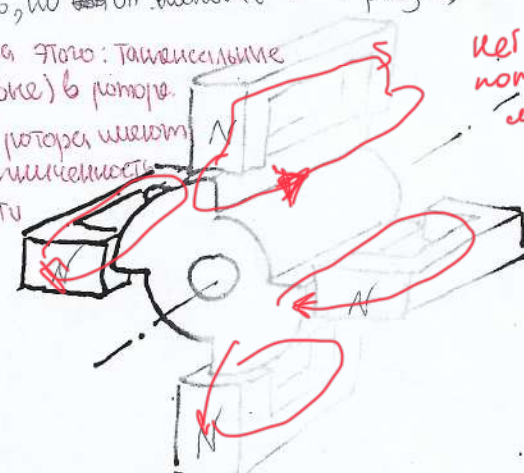
остаточный момент, зависящий от предыстории работы датчика

При работе датчиков: • на const I: этот момент ~ 0,1% I_{max}, развиваемого датчиком ранее;
 • на ~ I: момент есть, но он меньше в 4 раза;

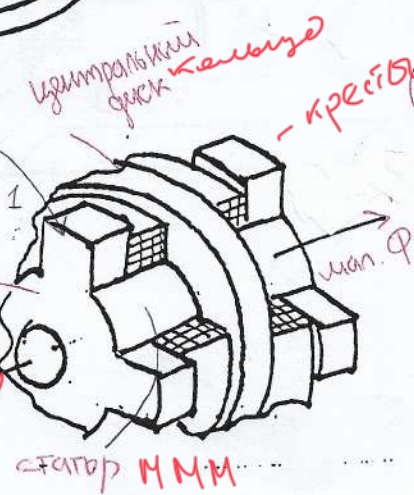


Установлено, что причина этого: тангенциальные магн. потоки (кольцевые) в роторе.
 Если все полюса у ротора имеют одинаковую намагниченность и напряженность N₀, то магнетизм нет

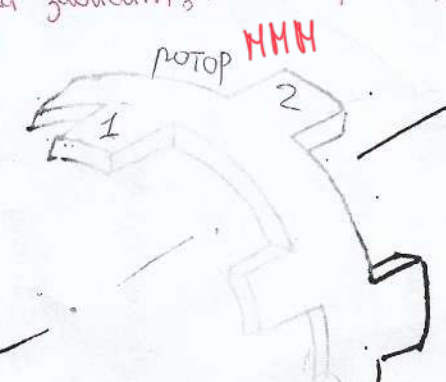
нет кольцевых потоков, нет мом - в темноте

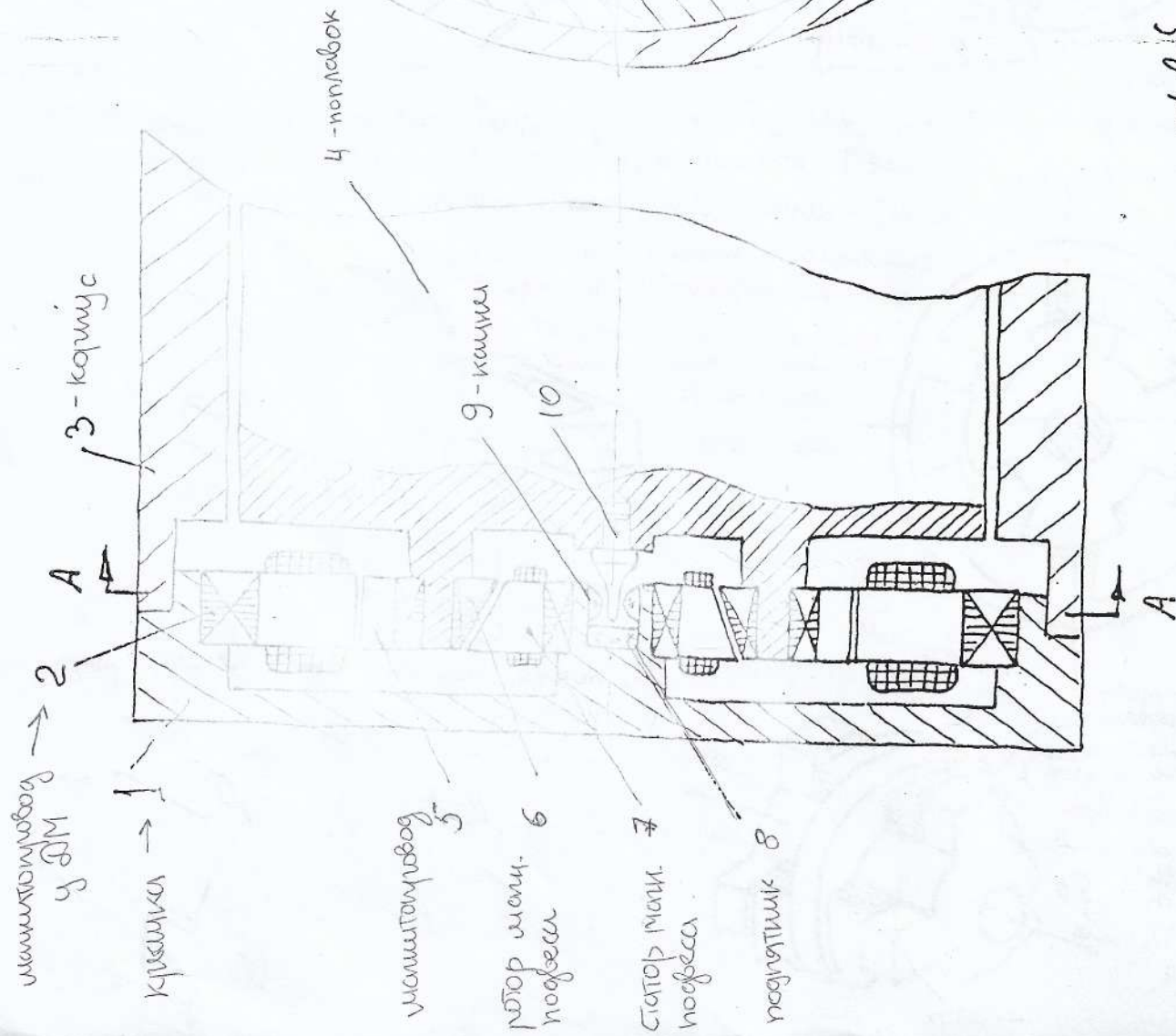


Статор магнитирован крестообразно наклоненными. Когда ротор наклонен (3) надвиг на статор, то часть 1 ротора оканчивается в середине первого сегмента креста, а часть 2 оканчивается в середине второго сегмента креста. В результате возникает момент.

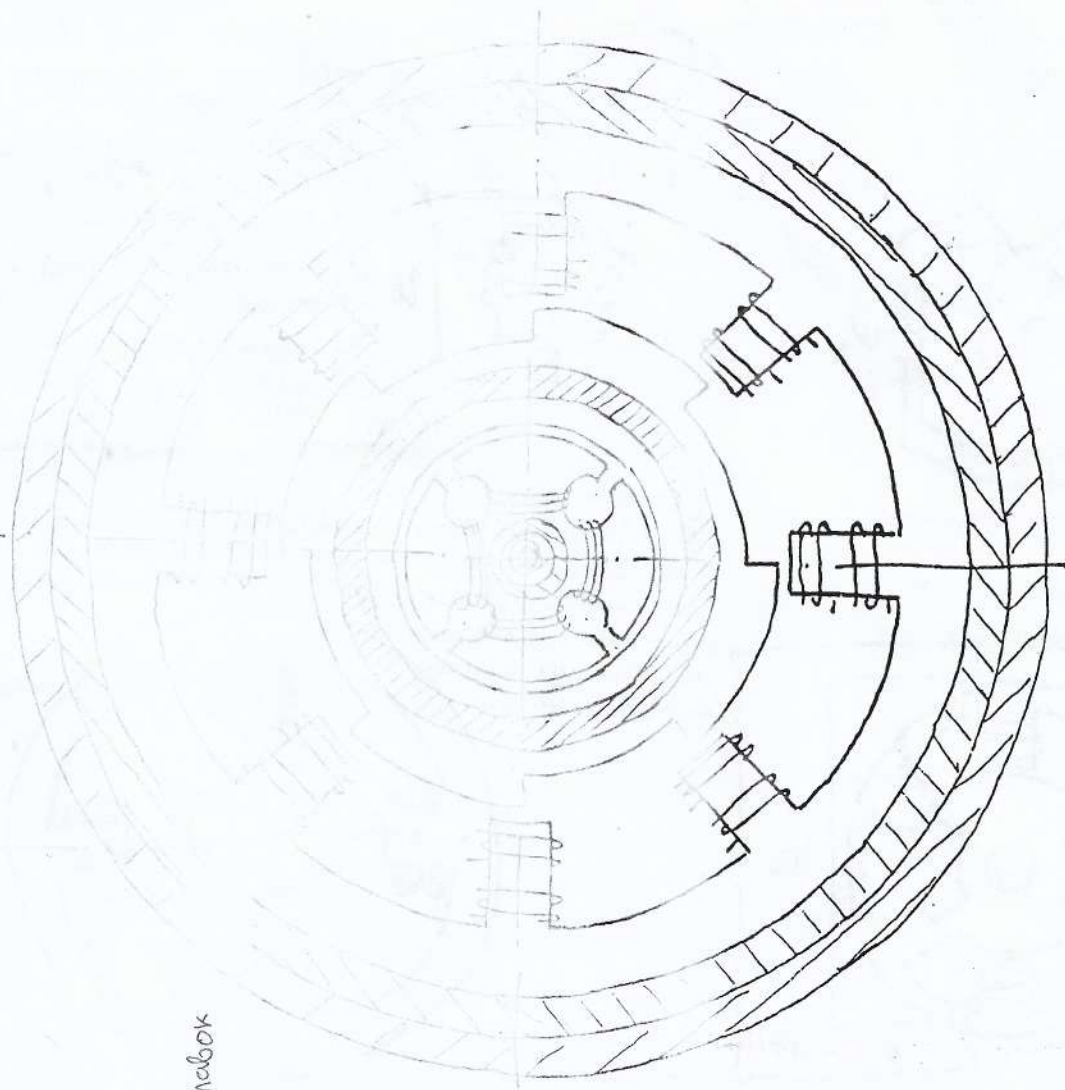


От потока зависит, какой крест функционирует или нет





по АА

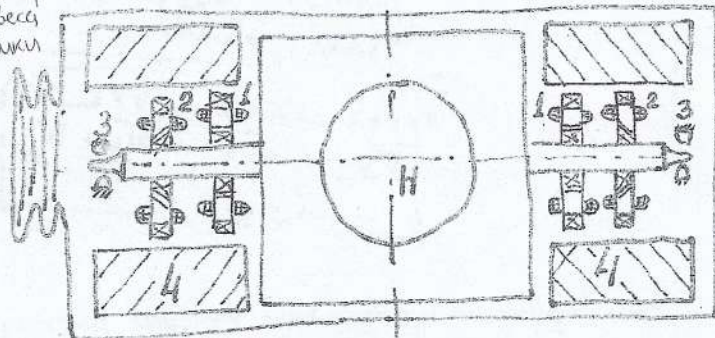


двойной комбинированный микросин (двухосный)

слева и справа
ДУ и ДМ
когда вы обрабатываете
поплавок, сразу
диаметр под который
и статор МПовеса
+ статор и шпильки

на конт. палец
Двойной Компланарный Микросин (Дукосин)
по 2 обмотки (возв. и упр.)
Чем больше широкости в приборе, тем больше нужен сильфон.
третий отсутствует

Идея применения в поплавковых приборах:



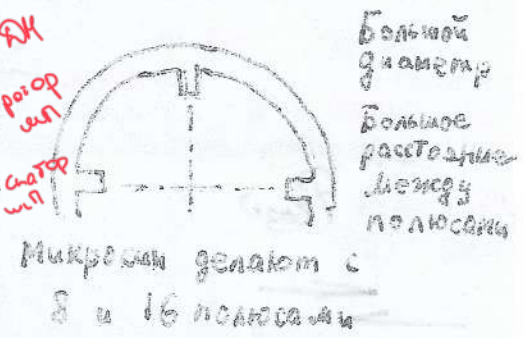
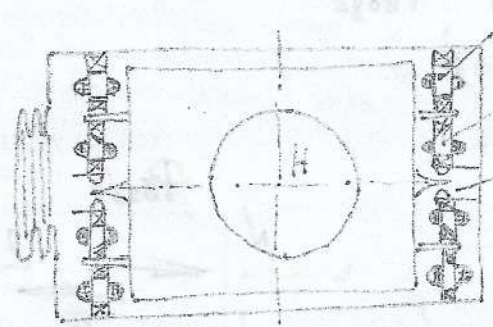
Недостатки

- Большая длина прибора
- Наличие больших полостей. Для уменьшения объема жидкости приходится использовать вытеснители.

При заполнении прибора сильфон расталкивает, при любых $\pm \theta$ он должен давить

Параллельное Компланарное расположение элементов

Вместо 6 полюсов
используют
12 полюсный датчик

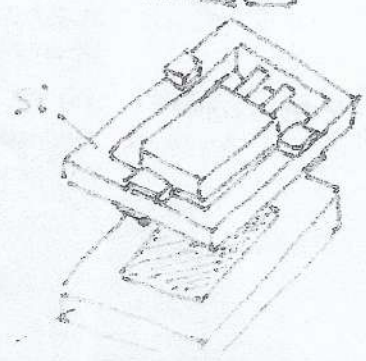
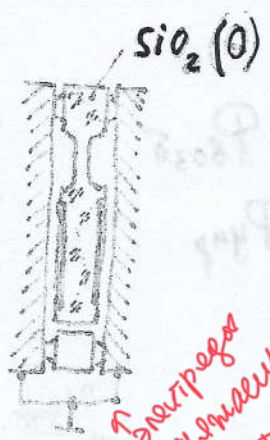


Принципы действия

2 заряда либо отталкивают, либо притягивают. На электродах появляется электростатическое поле, тянет

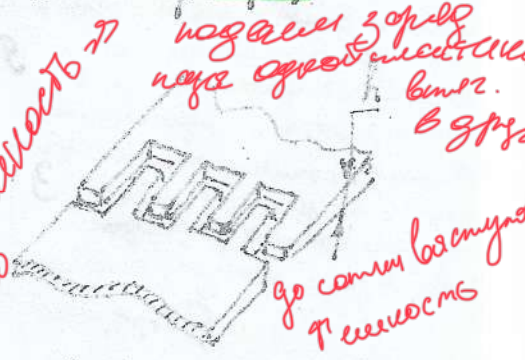
Конденсаторные (емкостные) датчики силы и момента. (МЭМС приборы)

сила (момент) $\sim U^2$
появляется нелинейность
(решение:
- подпорка
- импульсная схема)



двухсторонний кварц

электроны движутся вправо
левый - вверх



Гребенчатый датчик силы
($h = 20 \mu m$
Зазора = $0,5 \mu m$
Объемная сила
применения)

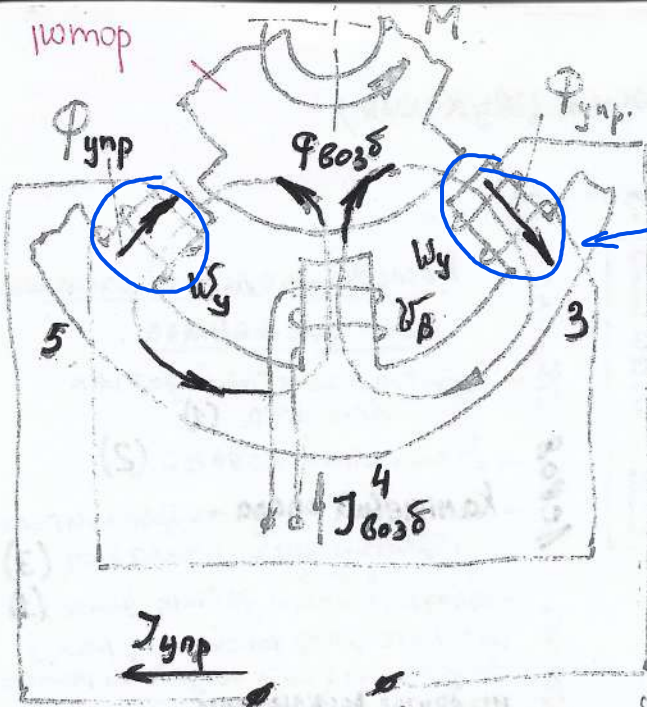
Ротор

* если нет $M_{упр}$, нет $M_{возм}$

← Работа ЭМ ДМ

Разные интенсивности

← потоки складов. слева вычит.



Поток возмущения проходит через катушки. Обмотки управл. на 5 и 3 полюсах, они подключены к источнику управляющего сигнала. Последовательно соединены. Поток возмущения через 3 и 5 не создает возмущающего момента. При повороте ротора не меняется состояние магнитной системы, если не меняется якорная система, то нет $M_{возм}$.

Если мы поворачиваем ротор по $\angle$ стрелке, то выступающая часть ротора больше перекрывает полюс. При малых зазорах, приводимость $\downarrow$. Но $\neq$ приводимость = const, эрсия МП $\neq$ const, $\Delta M = 0$

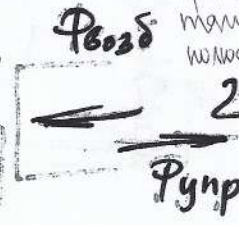
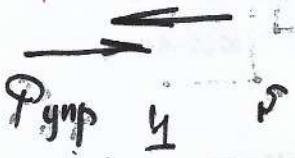
Микроэлемент

Если повернулся ротор 1 полюс больше перекрывает, чем 2. Но $\neq$ перекрывание считается const, ΔM поток втекающий и вытекающий = const, $M = 0$. Есть обмотки возмущения и управления. Они выполнены таким образом, чтобы они создавали индукцию камашиченность 1 и 2 (север), 3 и 4 (юг), т.е. полярность полюсов должна меняться через полюс SSNN

При этом отступивший момент тамбеля и вольтевые ротора относительно полюсов статора будет безразличен.

Втекающий ротор приведет к локату тамбеля (т.к. будет МП, которое тянет ротор)

Ротор
Витянутый (поток)
Интенсивность в 1 и 3 полюсах $\uparrow \uparrow$,
в 2 и 4 $\downarrow \downarrow$ ротор поворач. к тах,
Фм притягив Р_возм
Ротор в 1 и 3



Имеется 2 обмотки управ, они включены встречно, так что создают поток управ вдоль центрального стержня. В крестах потоки $\neq$ справа разность. В заднем кресте МПотоки >. Большие потоки втягивают заднюю часть из полюс, передний крест не реализует. Полюс $\neq$ поток, который направляет

Дополн. упр. при подаче $\mathcal{U}_{возм}$



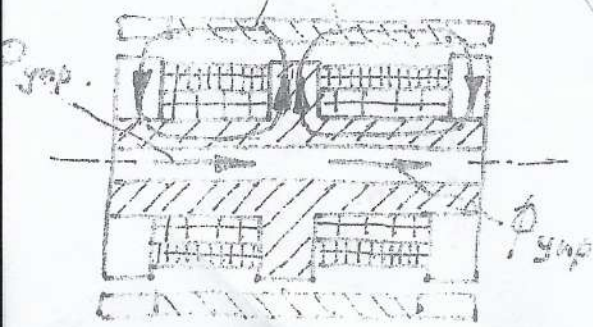
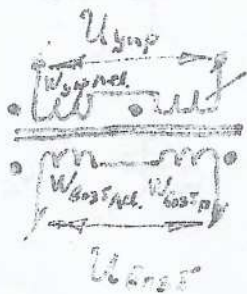
мал $\sim \mathcal{U}_{упр}$

$\mathcal{U}_{возм}$

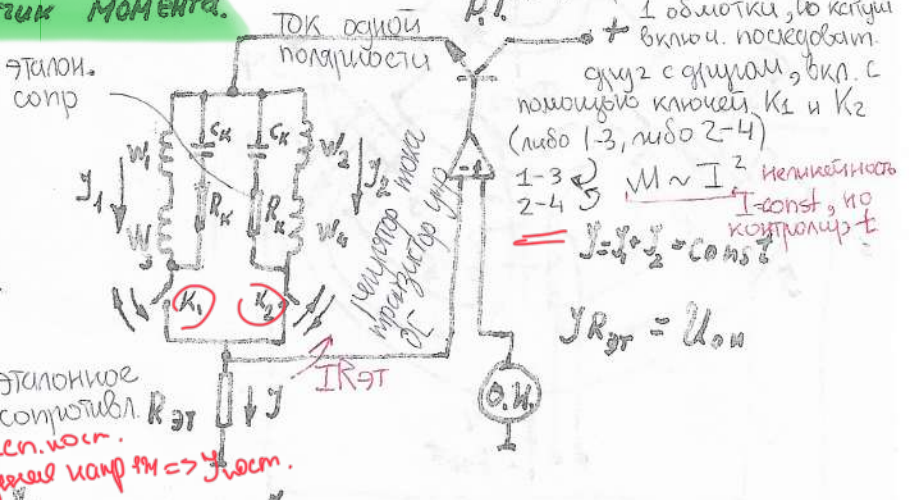
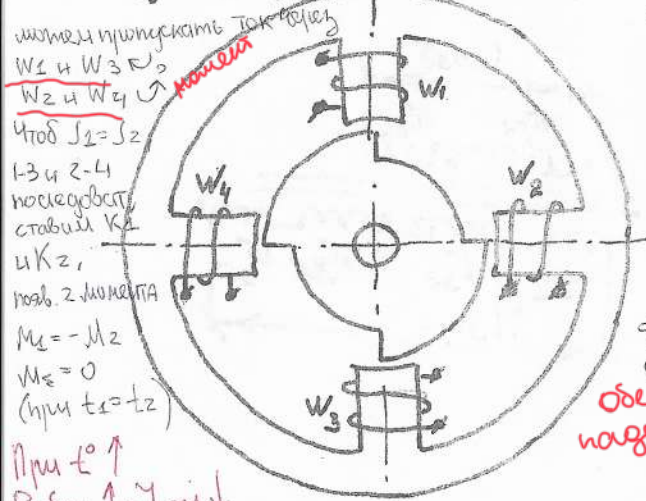
$\mathcal{U}_{упр}$

1 полюс: поток упр. и возмущ. суммируются

2 полюс: поток упр. вычитается из возмущения



1). Электромагнитный датчик момента.

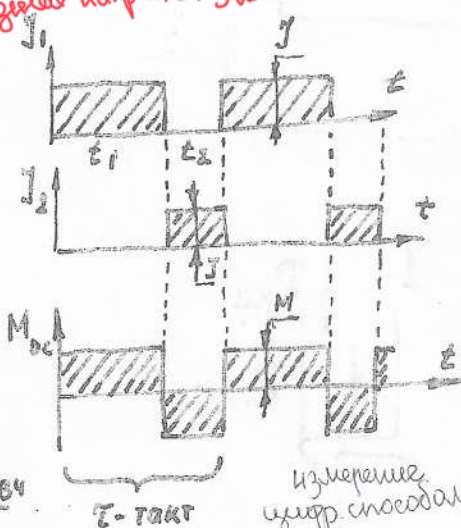
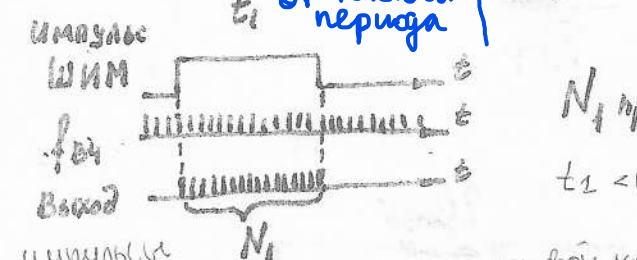


Циклоустойчивость
 В этом режиме датчик исполн.
 1 обмотки, в к-тую
 вкл. последоват.
 друг с другом, вкл. с
 помощью ключей K_1 и K_2
 (либо 1-3, либо 2-4)
 $1-3 \rightarrow M \sim I^2$ нелинейность
 $2-4 \rightarrow I = \text{const}$, по
 контролю $\pm$
 $J = J_1 + J_2 = \text{const}$

цифровой
акселерометр

мятчик в опорных

U_0 дает
сигнал
на вход ШИМ
при к-те ШИМ
выраб. имп. = 0,5
от тактового
периода



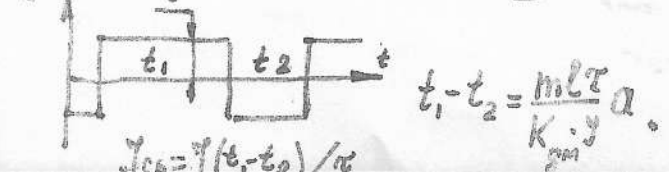
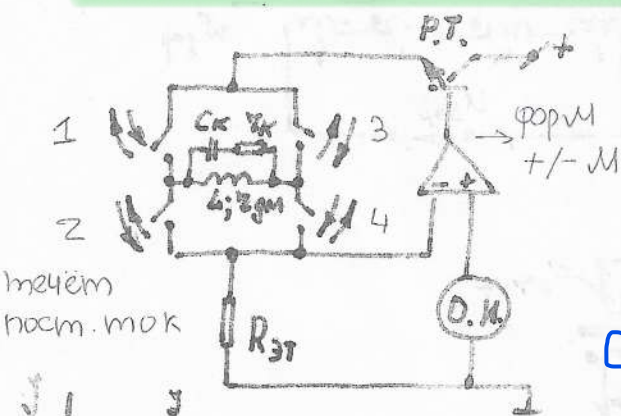
из-за того, что используем стабилизатор тока, появл. нелинейн.
 чтобы избавиться от нее, используем схему R компенсации
 котор. подключ. II обмотки ДМ, облад. следств. B

посчитать к-те-во волюсов к-те. линейных

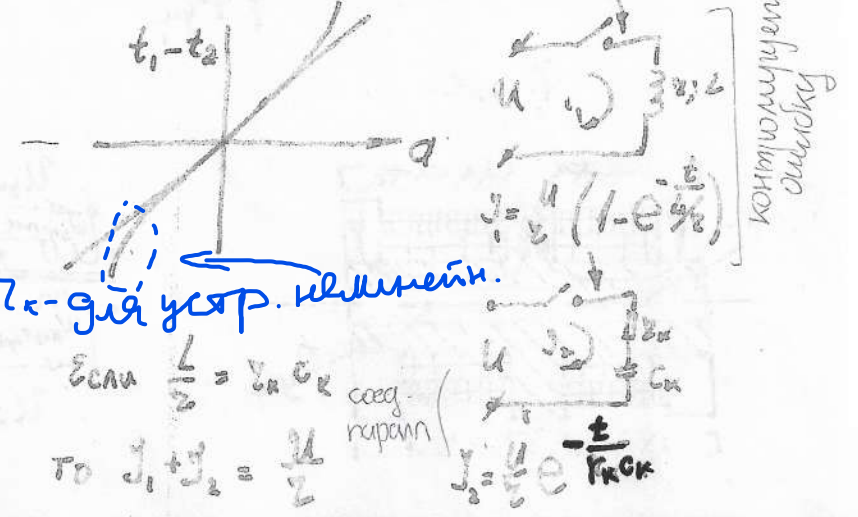
N_1 пропорционально t_1 (с точностью до ошибки
квантования)

$t_1 < 0,01$ сек $\rightarrow$ возникают автоколебания
 $0 \rightarrow \Delta J \rightarrow \Delta U \rightarrow \Delta t_1, \Delta t_2 \Rightarrow \Delta t_1, \Delta t_2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ ускор.

2). Магнитоэлектрический датчик момента.



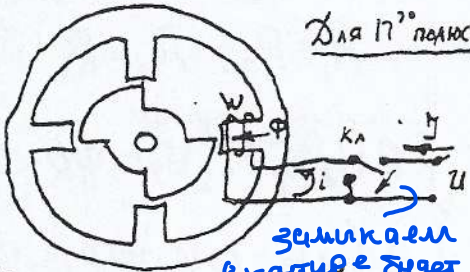
Влияние индуктивности L



Момент (начало определяется момент, создаваемый одним полюсом, затем Σ)

Механическая работа

$$M = \frac{dE_H}{d\beta}$$



Для n-го периода: $E_{M_n} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} e \, dt$; $e = -\frac{d\psi}{dt} = -w \frac{d\phi}{dt}$

$$\Phi = \frac{HC}{R_M}; R_M = \text{const}; e = -\frac{w^2}{R_M} \frac{di}{dt}$$

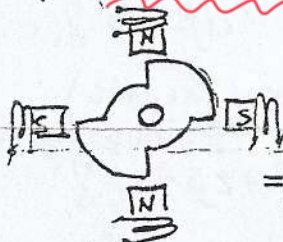
зачинкаем накоротко (мост)
в катушке будет энергия, запасенная

$$E_{M_n} = - \int_{t_i=1}^{t_i=0} i \frac{W^2}{R_M} \frac{di}{dt} dt = \frac{W^2}{R_M} \int_0^1 i d\left(\frac{i}{2}\right) = \frac{W^2 Y^2}{2 R_M} = \frac{1}{2} (Y W)^2 G_M \text{ или } \frac{1}{2} (Y W)^2 \Phi$$

неверный подход:

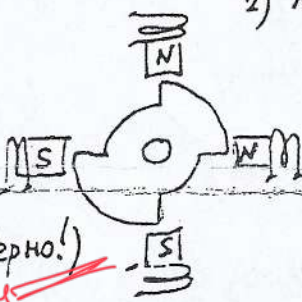
~~$$E_M = \sum_{n=1}^4 E_{H_n} = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 (H_C)_n^2 G_n; \quad M = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 (H_C)_n^2 \frac{dG_n}{d\beta}$$~~

Пример: 1. Магнитная пружина

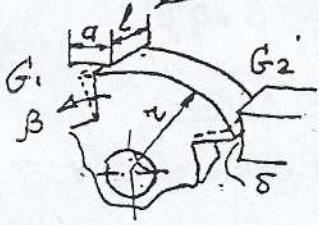


$$M = \frac{1}{2} (\gamma v)^2 \frac{dG_n}{d\beta} =$$

$$= \frac{1}{2} (\gamma \omega)^2 \left(\frac{dG_1}{d\beta} + \frac{dG_2}{d\beta} \right) = 0 \quad (\text{неверно!})$$



$M=0$
(Верно!)

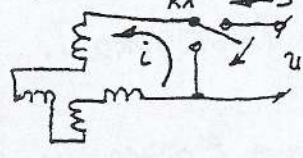


$$G_1 = \frac{\mu_0 l}{5} \left(\frac{\alpha}{2} + 7\beta \right)$$

$$G_2 = \frac{\mu_0 l}{5} \left(\frac{\alpha}{2} - 7\beta \right)$$

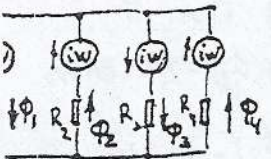
$$G_1 + G_2 = \frac{\mu \cdot a l}{\delta} ; \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} = \frac{\mu \cdot l}{\delta} \cdot \frac{a^2/4 - z^2 \beta^2}{a}$$

Правильный подход:



$$E_M = \int_{t_i=0}^{t_f} i \, e \, dt$$

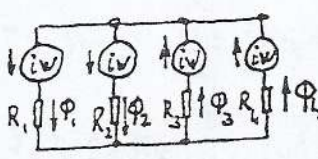
$$e = \sum_{n=1}^4 e_n = -w \sum_{n=1}^4 \frac{d\phi_n}{dt}$$



$$\begin{cases} \Phi_1 R_1 + \Phi_2 R_2 = 2i\omega \\ \Phi_1 - \Phi_2 = 0 \end{cases}$$

$$\phi_1 = \phi_2 = \frac{2i\omega}{R_1 + R_2}; E_M = - \int_{t=0}^{t=i\tau} i\omega \frac{d}{dt} 4 \left(\frac{2i\omega}{R_1 + R_2} \right) dt =$$

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} \right) = -\mu_0 \frac{\ell}{s} \cdot 2 \frac{r^2}{a} \beta; \quad M = -g(\gamma w)^2 \frac{\mu_0 \ell r^2}{5 a} \beta$$



$$\Phi_1 = \Phi_3; \Phi_2 = \Phi_4$$

$$R_1 = R_3; R_2 = R_4$$

$$\begin{cases} \Phi_1 R_1 + \Phi_3 R_3 = 2iW \\ \Phi_2 R_2 + \Phi_4 R_4 = 2iW \end{cases}$$

$$\phi_1 = \frac{i\omega}{R_1}; \quad \phi_2 = \frac{i\omega}{R_2}$$

$$E_M = - \int_{t=0}^{t=\infty} i \omega \frac{d}{dt} 2 \left(\frac{i \omega}{R_1} + \frac{i \omega}{R_2} \right) dt = (I \omega)^2 (G_1 + G_2)$$

$$M = (j\omega)^2 \frac{d}{d\beta} (G_1 + G_2) = 0$$

Формулы для расчета М:

$$M = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 \left(\frac{\Phi_n}{G_n} \right)^2 \frac{dG_n}{d\beta} \quad \text{члч.}$$

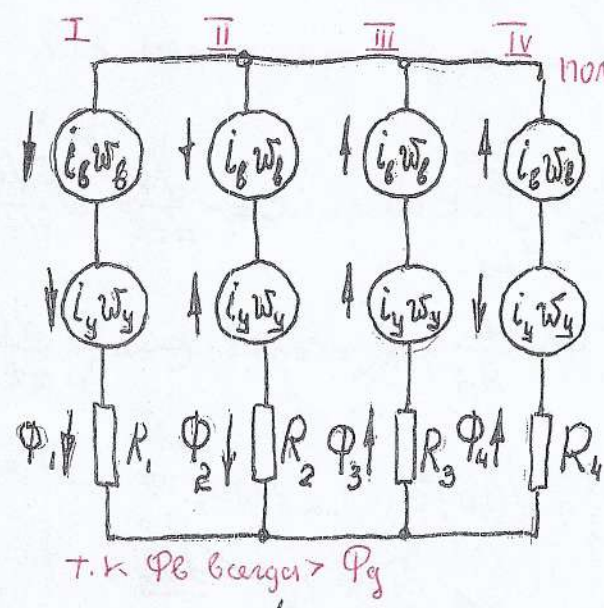
$$M = -\frac{i}{2} \sum_{n=1}^4 \phi_n^2 \frac{d}{d\beta} R_n$$

3 angler voor

↑ когда переключите полюсов ~~сделав~~
→ равновесие → при $\beta \Rightarrow$ ~~(-1)^\beta~~

Ток возбуждения создает $M \sim I_{упр}$

Расчет момента микрофона. (ток возбуждения и ток управления отдельно)



Условие симметрии

$$\Phi_1 = \Phi_3; \Phi_2 = \Phi_4$$

$$R_1 = R_3; R_2 = R_4$$

По условию Кирхгофа

$$\begin{cases} 2(i_e W_e + i_y W_y) = \Phi_1 R_1 + \Phi_3 R_3 & (1-3) \\ 2(i_e W_e - i_y W_y) = \Phi_2 R_2 + \Phi_4 R_4 & (2-4) \end{cases}$$

$$\Phi_1 = \Phi_3 = \frac{i_e W_e + i_y W_y}{R_1}; \Phi_2 = \Phi_4 = \frac{i_e W_e - i_y W_y}{R_2}$$

$$M = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 \left(\frac{\Phi_n}{G_n} \right)^2 \frac{dG_n}{d\beta} = \frac{1}{2} \left[(i_e W_e + i_y W_y)^2 \frac{d}{d\beta} G_1 + (i_e W_e - i_y W_y)^2 \frac{d}{d\beta} G_2 \right]$$

$\beta_{\text{мал.}}$ $\frac{d}{d\beta} G_1 = \frac{\mu_0 l}{\delta} \tau$; $\frac{d}{d\beta} G_2 = -\frac{\mu_0 l}{\delta} \tau$ (При больших β есть влияние потоков рассеяния τ)

величина момента в микрофоне при 2х токах

$$M = +4 i_e i_y W_e W_y \frac{\mu_0 l}{\delta} \tau; (1)$$

пог. Тейлора $G_1 = \frac{\mu_0 l}{\delta} \left(\frac{a}{2} + \tau \beta + q \beta^2 \right)$
 $G_2 = \frac{\mu_0 l}{\delta} \left(\frac{a}{2} - \tau \beta + q \beta^2 \right)$

Вариант - микрофон с одной обмоткой W на каждом полюсе.

Ток I либо в обмотках полюсов 1, 3, либо в обмотках полюсов 2, 4.

Положим $W_y = W_e = \frac{W}{2}; i_e = i_y = I$ ($HC_{1,3} = IW$; $HC_{2,4} = 0$)

из (1): $M = \tau^2 W^2 \frac{\mu_0 l}{\delta} \tau$ - нелинейная зависимость M от тока I .

$M \sim I_{упр.}$

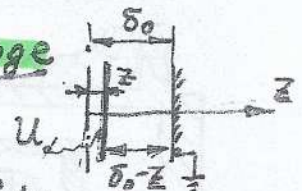
Если сделать $I = \text{const}$ и обеспечить его протекание в обмотках полюсов 1, 3 в течение времени t_1 , а затем подать тот же ток в обмотки полюсов 2, 4 на время t_2 , то средний за время $t_1 + t_2$ момент

$$M_{ср} = \frac{\mu_0 l}{\delta} \tau I^2 W^2 \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2} \right) - \text{пропорционален } (t_1 - t_2) - \text{линейная}$$

зависимость.

Можно сделать в компенсационном приборе импульсную обратную связь. Сохранять симметрию масса.

Формирование силы путем поддержания на электроде управляющего напряжения U



Закон сохранения энергии

для $U = \text{const}$ от аккумуля

Электр. статич. сила $F_{эс} \cdot dz + dA_{поверх} = dW_{эс}$; $dW_{эс} = d \frac{U^2 C}{2}$; $dA_{поверх} = U^2 dC$. энергия эл. стат. поля

изменение плотности

$dA_{поверх}$ Изменение емкости без подзаряда приводит к изменению U

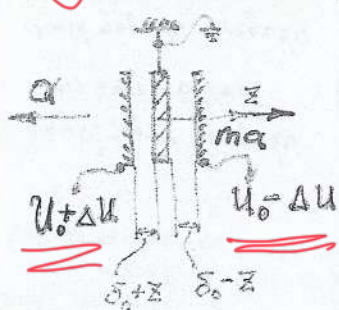
Для $U = \text{const}$ необходимо потребление тока из цепи питания

$$F_{эс} \cdot dz + U^2 dC = \frac{U^2 dC}{2}; \quad F_{эс} = -\frac{U^2 dC}{2 dz}; \quad C = \epsilon \frac{S}{\delta_0 - z}$$

здесь $F_{эс} = \frac{1}{2} \epsilon S \frac{U^2}{(\delta_0 - z)^2}$ прямая зависимость Недостатки: 1) $F_{эс}$ нелинейно зависит от управляющего напряжения $U^2 \rightarrow$ импульсное управл.

1) Маятниковый акселерометр

2) $F_{эс}$ изменяется при изменении зазора z
Поддержка U на массе



Маятник заземлен

$$F_{лев} = \epsilon S \frac{(U_0 + \Delta U)^2}{2(\delta_0 + z)^2}; \quad F_{прав} = \epsilon S \frac{(U_0 - \Delta U)^2}{2(\delta_0 - z)^2}$$

ΔU - упр. напр. в процессе смещения маят. $U_0 = \text{const}$

$$F_z = F_{прав} - F_{лев} = \frac{\epsilon S}{2} \left[\frac{U_0^2 - 2U_0\Delta U + \Delta U^2}{(\delta_0 - z)^2} - \frac{U_0^2 + 2U_0\Delta U + \Delta U^2}{(\delta_0 + z)^2} \right]$$

шухов!

Для устранения зависимости F_z от z систему обратной связи делают автоматической. ($z=0$). Тогда $F_z = -2\epsilon S U_0 \Delta U$ линейная зависимость

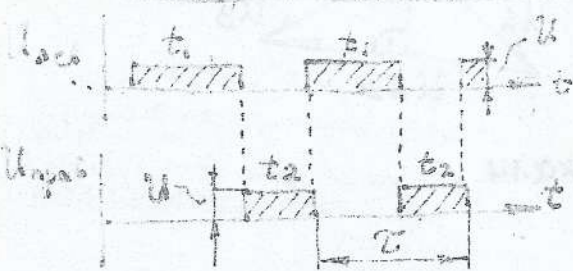
$F_z = -2\epsilon S U_0 \Delta U$ - линейная зависимость. СИМ от ΔU

$mz = 2\epsilon S U_0 \Delta U$

$\Delta U = \frac{m}{2\epsilon S U_0} a$ использ. интегр

2) Маятниковый акселерометр с импульсным управлением.

не хороший метод $\rightarrow$ 3



$U_{кред} = \text{const}$

$$F_z = \frac{\epsilon S U^2}{2} \left[\frac{t_1}{(\delta_0 + z)^2} - \frac{t_2}{(\delta_0 - z)^2} \right]$$

$T = t_1 + t_2 = \text{const}$

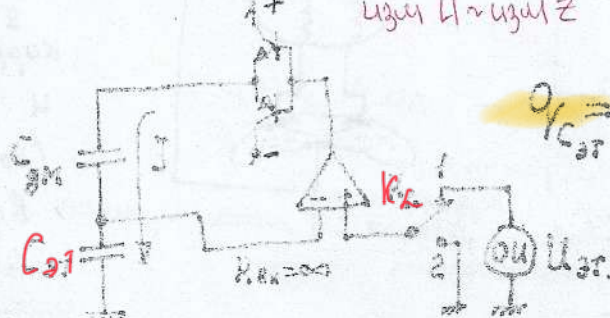
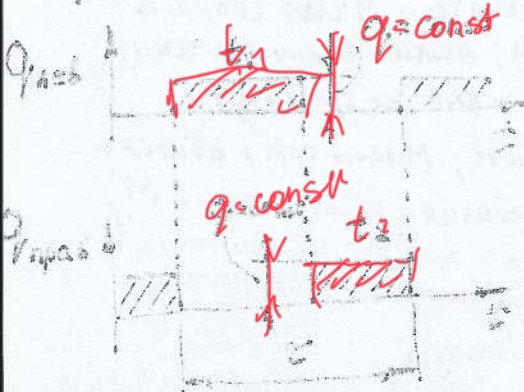
Зависимость F_z от z не убавится т.к. создается погрешность

нельзя сделать (дестабилизируются и отклоняются от внешних воздействий)

3) Схема со стабилизацией заряда

$q = C U = \text{const}$; $U = \frac{q}{C} = q \frac{\delta_0 + z}{\epsilon S}$; $W_{эс} = \frac{q^2 (\delta_0 + z)}{2 \epsilon S}$; $F_{эс} = \frac{q^2}{2 \epsilon S}$

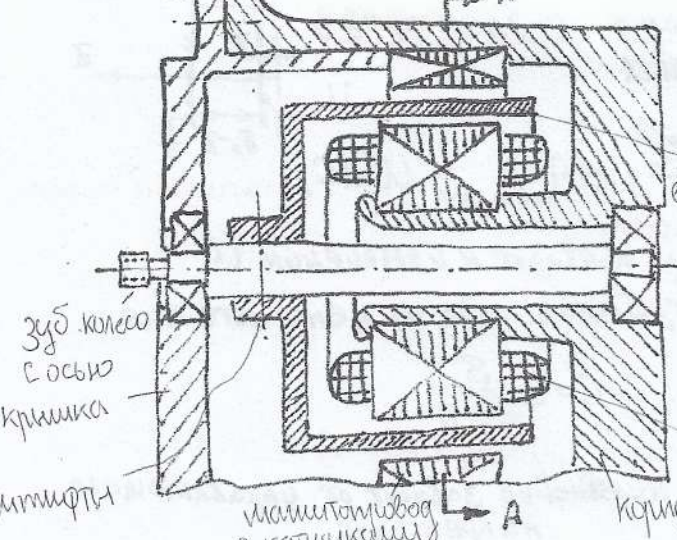
зависимость F от z нет $\rightarrow$ $U \sim z$ измен. $U \sim$ измен. z



$q_{ср} = C_{ср} U_{ср} = I \cdot t_{зар} = q$
 $= q_{ср} = \text{const}$

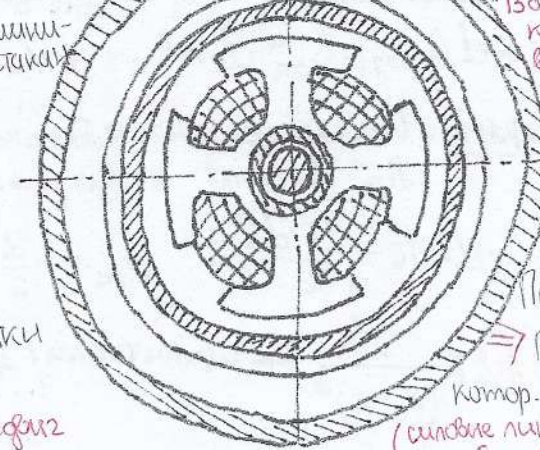
$F_{ср} = \frac{q^2}{2 \epsilon S} \frac{t_1 - t_2}{T} = ma$; $t_1 - t_2 = 2 \epsilon S \frac{m}{a} a$

Обмотка создает МП



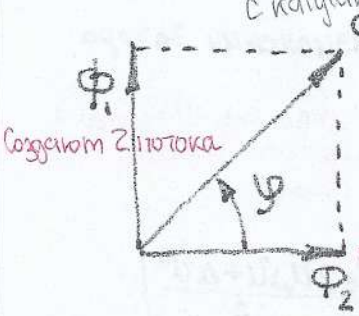
Двухфазный индукционный двигатель

- малошумный
- ~ 11 по АА



- 4 полюсный статор: статор и магнитопровод вставл. в корпус
- Ватки, как катушки: 2 катушки вокруг вертикальной оси, другая горизонт.
- Разн. питания: отличается на 90° (2-фазная система питания)

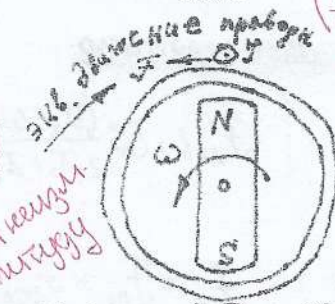
Получаем $\approx$ МП ток, $\Rightarrow$ равной величины, котор. вращ. с $\omega = \omega_{rot}$ (синхронизм в 50 Гц, ток, большой ток, фазовый сдвиг)



$$\begin{cases} \Phi_1 = \Phi_A \sin \omega t \\ \Phi_2 = \Phi_A \cos \omega t \end{cases}$$

$$\Phi = \Phi_A \sqrt{\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t} = \Phi_A$$

$$\varphi = \arctg \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \omega t$$

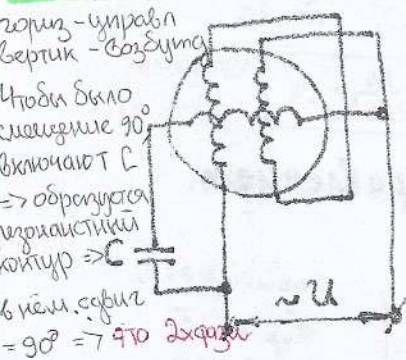


Направление тока: правило правой руки, направление силы: правило левой руки.

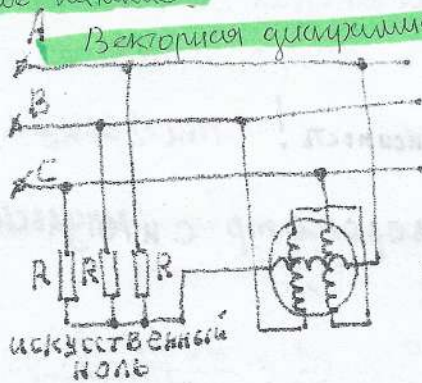
Принцип действия

Вращающ. ток пересек. статор, в статоре электромагнит. сила. Проводник $\vec{L}$, ток на нем, вращающ. сила магнита и создает силу. Сила заставляет статор вращаться, как МП (по правилу Лоренца). Его скорость < скорости МП

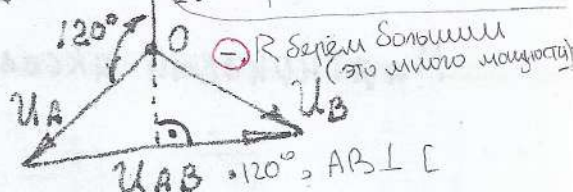
Как из однофазного сделать 2-фазное питание?



гориз - управл. вертикал - возбужд. Чтобы было сдвигание 90° включают C $\Rightarrow$ образуется разностокий контур $\approx C$ в нем сдвиг = 90° $\Rightarrow$ 2 фазы

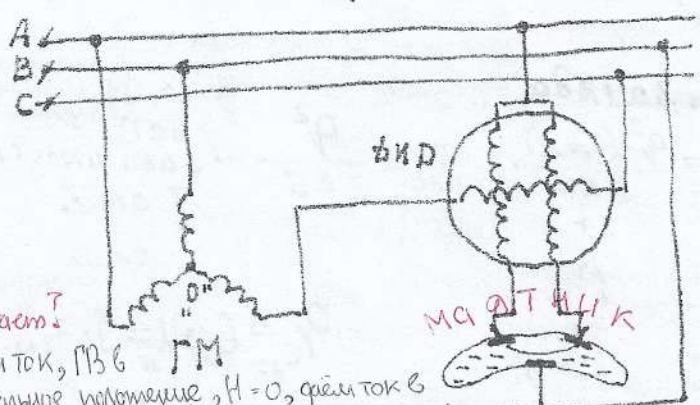


Векторная диаграмма питания



$U_{AB} = 120^\circ, AB \perp C$
• если запитать, будет 2-фазное (по кет. земли)
• "0" кет, но можно сделать $R_1=R_2=R_3, k_{A,B,C} \Rightarrow$ общая точка - искусственный ноль

Электрическая схема завортикали



Как работает?

Подали ток, ПЗ в вертикальное положение, $H=0$, даем ток в обмотки (I - большой), когда ГП расклинивается то ротором находится противофаз, которая $\downarrow I$, магнит коррекцион ГП выставляется, $I \downarrow$, перебега нет

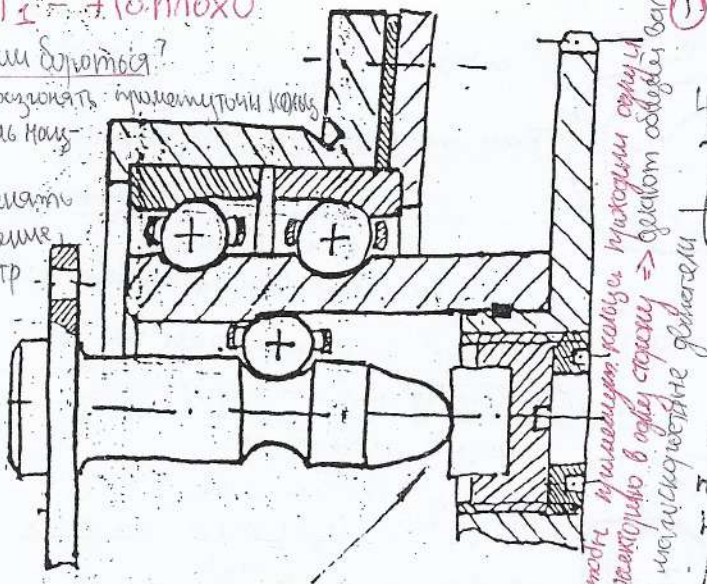
1. Малое время готовности (малый Н и большой ток в обмотке возбуждения - пусковой ток ГМ)
 2. В полете - малая скорость коррекции, малые баллистические и виражные погрешности. (большой Н, малый ток в обмотке возбуждения - рабочий ток ГМ)
- Чтобы не было ошибок при полете, то скорость коррекции следуют.

Плоские индукционные двигатели. $\Phi = 10$; Без корпуса. Принцип маятника: отклонился пузрык ушел на электрод, $R < I$, появляется вертикальный поток, создается М вращающ, подв. вертикал. жидкость: спирт, подв. камил

• Когда МП вращ. в одну сторону $T_2 - T_1$ - это плохо

Как с этим бороться?

- быстро резонать
- обмотать катушки
- не менять направление вращения МТР



Срок службы определяет износ ямы и подпятника

Привод на базе 2х фазного индукционного двигателя

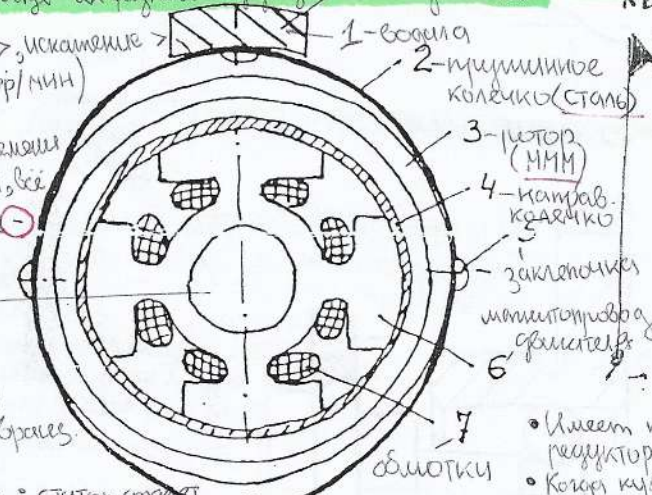
Скорость > искажение (18 пмс обор/мин)

• Течение бразил бразил стирания, все в золотой нудра

магнитная система

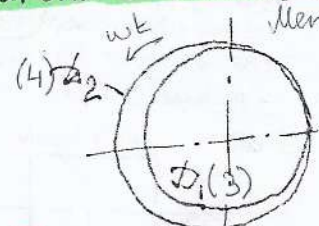
- 4 полюса
- 2 катушки (в ней созд. бразил. магн. поле)

Принцип действия: статор создает сектор МП. МП притягивает поле к напр. колыу, МП вращается, перемещает точку контакта, сдвигается на угол



- Имеет кулачок, кот. связан с пружиной колыу через редуктор - за он двогает сдвигатели
- Когда кулачок нажимает на выключатель, мы имеем что вкл. и выкл.

Двигатель с качающимся ротором



Между D_1 и D_2 - зазор
Путь точки контакта за период питающего напряжения равен πD_1
Он меньше длины окружности по наружной окружности, т.е. контакта не дойдет до полного оборота на расстояние

Особенность: ставят обжим

т.к. возникает микро деформация

Угловое скольжение дает ошибку угла

а коэффициент редукции

$$i = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{D_2}{D_2 - D_1}$$

Может быть скольжен. используется один двигатель и вал.

Шаговый двигатель. Если взять полную окружность, то зубцов на роторе ± 1

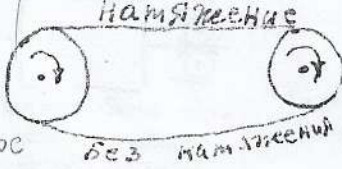
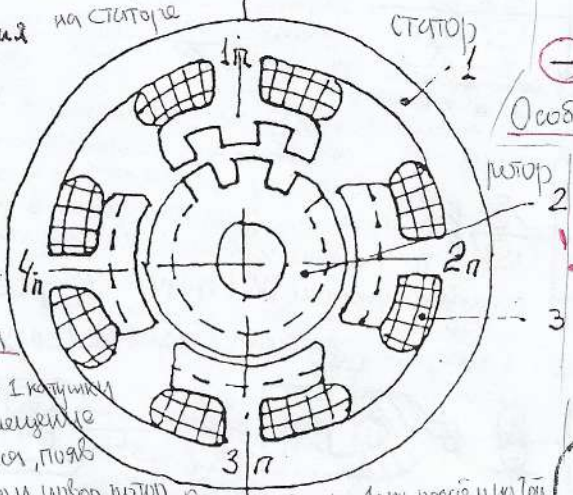
Скольжения нет

Вал не нужен два двигателя

Принцип действия

Сначала подаем в 1 катушку, создаем поле, сдвигается и поддерживается, пока момент, при котором вращ. ротор. Пока течет по 1 катушке, 1 полюс подает, тянет зубец под 4 полюс, 3 полюс, 2 полюс

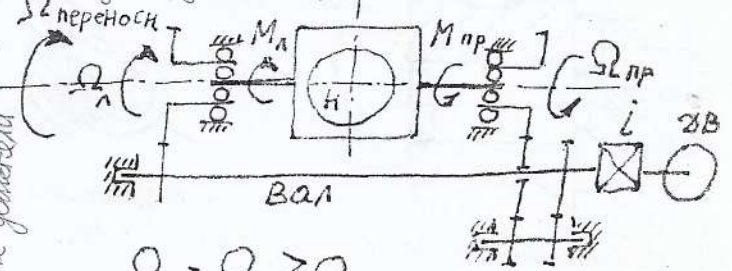
• Подаем импульсы



3x. Колечные шариковые подшипники

А.С. Тельпор, А/С от 1941г.

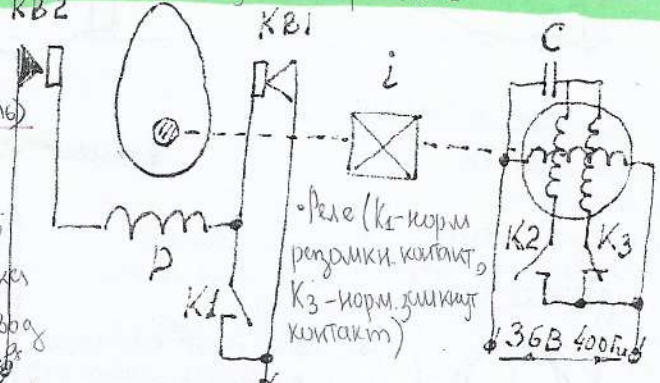
Центроз. обш. двигатель, вращение $\omega = \text{const}$, $\alpha = \text{const}$



$$\Omega_A = \Omega_{пр} > \Omega_{перенос}$$

Одинаковые и одинаково нагруженные подшипники - Момент трения равен нулю. Независимо от $\Omega_{перенос}$. $\leq M_{тр} = 0$
Реально из-за различия подшипников и их нагружения $M_I = M_A - M_{пр} = 0.1 \dots 0.2$ от $2 M_{тр}$
Среду - ввела реверс вращения (1956г)

Двигатель для МТР выше



Реле (К1 - норм. разд. контакт, К2 - норм. замык. контакт, К3 - норм. разд. контакт)

Презионные опоры ГП ШП

Мехизм <

Применяются, т.к.:

- удобны в сборке и эксплуатации
- готовый элемент
- не требуется источники
- не требует затрат (доп) питания
- дешевые

Точность зависит: • от качества изготовления
• от точности шарика

Как можно < r телода?

Если выкинем внутр. кольцо ШП

Мелод делается при на валу

радиально упорный подшипник

• упор в одну сторону

• $\frac{A}{R} = 2$ - осевая нагрузка

- радиальная нагрузка

• внутр. поверхность - мелод

• наружн. поверхность - мелод односторон.

(> d, тогда учитывается, момент только в одну сторону обеспечить упор, в другую нет)

• создает осевую силу одного направления

А d мелод и внутр. кольца, Fтр зависит от шарика к валу, чем < r телода, тем < момент трения

От чего зависит момент трения

ШП, у которого наждак втулки скручивают

Главное, что когда механически обрабатывал, то за 1 установ. мелод на валу и пятка,

потому пов-ти получаются коническими

мелод удерживает ось вала, если не будет концентрично расположена пятка и мелод, то точно контакта с r будет перемещаться с точки r

• если делаем на один установ, то они будут концентричны и вместе сдвигаются по o будет трение по вершине втулки

Очень важно пов-ть ШП расположить 1 ось вращения (внутр. пов-ть // оси вала)

иначе шарики будут идти не по сферичности.

=> чтобы это исключить втулку и вал делают с фланцами

ШП с наждак втулкой

2 радиально-упорные ШП, направленные в разные стороны от смещения

• ШП с наждак втулкой + 2 подпятника

• удобен для потайных качеств

• при вибрации подпятник качает ступать, если находится в наждак, то никаких стуков не будет

• будет хорошее центрирование

Вид

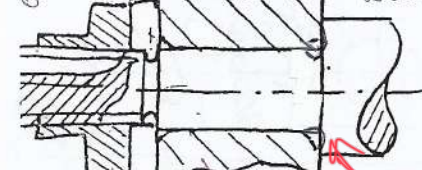
• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятника сверху

• имеет сферичный упор

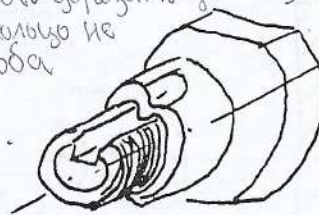
• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на конце вала выставляется бобышка, выполняется слабое отворачивание. В него вкручивают шарик, > трение выжимает

Безопасность на внутреннем кольце

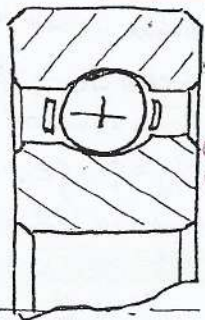


- Стоит шайба, которая упирается во внутр. кольцо
- Канавка, чтобы дорезать до конца резьбовой поверхности
- Наружное кольцо не имеет мелода



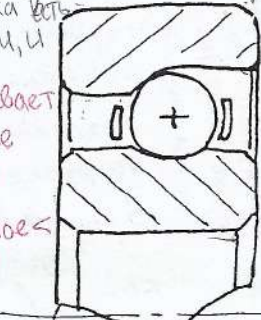
это ШП с наждак втулкой, только радиальное (A=0) центрирование. ось центрируется только в радиальн. напр

радиальный подшипник



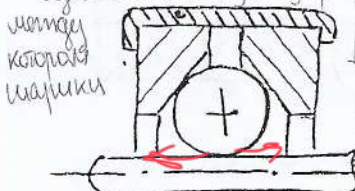
- безосевая нагрузка и на внутреннем, и на наружном кольце (он обеспечивает осевое и радиальное центрирование)

$\frac{A}{R} = 0,25$ радиальное < осевое



ШП с наждак втулкой

- наждак втулки
- без мелода
- наружная часть сделана в виде ступеней

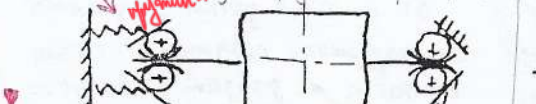


- воспринимает только радиальную нагрузку
- осевое компенсируется подпятником (коническая поверхность)

Основание схемы преобразователя на ШП

радиально упорные ШП в 2х направлениях (для цифровых приборов)

Безопасность



• нагрузка и люфт не должны быть (специально должны быть отрегулированы) - здесь люфт, т.к. шарик не выжимается => ШП создает усилие => для этого надо поджимать одну из опор, создавая усилие

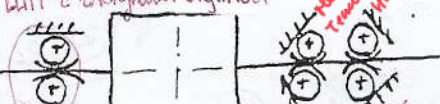


Его использ., когда переключаются направление нагрузки (курсовой прибор: рама в вертикальной п-ти, нижний ШП воспринимает вес, под него ставят подпятник, мин МТР, только момент вращения

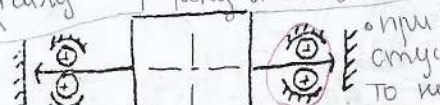
свободна только 1а сторона, т.к с другой стороны подпятник

- 3 шп хитре, т.к. 2
- обеспечивают хорошее центрирование
- нет упругих зв-тов
- трение > 0

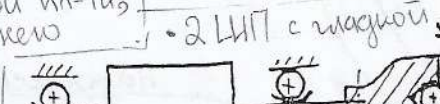
ШП с наждак втулкой



2 радиально-упорные ШП, направленные в разные стороны от смещения



• ШП с наждак втулкой + 2 подпятника



• при вибрации подпятник качает ступать, если находится в наждак, то никаких стуков не будет

• будет хорошее центрирование

Вид

ШП с наждак втулкой

2 радиально-упорные ШП, направленные в разные стороны от смещения

• ШП с наждак втулкой + 2 подпятника

• удобен для потайных качеств

• при вибрации подпятник качает ступать, если находится в наждак, то никаких стуков не будет

• будет хорошее центрирование

Вид

• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятника сверху

• имеет сферичный упор

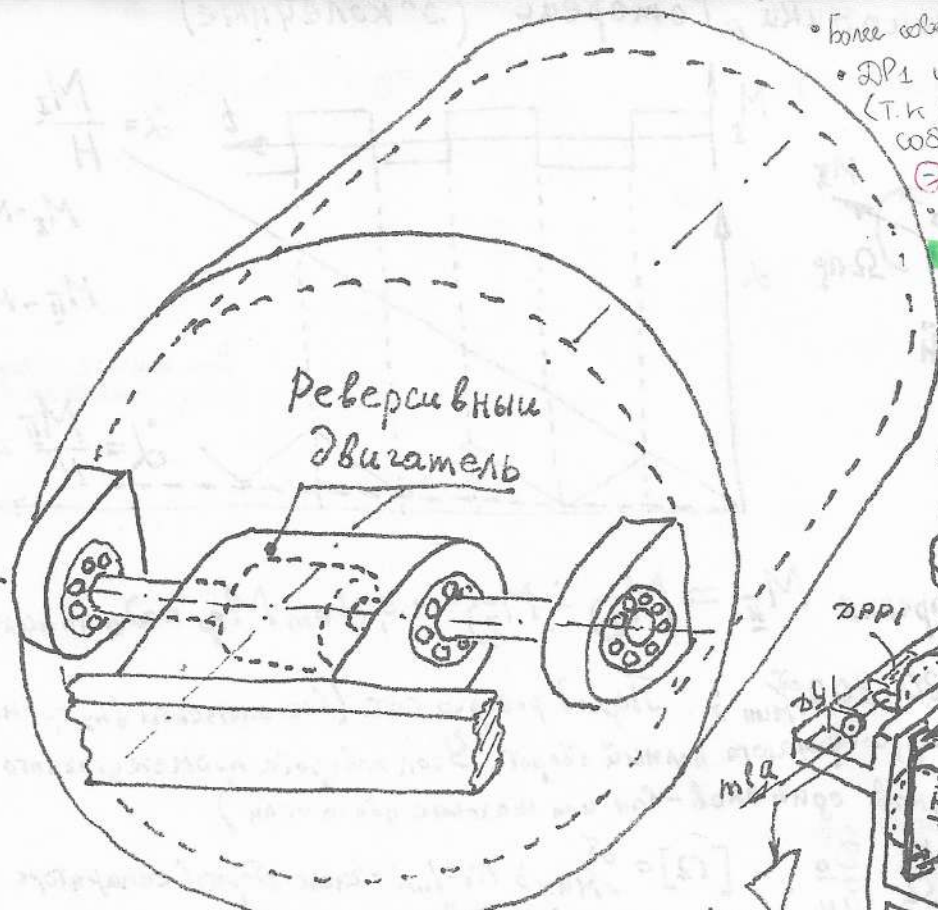
• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на конце вала выставляется бобышка, выполняется слабое отворачивание. В него вкручивают шарик, > трение выжимает

• ШП с наждак втулкой + 2 подпятника

• удобен для потайных качеств

• при вибрации подпятник качает ступать, если находится в наждак, то никаких стуков не будет



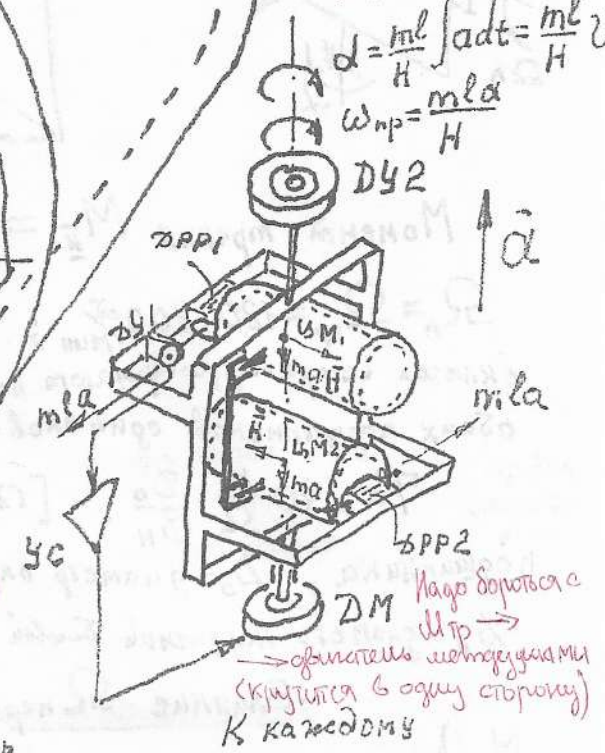
- более совершенный, точнее
- ДР1 и ДР2 в разные стороны (т.к. ГМ соединены между собой)
- есть 2 → 2ой ГМ момент
- ГМ в разные стороны

ГМЛУ

Заставить ГМ, который соединен центр масс, чтобы использовать для измерения a

$$d = \frac{m \cdot l}{H} \int a dt = \frac{m \cdot l}{H} v$$

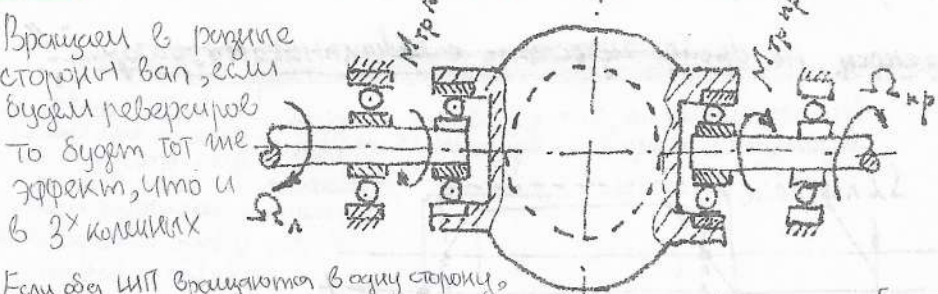
$$\omega_{пр} = \frac{m \cdot l \cdot a}{H}$$



Надо бороться с Мтр →
→ откатываться в одну сторону
К каждому широкую приложен двойной момент трения.

Они компенсируются до уровня M_{tr}
до уровня M_{tr} отката
моменты трения компенсируются при реверсе.

Можно ли добиться того же самого эффекта в 2х колесах ЛМТ?
Скорость вращ. колес > скорости ЛА



Если оба ЛМТ вращаются в одну сторону, то нас не интересует скорость вращ. колес, относим наружу. Если они одинаковы, в стартере. То деформации одинаковы, т.е. колесом компенсируют момент трения.
• если основание начинают вращать, то есть перекошенная чл. скорость (< скорости ЛМТ) - либо + эти скорости, либо - → противоположные скорости с 2х сторон вращ. с разной скоростью
Нужно ли Мтр? Не будет зависеть от скорости

Допустимая статическая нагрузка.

Радикальный

$$R_{стат} = 12,5 Z_m d_m^2 [H]$$

$$A_{стат} = 15 Z_m d_m^2 [H]$$

[d_m] мм

Рационально - упрощенный

$$R_{ст} = 12,5 Z_m d_m^2 \cos \beta$$

$$A_{ст} = 16 Z_m d_m^2 \text{ при } \beta = 12^\circ; A_{ст} = 20 Z_m d_m^2 \text{ при } \beta = 26^\circ$$

$$A_{ст} = 23 Z_m d_m^2 \text{ при } \beta = 36^\circ$$

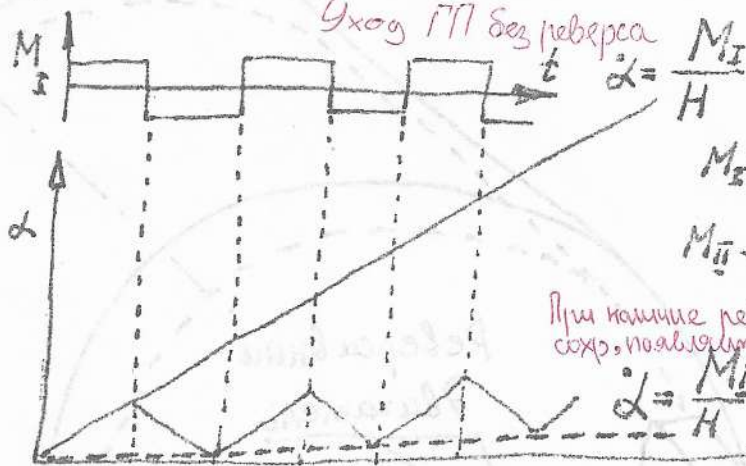
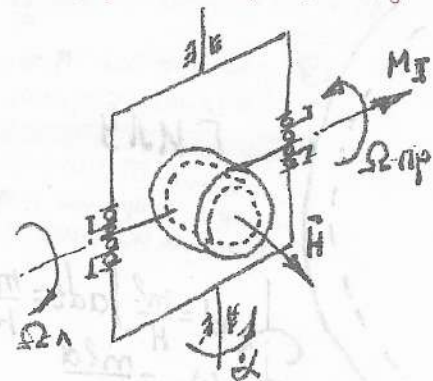
Записки по расчету R, A. Когда есть компенсирующий ЛМТ это шарик давит на Belleville пружину и деформирует ее

1) Сломанский Я.А. и др. "Металлы и сплавы, широкоточечные приборы", глава 1 изд. Машиностроение

2) "Широкоточечные системы" под ред. Яценко, 1980 г.

Подшипники Готореис (3-копечные)

Т.к. моменты
книного резинки $\Rightarrow$ поритделит дрейф



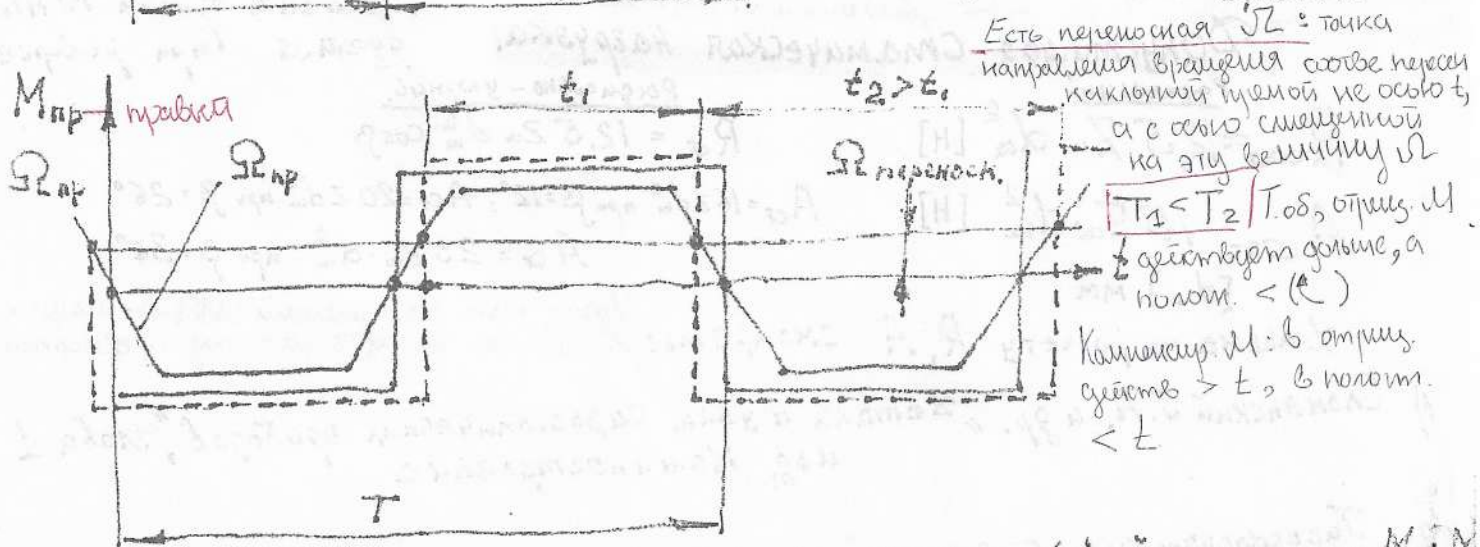
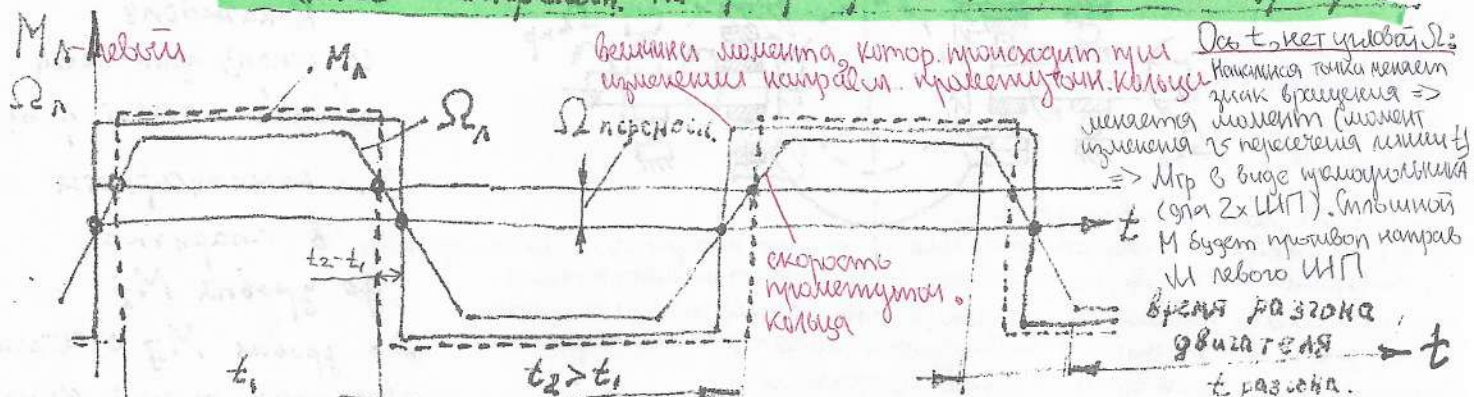
Момент трения $M_{II} = M_{ID} - M_I \sim 0,01 \text{ от } M_{тр}$ подшипника без отжигания

$\Omega_n = \Omega_{пр} = 120-200 \text{ об/мин}$; Период реверса сек. (все элементы внутреннего подшипника включая сепаратор, совершают полный оборот. Угол поворота промежуточного кольца у обоих подшипников одинаков - вал или шарики движутся)

реверс оптимальный $T = 240 \frac{m}{\Omega} \cdot \frac{Z_0}{D_n}$ [с] $[Z] = \text{об/мин}$; $m = 1, 2$ - число оборотов сепаратора внутреннего подшипника, D_0 - диаметр окружности шариков внутреннего подшипника, $T \approx 100 \dots 200 \text{ сек}$.

D_n - диаметр наружной бековой дорожки шариков внутреннего подшипника.

Влияние Ω переноски на дрейф гироскопа с подшипниками Готореис



В каждом T на гироскоп в течение $t_2 - t_1$ действует двойной момент трения $M_{II} + M$

Надо: $t_{разгона} \rightarrow \text{min}$, $T \rightarrow \text{max}$. Эта рекомендация не годится для быкоманевренных объектов с малым временем полета. $T \sim 0,5 \text{ сек}$

* При посадке ШП с напоями нужно знать величину ~~напоя~~ ^{напоя}, т.к. она переусажается ШП
* При одинаковой кривизне ШП они могут иметь разную Мтр

Момент трения шарикоподшипников: опыт Карданова подвеса (Мтр).

Мтр подшипника содержит следующие составляющие:

- Мтр качения шариков по контактным поверхностям;
- Мтр скольжения и качения шариков о контактные поверхности жолобов; (т.к. мелок охватывает по бокам)
- Мтр скольжения шариков по поверхностям сепаратора;
- Мтр качения вала при контакте с подпятником;
- Мтр, связанный с вязким сопротивлением движению шариков при контакте со смазкой.

Теория момента трения сложна, точные расчеты громоздки и требуют знания реальной геометрии беговых дорожек жолобов, шариков и целого ряда дополнительных параметров, таких как величина посадочного канта кольца подшипника на вал и в посадочное отверстие, погрешности формы посадочных поверхностей вала и отверстия, свойств смазочных жидкостей и т.д. Ж) Как правило комплекс указанных сведений инженер, проектирующий навигационный прибор, не обладает. Учитывая, что геометрия у каждого экземпляра поставленной заводом-изготовителем партии шарикоподшипников отличается друг от друга и что Мтр подшипников даже в одной поставленной партии шарикоподшипников могут иметь существенные различия, выполнение точных расчетов Мтр шарикоподшипников для инженера-конструктора приборов становится бессмысленным. Эти расчеты представляют интерес в основном для специалистов, имеющих отношение к проектированию и производству шарикоподшипников.

Приборостроители же при выборе подшипников для приборов, как правило, пользуются данными, приведенными в паспортных документах Ж) и проводят прикидочные расчеты Мтр с помощью простых эмпирических формул.

Примечания: Ж) С теорией расчета Мтр можно ознакомиться по учебнику "Турбокомпрессорные системы" т. III под ред. Ж.С. Пельнора §§ 5.1; 7.3 (§10.4 изд 1972г).
ЖЖ) Приводимые в паспортах подшипников данные о Мтр, обычно являются заниженными, поэтому особое значение имеет экспериментальная проверка Мтр.

$M_{тр}$ - момент трения, Н·м

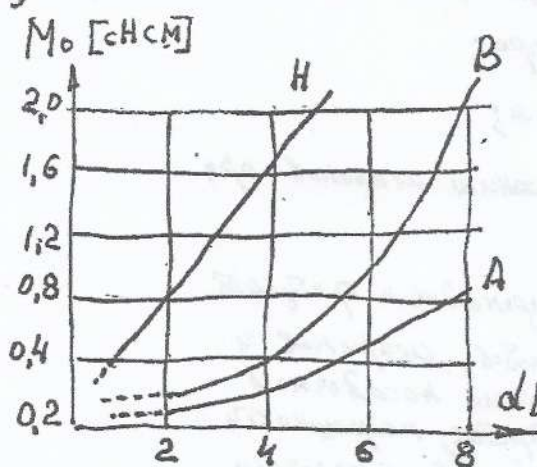
Двухколенные подшипники

D_o - диаметр окружности шарика
 d_m - диаметр шарика

$$M_{тр} \approx M_0 + (1,5A + 1,25R) \cdot \mu \cdot \frac{D_o}{d_m}; \quad M_{тр \text{ трогания}} = 1,2 - 1,4 M_{тр \text{ движения}}$$

M_0 - момент трения ненагруженного подшипника.

μ - коэффициент трения = 0,0005...0,001 [с.м].



Классы точности подшипников

H - нормальный → 0

П - повышенный

ВП - Особо повышенный

В - высокий

AB - Особо высокий

A - прецизионный

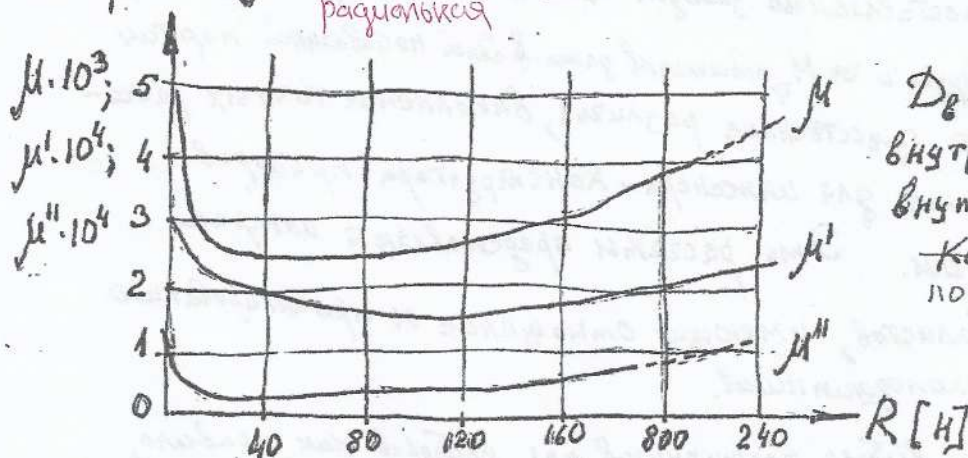
CA - Особо прецизионный

C - сверхпрецизионный - 4

d - диаметр внутреннего отверстия подшипника

Трехколенные подшипники

сравнения $M_{тр} = 0,5 \mu \cdot D_o \cdot R$; $M_{тр.I} = 0,5 \mu' D_o R$; $M_{тр.II} = 0,5 \mu'' D_o R$



D_o - диаметр внутреннего желоба внутреннего кольца. [с.м]

При наличии осевой нагрузки A на шарик, радиально-упорного подшипника и на пята:

(с 306095; с 300095)

$$M_{тр} \approx (2,5 + 0,36A) \cdot 10^{-3} [\text{сН·см}]$$

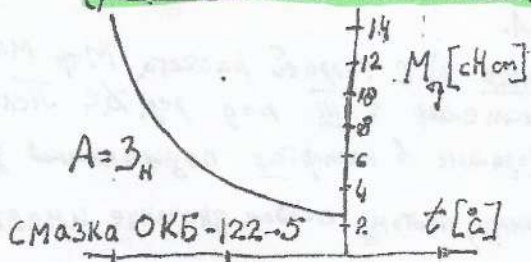
при нагрузке (на упорн. подш.)

$$M_{тр} \approx (3,6 + 0,29A^{1/2}) \cdot 10^{-3} [\text{сН·см}]$$

при нагрузке (на пята)

Большой разброс $M_{тр}$ (~500%)

Влияние смазки на $M_{тр}$ (2-коленные, радиальный подшипник)



Если есть ГП с несмазанным ШП и подвергается его вибрациям, то вся полость между наружным и внутр. кольцом ШП довольно быстро заполняется ртутью, шарик, когда движется, вытесняет микрочастицы из желоба. Они задираются окислами, поэтому окисляются => не надо смазывать

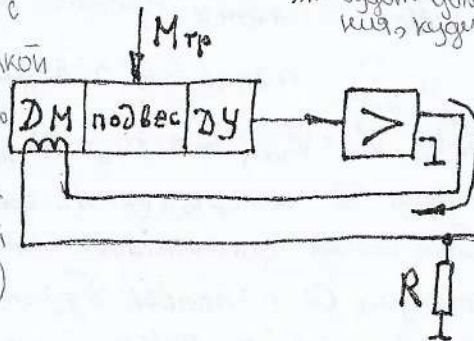
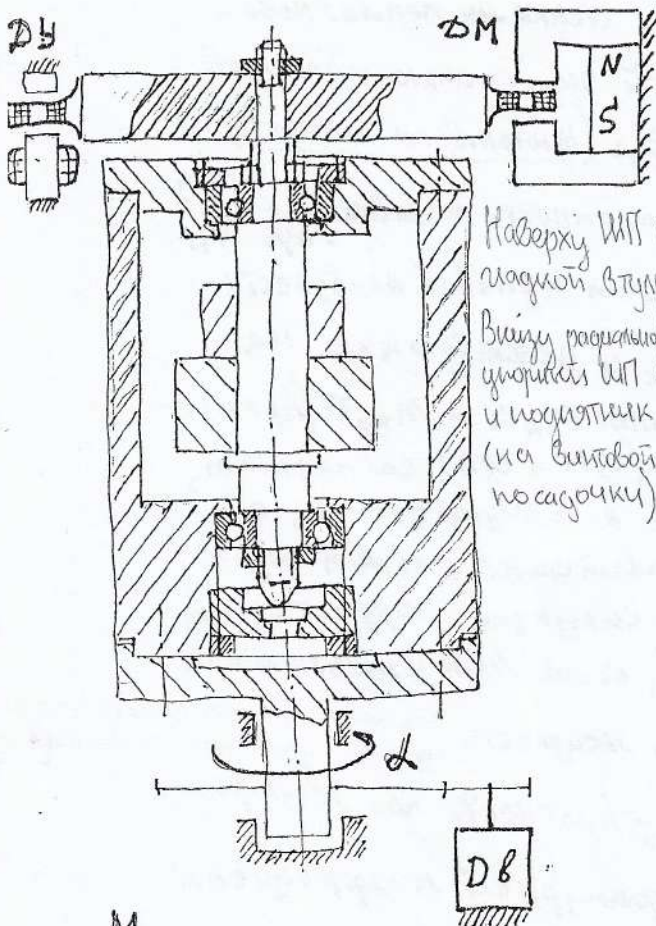
* из-за смазки $M_{тр}$ ↑

(Как реально оценить МТР?)

Экспериментальное исследование МТР

Имеется вал, на него надеваются шпунты, имитирующие нагрузку МТР. ШПТ вставлены в корпус, корпус может вращаться относительно оси, вращательный момент передается на вал и колеса редуктора, которые дают возможность крутиться этому корпусу. Когда начинаем крутить, то к валу будут приложены все моменты трения всех 91-го в подвески. Вал будет смещаться в ту сторону вращения, куда и корпус.

На этот метод поставлена деталь, на которой установлен ДУ и ДМ. Как только корпус начинает крутиться он удерживает собой вал, вал смещается от исходного положения и это смещение удерживается ДУ. Силы с ДУ усиливаются и передаются на ДМ, который удерживает вал от вращения. Так вал не поворачивается, то МТР уравнивается моментом ДМ.



Статическое равновесие

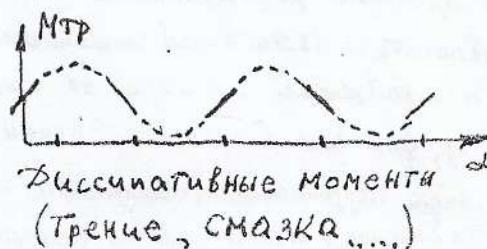
$$M_{тр} = K_{гм} \cdot \gamma_{гм}$$

$$U_{вых} = \frac{R}{K_{гм}} \cdot M_{тр}$$

до приработки

после приработки 6-8 часов, промывки и повторной сборки

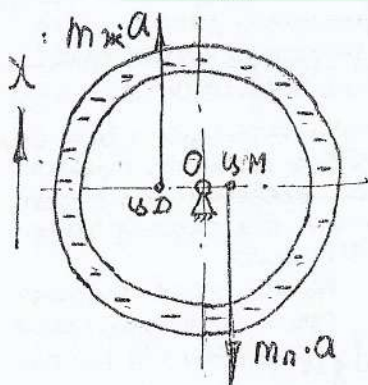
Консервативный Момент от деформации Наружного кольца



То, что мы рассмотрим, недостаточно прецизионный прибор, получаем только 0,1°/час

• Это прибор неидеально ведет себя при ударах и вибрациях

Термостатический подогрев топливных приборов



(малит; чем Δz больше, тем лучше работает)
 - зазор между поплаком и стенками поплаковой
 камеры заполнен вязкой жидкостью с большой
 плотностью $\rho \approx 1,8 \dots 2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ (Ньютоновская жидкость)

При равенстве средней плотности поплавок $\rho_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{п}}}{V_{\text{п}}}$ и $\rho_{\text{ж}}$ поплавок обладает нулевой плавучестью.

Т.К. $V_n = V_{ж}$, то $m_n = m_{ж}$ и действующие на поплавок при ускорении α инерционные силы $m_n \alpha$ и $m_{ж} \alpha$ (Архимедова сила) равны. Если точки приложения сил (ЦМ и ЦД) совпадают, то при любой ориентации α поплавок будет невозмущаемым, а реакции в опорах полавка равны нулю. Следовательно равным нулю будет и момент трения в опорах. Эта ситуация нарушится при изменении температуры Δt° . Объем полавка V_n очень мало изменяется при Δt° (следовательно $\rho_n \approx \text{const}$), а плотность жидкости $\rho_{ж}$ все компенсируется за счет полавка, дающей подъемную силу.

Всё компенсируется за счёт Упрощения
поправок, формулы идеально сбалансированы

Нулевой плавучести поправка, а температурный коэффициент объемного расширения жидкости $\alpha_{ж} \approx 0,1 \frac{\%}{\text{град}} \text{C}$. Таким образом при Δt° нарушается нулевая плавучесть поправка и появляются реакции в его опорах, вызывающие появление момента трения.

Температурное изменение объема жидкости требует введения в конструкцию корпуса поплавкового прибора упругого компенсатора (сальфона или мембраны). Без них давление жидкости в поплавковой камере при нагреве может стать недопустимо большим и может вызвать как разгерметизацию корпуса прибора, так и деформацию поплавка.

Сильфон должен быть достаточно податлив, чтобы не создавать в полости прибора недостаточного давления при нагреве. В то же время он должен обладать достаточной жесткостью, чтобы обеспечивать срабатывание жидкости в поплавковой камере во всем диапазоне рабочих температур прибора ($-55^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$), для чего в процессе заполнения прибора жидкостью сильфон растягивается. При подравливании жидкости исключается образование в ней пузырьков пара, взаимной сдвигающих с поплавком и создающих возмущающие моменты.

- * Мудкость зависит от толщины
- * Мудкость зависит от качества под давлением сил факт.
- * Поплавок может быть цилиндрическим, сферическим
- * Трение воздуха

Берём только Ньютоновские

Прекрасно работают при $\alpha > 0$

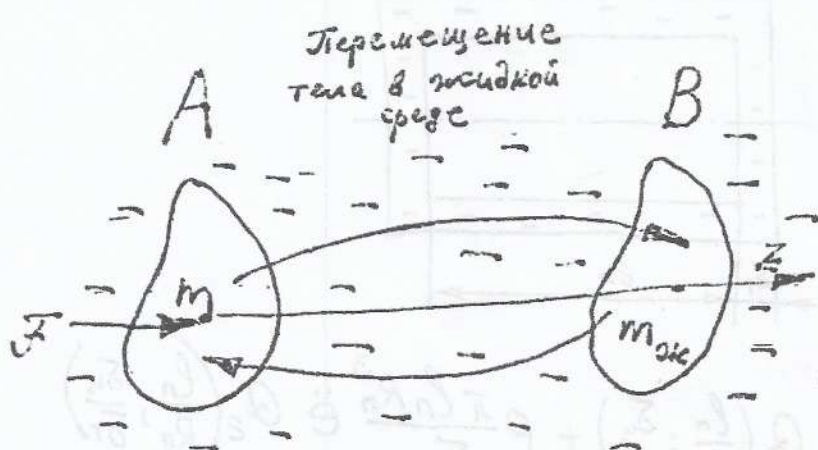
Присоединенная масса жидкости

Откуда большая Гинер?

В поплавком приборе происходит
редукция ускорения. Масса та
же самая, т.к течёт по кольце-
вой щели, то нужно сделать
большую редукцию ускорения.
Поплавок почти невозможно сместить

При перемещении

тела m из положения
А в положение В
мы одновременно перемещаем
второе тело такой же формы
как m из положения В в
положение А. Второе
тело имеет плотность,
равную плотности жидкости.



Перемещение
тела в жидкой
среде

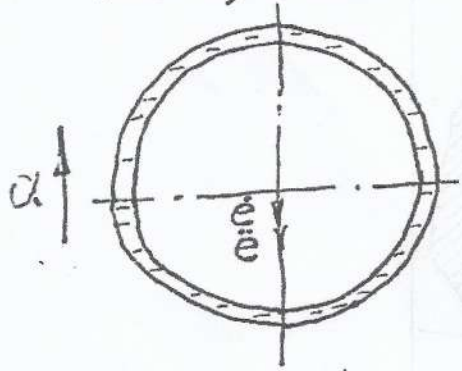
$\ddot{z}$ - ускорение и то и другое
 F - вы. сила, вызывающая движение

Уравнение движения тела

$$(m + K \cdot m_{ж}) \ddot{z} + B \dot{z} = F$$

$K \cdot m_{ж}$ - присоединенная к телу масса жидкости.

В свободной жидкости Коэффициент K , зависящий от формы
тела, близок к 1 ($K \sim 1,1$)



В поплавковом приборе при смещении
поплавок в жидкости $m_{ж}$ может пере-
текать только вокруг поплавок по длинной
и узкой кольцевой щели (если торцевые области
закрыты). При этом жидкости должно быть
сообщено очень большое ускорение

$$\ddot{e}_{ж} = \ddot{e}_0 \frac{R}{\delta}$$

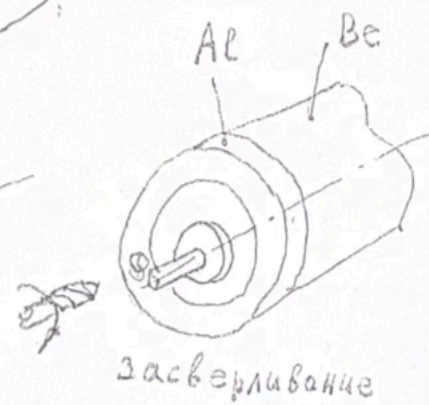
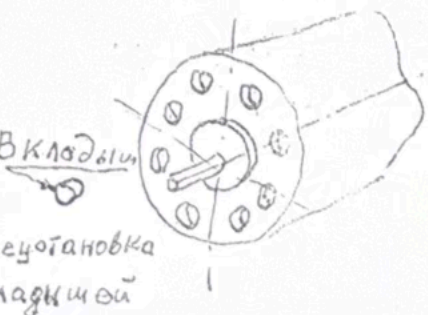
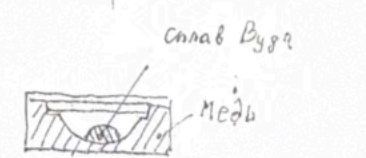
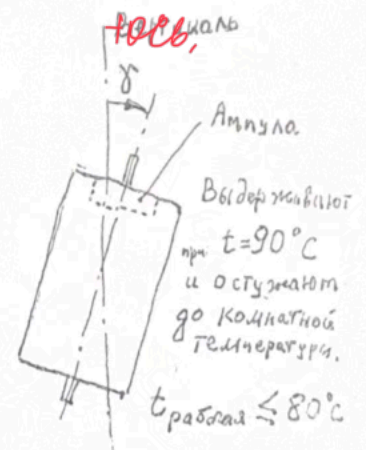
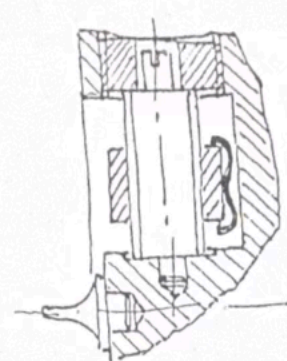
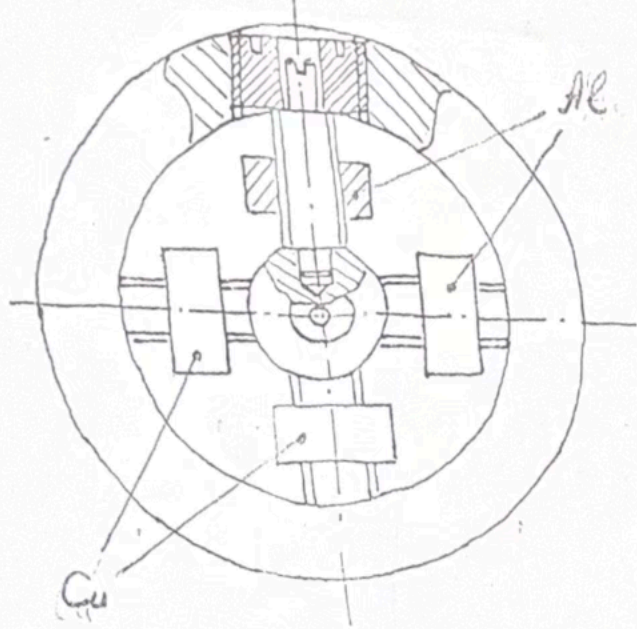
Физически при движении
поплавок на расстояние e перемещается
масса вытесненной поплавкой жидкости $m_{ж}$
Но из-за того, что течение происходит
через длинную тонкую щель с ускорением $\ddot{e}_{ж}$
Требуется приложить к поплавку очень
большую силу. При этом происходит
редукция ускорения, а не массы, но уробнее
относить этот эффект на счёт уменьшения
присоединенной массы, полагая, что оба тела

Уравнение движения
поплавок
при ускорении α

$$\underbrace{(m_0 + m_{ж} \frac{R_0}{\delta} Q_2)}_{\text{иеру. сила}} \ddot{e} + \underbrace{B Q_1}_{\text{привед. m жидкости}} \dot{e} = (m_0 - m_{ж}) \cdot \alpha$$

e - смещение
 Q_1 - торцевое течение движения
 R_0 - радиус поплавок
 δ - величина зазора (кольцевого)
 Q_2 - показывает, что иеру. сила $\downarrow$
т.к не вся жидкость течёт по кольцевой щели
иногда через торцевую щель

изменяя состав можно варьировать
 температуру плавления
 у $1424 + 14$ атм. давл +

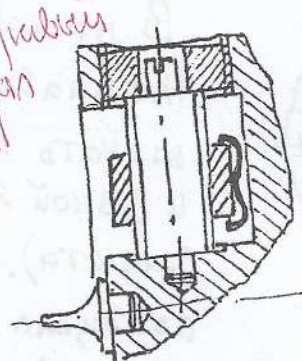
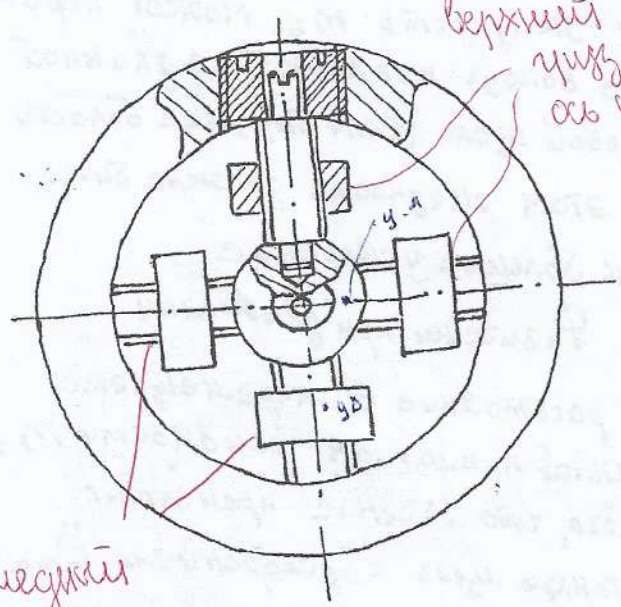


Балансировочная
 ампула

из-за несогласия
 Т-Торговцев

Вид сбоку

Верхний и правый
 цилиндры
 ось из Al



Грузики стоят на винтиках, которые можно перемещать
 из Al другой из латуни. С помощью этого установки можно
 по горизонтали
 из-м. Вверх, что ~~шутка~~ шутка делать? чтобы не мешался из-м, если движение
 грузика будет несимметрично, то изменится из-д.
 Можно сместить медный грузик, это и обеспечивает перемещение из-м.

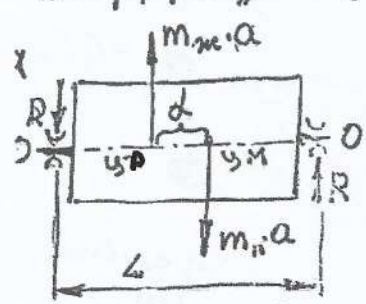
Один грузик делается
 смещать центр масс, из-д

* Нужно регулировать поправки так, чтобы диферента не было. Если есть ускорение a , то будет 2 силы: $F_{арх} = 4 \cdot m \cdot a$

Объемная балансировка прибора

Эзбалансировка - совпадение Ц.М., Ц.Д. и оси поворота ОО, обеспечиваемой центрирующими элементами (опорами поплавок).

Дифференциальное смещение Ц.М. и Ц.Д. по оси ОО

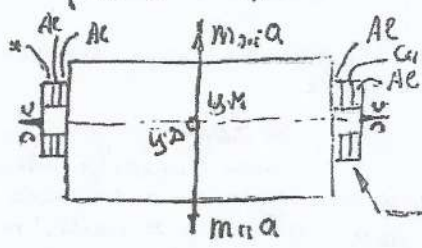


Реакции в опорах будут иметь место и при нулевой поправке ($m_п = m_ж = m$)

$R = \frac{m \cdot a \cdot \Delta l}{\Delta}$ - избыток момент трения в опорах.

Для обеспечения $\Delta = 0$ необходимо: 1) Правильно распределить распределение масс в поплавке

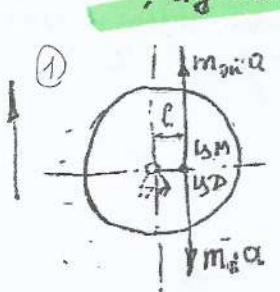
2) Устранять остаточный дифференциал, перемещая балансировочные грузы (иногда подрезают слой олова, наплавленного на торцевые элементы поплавка)



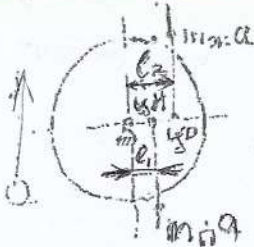
Внутри поплавок ГМ, справа ротор ДМ, слева ротор ДУ. Ротор можно вращать влево/вправо, чтобы Ц.М. и Ц.Д. совпадали, тогда моментов не будет.

$R = 0$ Экспериментально: на левую и на правую надеты шайбы, справа медная и 2 А1, слева 2 медные и А1. При перемещении А1 меняются точки равновесия между собой шайбы. Добавляется, что на правую, на левую не вытеснен

Радиальная разбалансировка поплавка.



$M_{разб} = 0$ только при температуре нулевой плавучести



$M_{разб} = 0$ только при одном значении температуры

t° меняется $\rightarrow F_{арх}$ меняется

Необходимо проводить балансировку при 2-х значениях температуры

Изменяя r_2 до 0 получают $M_{разб} = 0$, $r_2 = \text{const}$ (не зависит от Δt°). Далее изменяют r_2 и проводят балансировку до уровня $M_{разб} = 0$. Процесс носит название объемная балансировка поплавка

Прибор после сборки отдадут на заводу, так как там, заканчивают из, земеляют, тикуют, перемещают

Отделить $M_{разб}$ от других постоянных возмущающих поправок моментов можно путем разворот поплавкового прибора на 180° . При этом $M_{разб}$ не меняет знак, а другие возмущающие моменты знака и изменяют.

1) когда Ц.М. и Ц.Д. совпадают, то свитение поплавок преципируется, $F_{арх}$ = весу поплавка. Момент разбалансировки отсутствует, пока сохраняется неизмен t°

Как выявить момент разбалансировки? Радиальной: балансировка в 2-х разных тикностях (балансировочные тикности)

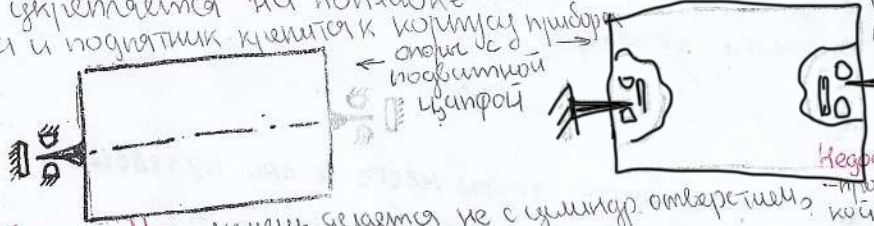
+ поплавковые приборы работают $t^\circ \sim 0,5 - 60^\circ$ (при отриц. t° тикность цустает)

Цанфа неподвижна, она закреплена в корпусе, шпунт поплавок на торцах удерживает втулку каменной опоры

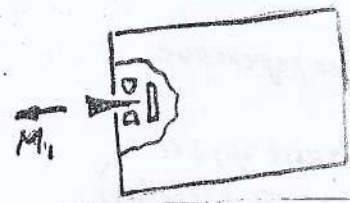
Схемы подвески каменных опор

Момент отдачи компенсируется, момент отдачи при вибрации = 0

- Цанфа укрепляется на поплавке
- Втулка и подпятник крепятся к корпусу прибора



Чтобы изгнать $M_{тр}$, камень делается не с цилиндр. отверстием, а со скрученной пов-стью - камнем с оливами (специальные утолщения в цанге)



Подпятник извлечен из центра
 $M_{тр} = 0$
 R проходит через центр



Подпятник извлечен из центра
 $M_{тр} = 0$
 R не проходит через центр втулки

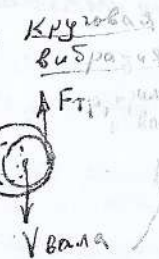
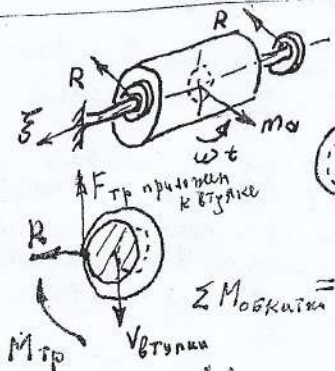
Недостаток:

- проблема с полем зрения
- трудность зажима цанги
- цанга из МТМ (нельзя момент)

Сферическая

$d_{ср} = 0,5 \text{ мм}$

Втулка без олива
 извлечен из центра (розетки нет)
 $M_{тр} = 0$



Как ориентир сил реакции? ($M_{тр} = 0$)
 реакция в опоре должна быть перпендикулярна поверхности цанги, реакция проходит через центр цанги, плеча нет
 + на поплавке нечему ломаться
 - нет МТМ 41-тов или узла
 - цанга цилиндр, это хорошо, но когда начинают скручивать, появ. розетки

Как обойти розетку?
 камень с цилиндр. отверстием без оливы. перекося удерживается тем, что цанга делается в виде шайбы, которая центрируется по цилиндру пов-ки. $D = 10 \text{ мм}$

Момент трения в каменной опоре

коэф. трения стали

$$M_{тр} = \frac{4}{\pi} \mu R \frac{d_z}{e}$$

$$\mu = 0,13 - 0,14$$

$$M'_{тр} = \frac{3}{16} \pi r \cdot l$$

$$r = 0,85 \sqrt{A \left(1 + \frac{1}{E_n} \right) \cdot \gamma}$$

r - радиус

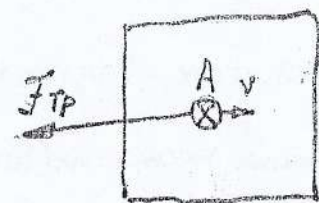
плотн. контакта камня с поплавком



Хондесман "Каменные опоры"
 из Библиотечки "Работоспособность"

Когда втулка упирается в поверхность подпятника, то тоже возникает $M_{тр}$
 Как бы не была A (овальная) <, она будет

Эффект Х.С. Жуковского



$$F_{тр} = \mu A$$



$$F_{тр} = \mu A \frac{v}{v_0}$$

вязкое трение

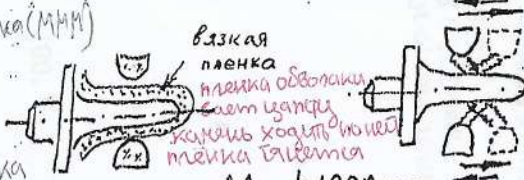
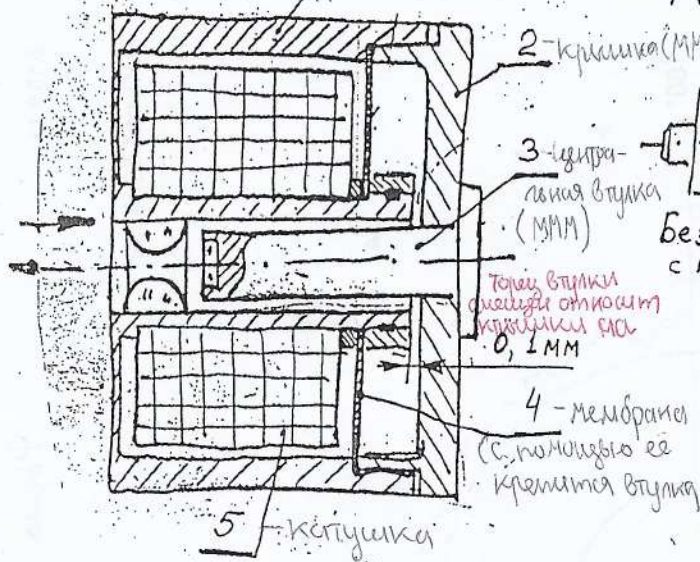
Зависит от v , $v=0 \Rightarrow M_{тр}=0$

Видеоопора

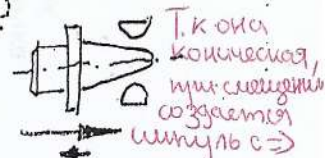
мощность ~ 0,05 Вт.

1 - корпус (МММ)

$M_{тр} \rightarrow 0, M_{возм.} \sim 0,02 \dots 0,05 M_{тр}$



В ГП используется изгиб цапфы, а в виде корпуса эти цапфы взаимодействуют с втулкой и ГП постоянно

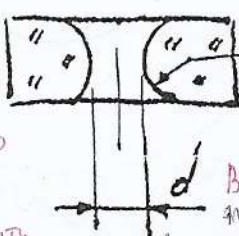
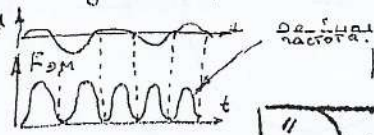
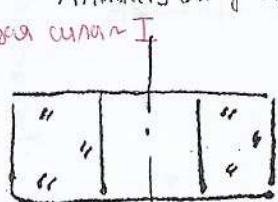


Коническая цапфа (или игольчатый резак)

⇒ Понявок взаимодействует так далее

Амплитуда движения втулки 1...10 мкм

Возникающая сила ~ I

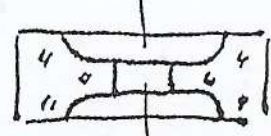


Принцип действия

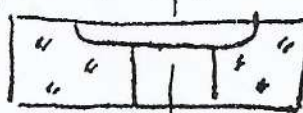
Через катушку 5 пропускают ток возникает МП, проходит по центральной втулке без зазора 100 мкм на кришку → по корпусу → мембрана → корпус → втулка

Вот что, что есть МП в зазоре возникает электрическая сила в зазоре. Они притягивают втулку корпуса к кришке. Зазор 100 мкм. Мембрана удерживает втулку деформируется. Сила, отклонив втулку возвращает к исходному положению. I меняет направление, ↑ возникает ЭМ сила.

Капли свершают возгор - прожигают отверстие. Пропадает трение, которое мешает поворачивать. Уменьшается $M_{тр}$



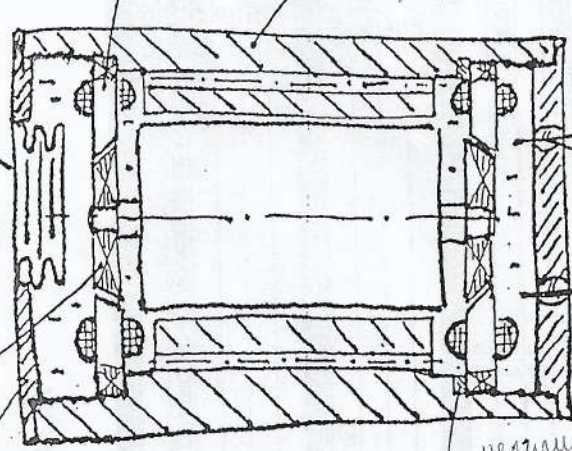
2х маслянистый подшипник



основной подшипник

Магнитный подвес

2 - статор маг. подвеса
1 - корпус (МММ)



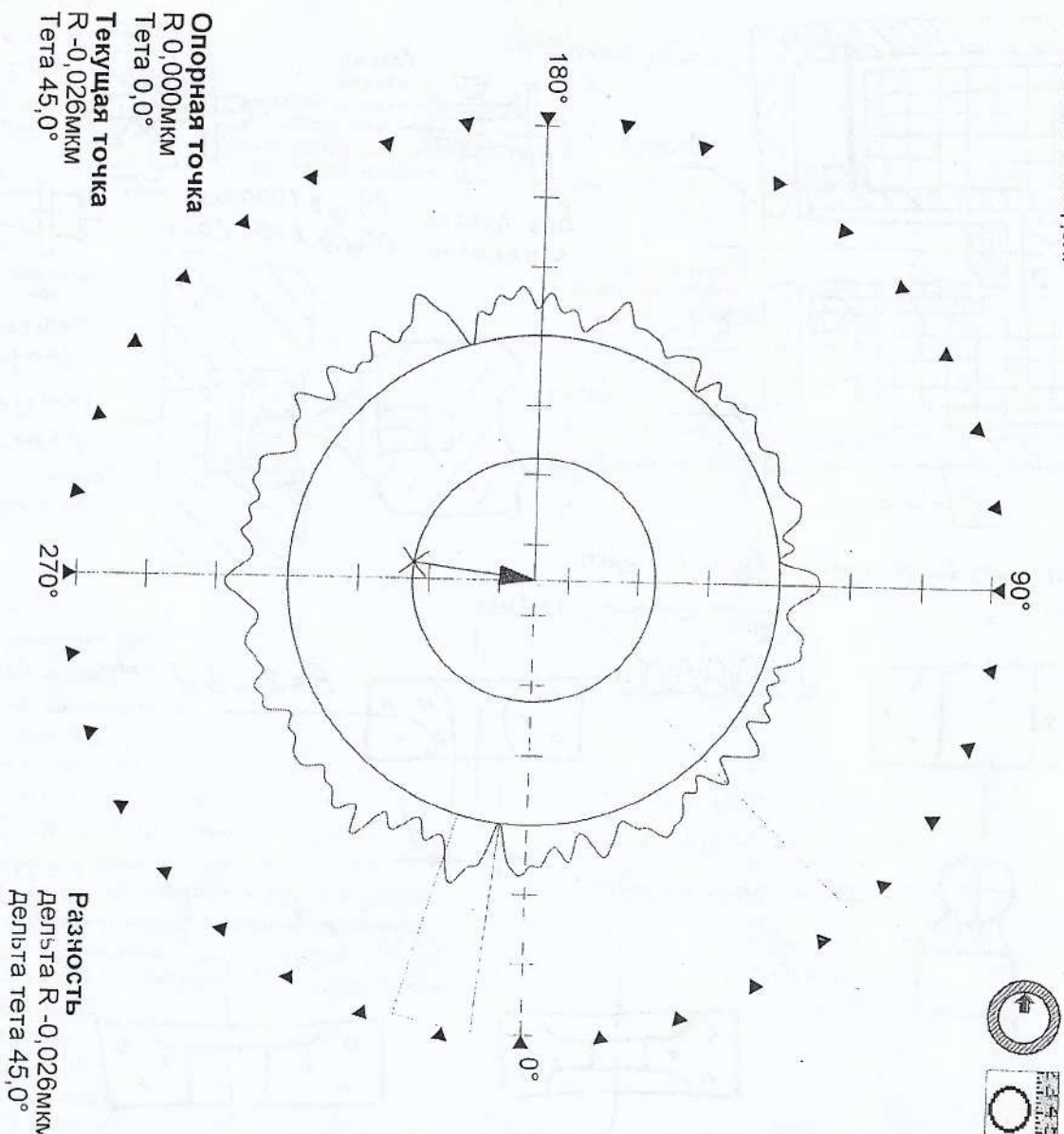
Нет заклинивания при перекосах.

Достаточно плотное уплотнение, потребляет > P, но мало энергии (1-1,5 Вт)

- Нагревается широм → жидкость расширяется
- Если давление жидкости может быть такое, что цапфа протекает. Чтобы этого не было, вокруг подвески делают отверстие (обводке капилляры)
- Между котлом и статором 0,1 мм → делают прецизионную сборку широра

5.13.8.11

Масштаб 50нм/дел.

Форма поверхности во время сглаживания
(резенка).

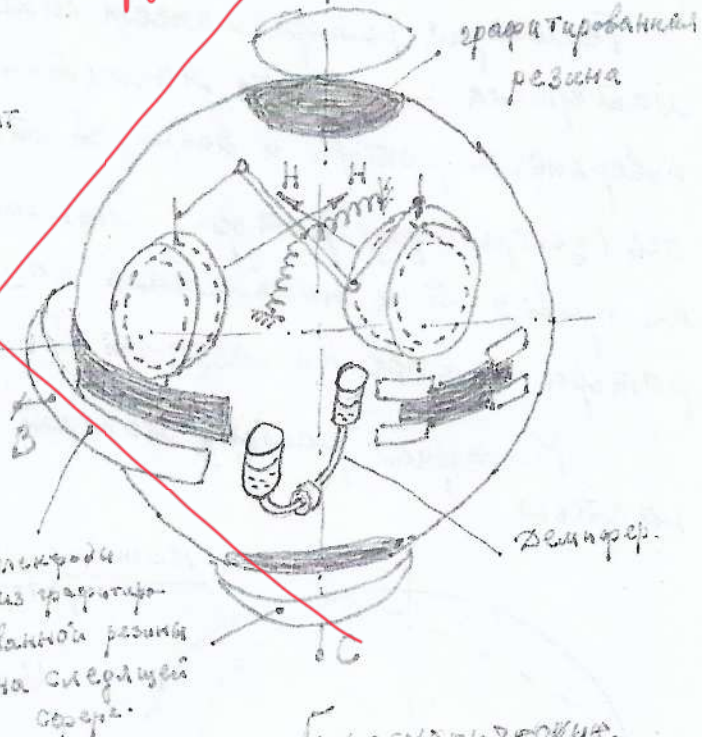
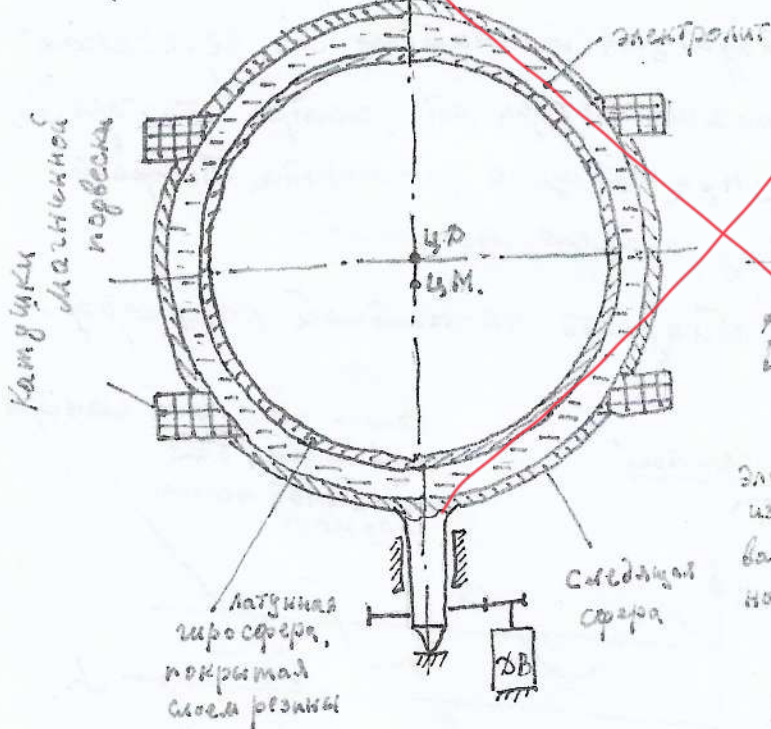
Круглость	
камень 80 0	
RON/Окружность M1/Гауссовский 15-50 нм/06	
06.12.2010 14:28:06	
камень 80 0	
360°/Admin/t365	
06.12.2010 14:27:12	
Спецификация	
Опорный тип	Окружность M1
Тип фильтра	Гауссовский
15-50 нм/06	
Начало отсчета	
Параметры	
Шпиндель	
RONP	0.00
RONP полож	353.5
RONV	0.05
RONV полож	346.1
RONI	0.05
Прогон	0.05
DFTC	0.05
Окно DFTC	10
DFTC полож	343.6
Макс крутизна	0.008
Окно крутизны	10
Крутизна полож	346.8
Крутизна средняя	0.003
Профиль вкл	100.0
Ecc	0.01
Ecc полож	82.2
Вогн	0.02
Радиус	2.9911
Диаметр	5.9822
Условия	
Положение Z	86.985
Положение R	-2.990
Направление контакта	Вертикальный
Скорость контакта	5.0
	R отрицательный
	мм/сек

Taylor Hobson
PRECISION

Магнитные поезда

не будет (C)

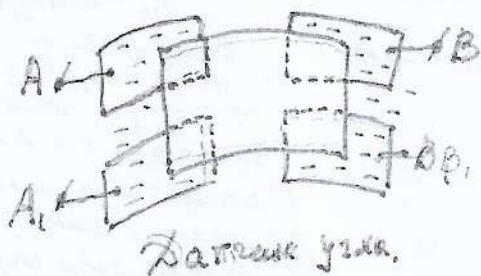
Гирокомпас Аппарат



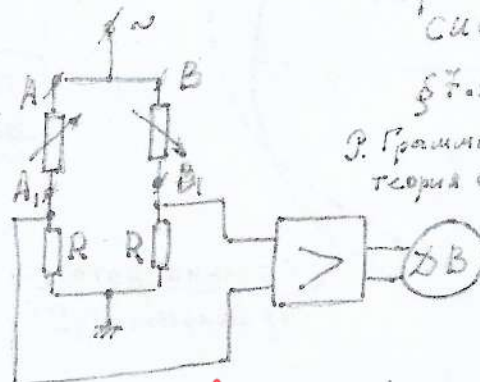
Гирокосмические системы 2. II

Б.Г.А. под ред. Лисенко, ДС

В. Граммель Гирокосм и теория его применений



Датчик угла



Будет

Из центра дуга Бисса

Наземный ширококомпас

Взят электромагнит с катушками и магнитный шарик. Луч света засвечивал резистор, меняя ток, а он координатился на датчике.

Если шарик сильно притягивался, то переключивалось освещение R, I.

Шарик разбивался (ГП вместо шарика) Получился маятник компаса

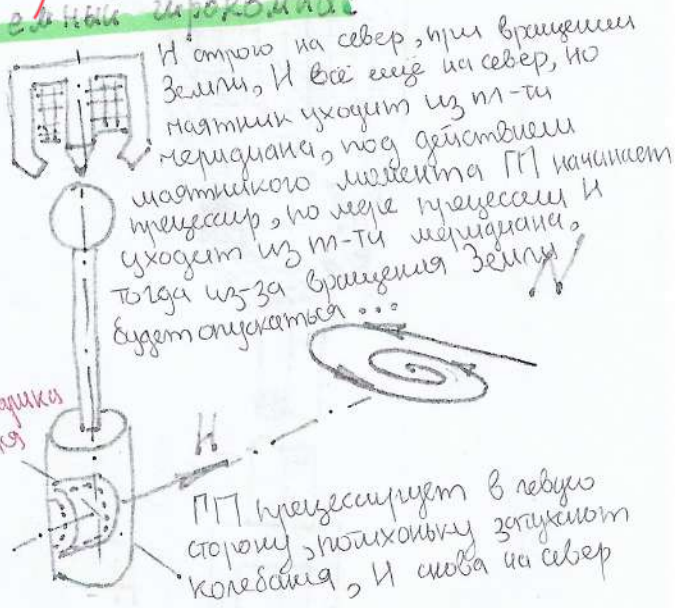


- Шарик из Магн. материала
- Шарик крупный

Могут специальную ориентацию шарика, когда ось магнитная ставится вертикальная и минимальное погрешности.

Смещенный маятник, под действием маятник момента, ГП прецессирует в направлении северн. полюса. Потом маятник обратно;

Наземный компас должен иметь источник питания. Как это обеспечивается? Есть спец. токопровод трансформаторный, котор. создает I в катушки. Питает его и раскручивает. Есть ошибки, связанные с шариком.



И отрою на север, при вращении Земли, И все еще на север, но маятник уходит из м-ти меридиана, под действием магнитного момента ГП начинает прецессия, но мере прецессии И уходит из м-ти меридиана, тогда из-за вращения Земли будет спущаться...

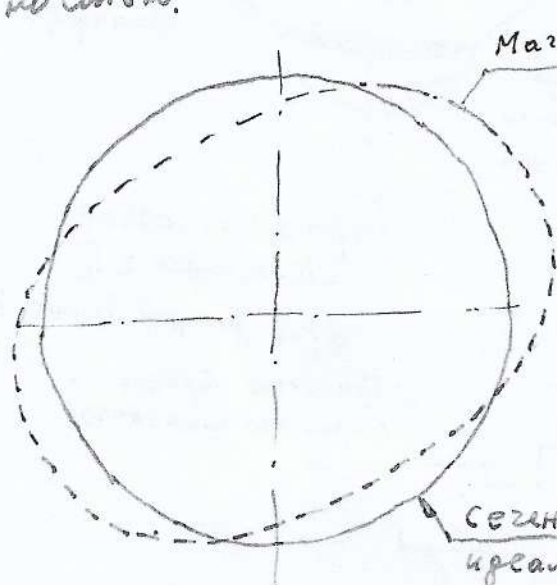
ГП прецессирует в левую сторону, потихоньку зопущивот колебания, И снова на север

8

Неоднородность магнитного материала ротора.

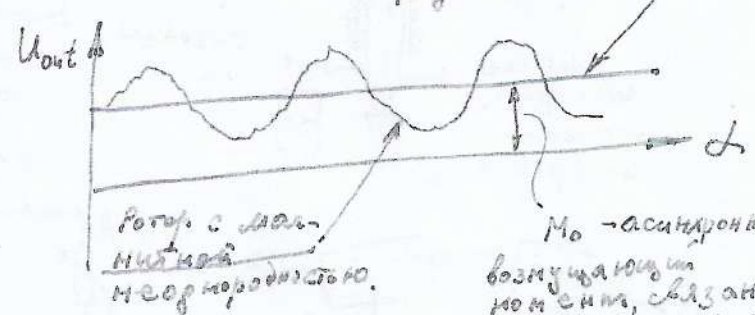
Геометрия ротора может быть идеальной. Если μ магнитного материала $\rightarrow \infty$, то магнитные силовые линии нормальны к поверхности ротора и равнодействующая магнитных сил пересекает ось (центральную) ротора. Отклонения ротора от центра статора не приводят к появлению возмущающего момента. Деформации ротора так же не создают возмущающего момента.

Материал ротора может обладать магнитной неоднородностью.



Магнитная геометрия ротора

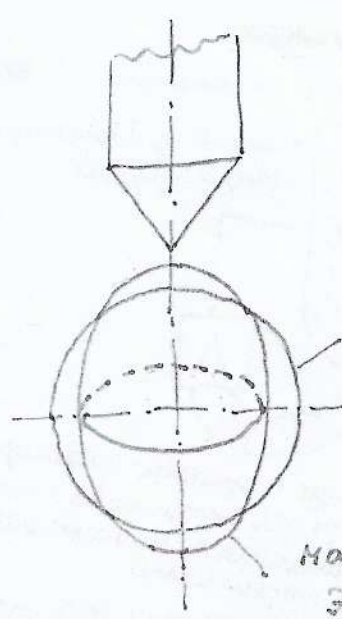
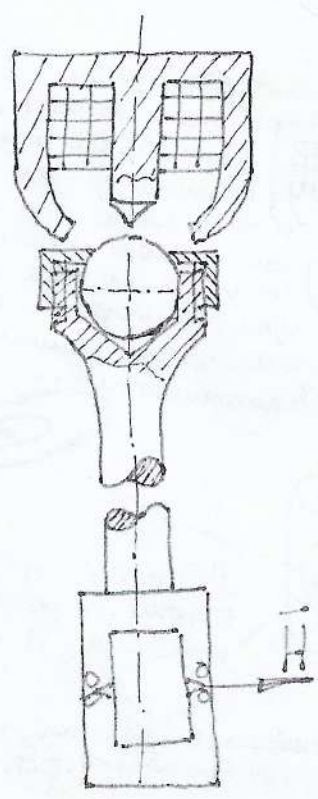
Сечение ротора - идеальный круг.



Ротор с магнитной неоднородностью.

Ротор идеальной геометрической формы без магнитной неоднородности

Мо - асинхронный возмущающий момент, связанный например, с наличием вращающегося вектора магнитного поля статора (различия емкостей создает сдвиг фаз тока в обмотках статора). Можно компенсировать или авторегулирующим способом углы!!!

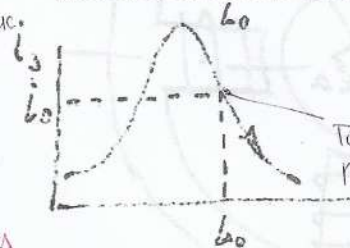
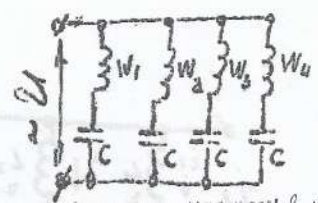
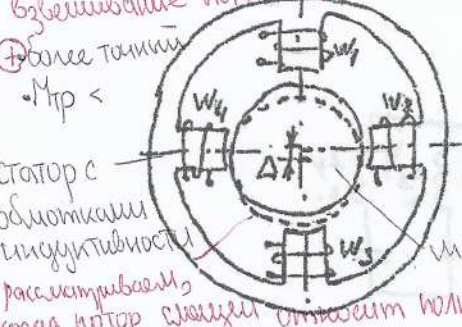


Геометрическая форма - шар

Магнитная форма - эллипсоид.

Для минимизации возмущающего момента необходимо совмещать главную ось эллипсоида с осью

Занимается $\sim U_2$ **Магнитный подвес резонансного типа** для резонансного подвеса. **Резонанс магнитный bearing** **Статор и ротор делают индуктивными**



- зависимость тока, протекающего через контур от индуктивности
Точка настройки резон. контура, которая была за резонансом

$L = L_0$ if $\Delta = 0; \delta = \delta_0$

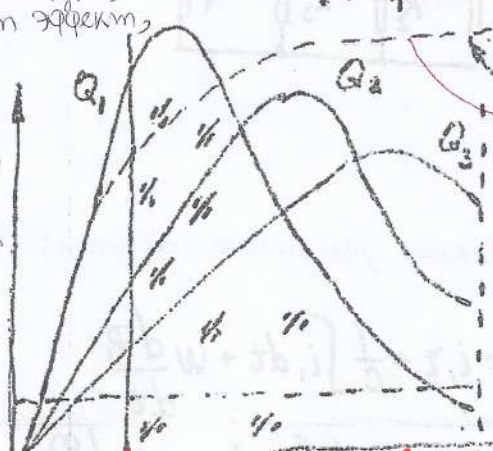
$$i = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Ток резонансной контуры (каждой катушки)

Γ - активное сопротивление катушки
 $\Gamma_{стат}$ - в магнитном

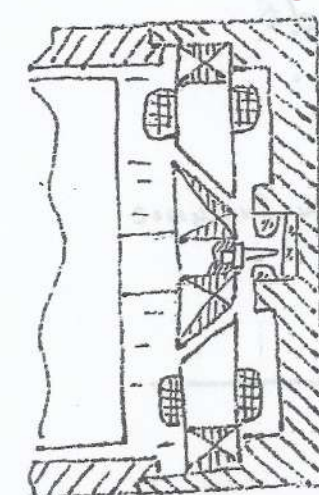
$$F = K_{MB} (Q-2) \cdot \frac{x}{1 + K_1 x^2 + K_2 x^4}; \quad x = \frac{\Delta}{\delta_0}$$

из которых набран ротор наводятся токи $F_{инд}$, они вызывают эффект, который вызывает активное $R_{стат}$ самой обмотки L_0 - индуктивность, при центральном положении ротора



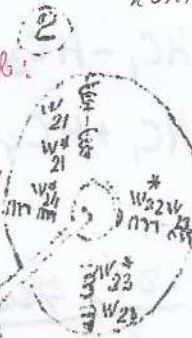
$\frac{L}{C}$ (парал. маг. подвес)
нулевая линия относится к параллельному магнитному подвесу
 $Q_1 > Q_2 > Q_3$
- график зависимости F от x

Для нормальной работы магнитного подвеса важно сделать так, чтобы изменение центрирующей силы из-за изменения тока было больше, чем изменение силы из-за изменения зазора. Для этого ставится емкость, обеспечивается резкая зависимость тока от смещения. (Удобность контура должна быть большой)



Коническая форма ротора в подвесе для радиального и осевого центриров:

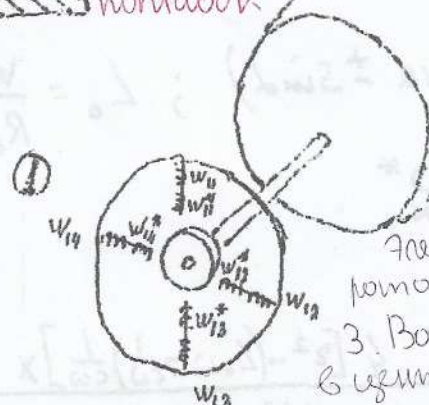
- зазор min 20 мкм
- если добротность маленькая, то подвес быстрее изнашивается
- центрирующая сила уменьшается, поэтому стараться не отклонять подавок



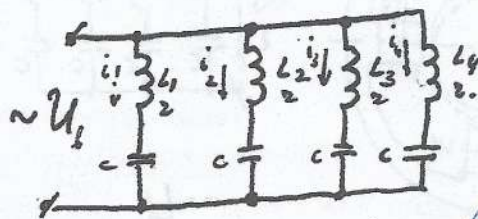
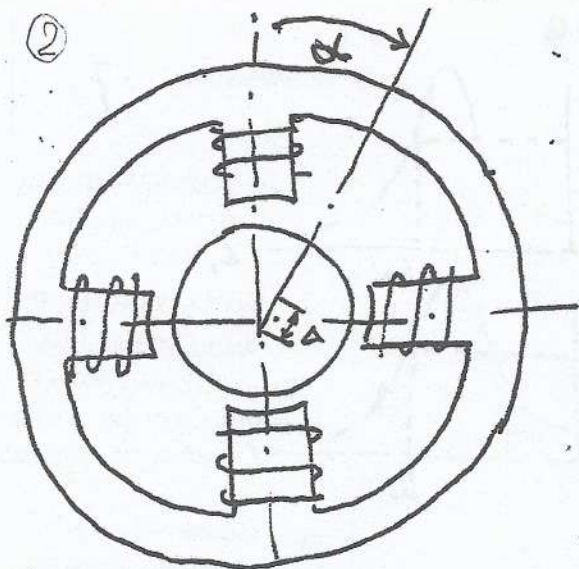
На все полюсы намотаны обмоточные катушки, попарно с этими катушками соединена емкость

Как будет работать подвес?

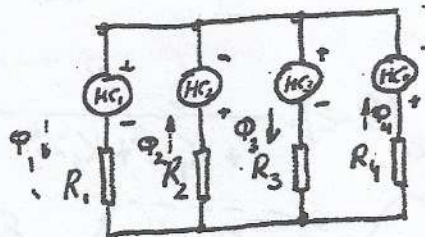
Ротор опустится вниз, к полюсу W_3 . L обмотки $\uparrow$. $C \uparrow L, I \downarrow, W_1 L \downarrow$, т.к. зазор $\uparrow$, $I \uparrow$. Возмущение тока поразит ЭМ силу. Т.к. находятся за резонансной частотой хар-ки. $I \uparrow$ в 1 контуре, появляется большая электромагнитная сила, которая притягивает ротор 1 и меньшая, которая притягивает к 3. Возникает сила, которая возвращает ротор в центральное положение.



2



Δ - зазор
α - угол смещения
X - относительное смещение



$$R_1 = \frac{\delta_0 - \Delta \cos \alpha}{S \mu} = \frac{\delta_0}{S \mu} \left(1 - \frac{\Delta}{\delta_0} \cos \alpha\right)$$

$$R_2 = R_0(1 - X \sin \alpha); R_3 = R_0(1 + X \cos \alpha)$$

$$R_4 = R_0(1 + X \sin \alpha)$$

$$H C_1 = W i_1; H C_2 = W i_2 \dots$$

$$\begin{cases} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 - \Phi_4 = 0 \\ \Phi_1 R_1 + \Phi_2 R_2 = H C_1 + H C_2 \\ \Phi_1 R_1 - \Phi_3 R_3 = H C_1 - H C_3 \\ \Phi_1 R_1 + \Phi_4 R_4 = H C_1 + H C_4 \end{cases}$$

уравнения для питающей цепи:

$$\begin{cases} U_1 = i_1 Z + \frac{1}{C} \int i_1 dt + W \frac{d\Phi_1}{dt} \\ U_2 = i_2 Z + \frac{1}{C} \int i_2 dt + W \frac{d\Phi_2}{dt} \\ \dots \end{cases}$$

$$Z = Z_{\text{катушки}} + Z_{\text{стали вносимое}}$$

$$\dot{\Phi}_{1,3} = \frac{W U}{R_0} \frac{Z(1 \pm X \cos \alpha) + j[L_0 \omega - \frac{1}{C \omega}(1 \pm X \cos \alpha)]}{[Z + j(L_0 \omega - \frac{1}{C \omega})]^2 - (Z - j \frac{1}{C \omega})^2 \frac{X^2}{2}}$$

$$\Phi_{2,4} = \dots \text{ (замена } \pm X \cos \alpha \text{ на } \pm \sin \alpha \text{)}; L_0 = \frac{W^2}{R_0}$$

$$F_K = \frac{\Phi_K^2}{2 \mu_0 S}; \Phi_K^2 = \dot{\Phi}_K \cdot \dot{\Phi}_K^*$$

$$F_{\text{эм}} = (F_1 - F_3) \cos \alpha + (F_2 - F_4) \sin \alpha = \left(\frac{W U}{R_0}\right)^2 \frac{1}{2 \mu_0 S} \frac{4 [Z^2 - (L_0 \omega - \frac{1}{C \omega}) \frac{1}{C \omega}] X}{[Z^2 - (L_0 \omega - \frac{1}{C \omega})^2 + Z^2 \frac{X^2}{2} + \frac{1}{C \omega}]^2 \frac{X^2}{2} + [2Z(L_0 \omega - \frac{1}{C \omega}) + \frac{2Z X^2}{C \omega}]^2}$$

$$L - (L_0 \omega - \frac{1}{C \omega}) / C \omega < 0$$

условие
устойчивости.

Настройка на 2 точку половинной мощности:

$$P_{\text{раб}} = \frac{1}{2} P_{\text{рез}}; \quad P_{\text{раб}} = I_{\text{раб}}^2 \cdot Z = \frac{U_0^2}{Z}$$

эти 2 уравнения
спределяют работу
магнитного подвеса,
настроенного на
2-ую точку

$$P_{\text{раб}} = I_{\text{раб}}^2 \cdot Z = \frac{U_0^2 \cdot Z}{Z^2 + (L_0 \omega - \frac{1}{C \omega})^2} = \frac{U_0^2}{2Z}$$

$$L_0 \omega - \frac{1}{C \omega} = Z$$

$$\frac{L \omega}{Z} = Q$$

Условие устойчивости $Q > 2$

Q-добротность

$$F_y = \left(\frac{\omega U}{Z R_0} \right)^2 \frac{Q-2}{2 \mu \cdot S} \cdot \frac{x}{1 + (Q-1)x^2 + \frac{Q^2(Q-2)^2 + 4(Q-1)^2}{16} x^4}$$

при малых x

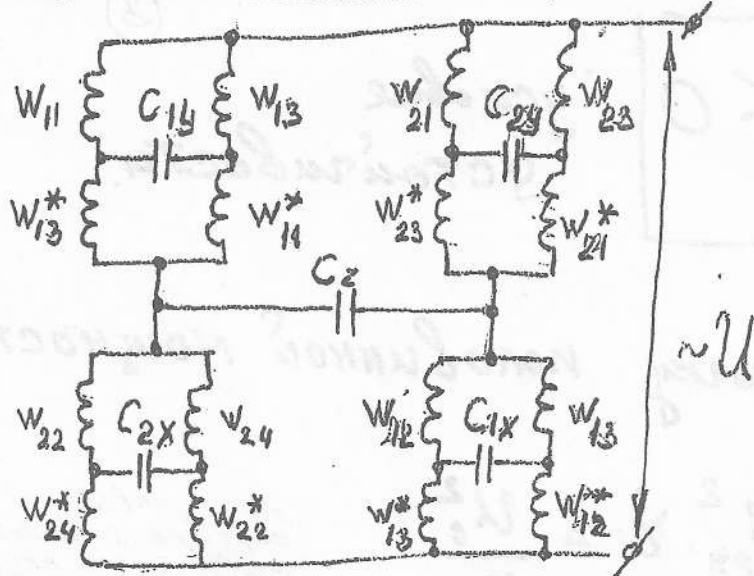
$$F_y = \underbrace{\left(\frac{\omega U}{Z R_0} \right)^2}_{\text{крутизна}} \frac{Q-2}{2 \mu \cdot S} x$$

Если $Q < 2$, то он не
центрирует, не притягивается
к магнитному подвесу

$P_{\text{рез}}$ - резонансная мощность

При резонансе только активное сопротивление

Bridge resonance magnetic bearing.



4 полюса, всего обмоток 16

W11 - катушка, номер 1
магн. подвеса 1
полюса

Cz - общая ёмкость

C1y - смещение по вертикали
ротора 1 подвеса

C2y - смещение по вертикали
ротора 2 подвеса

C1x, C2x - смещения горизонтальные

Cz - аксиальное смещение
(как развернулся поплавок относит.
поплавковой камеры)

$$U_{C1y} = K \Delta y_1 \quad U_{C1x} = K \Delta x_1 \quad U_{C2y} = K \Delta y_2 \quad U_{C2x} = K \Delta x_2$$

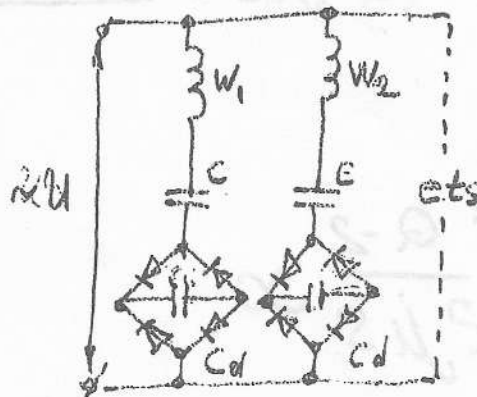
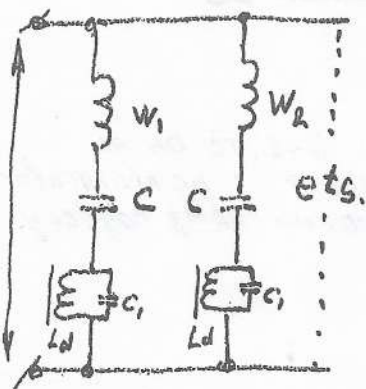
$$U_{Cz} = K \Delta z$$

Резонансный магнитный подвес - не
очень хорошо, т.к. ток он потребляет,
а силу не создаёт. Ток греет магнитный
подвес.

мощность = 0,05 Вт

$$P_0 \sim 1 \text{ Вт}; \quad K_{MB} = 0,01 \dots 0,1 \frac{\text{Н}}{\mu\text{м}}; \quad M_0 \neq 0$$

Damping by additional circuit



Тот же последовательный подвес, но дальше в цепь включается
мостовой выпрямитель.

В выпрямитель включим ёмкость.

подвес на воздушке не нужен.

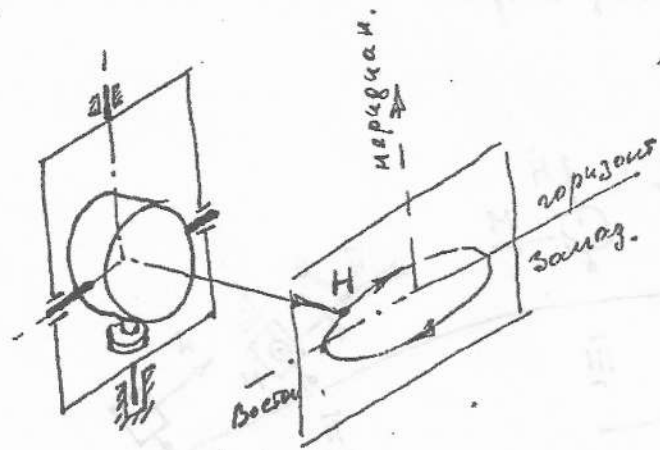


Рис 36.

Гироскопное устройство представляет собой трехстепенный гироскоп, внутренней рамке которого сообщена маятниковая ось.

Работает устройство принципа работы маятникового компаса.

Пусть над какой-либо точкой земной поверхности гироскоп установлен так, что ось H находится в горизонтальной плоскости и направлена к востоку (рис. 37 положение I). В этом положении маятник останется вертикально и не будет силы тангенса не сообразится. За счет вращения Земли через некоторое время гироскоп перейдет из положения I в положение II. При этом ось H кинетического момента за счет свойства гироскопа сохранит положение H неизменным расположением по отношению к горизонту и на гироскоп не будет действовать момент маятника, равный $G \ell \sin \beta$, где G и ℓ — масса и плечо маятника, β —

угол поворота внутренней рамы гироскопа. (Наблюдатель, связанный с Землей, при этом кажется, что ось H маятника поворачивается над плоскостью горизонта.)

3) если начнет прецессировать, стремясь совместить вектор H с вектором M

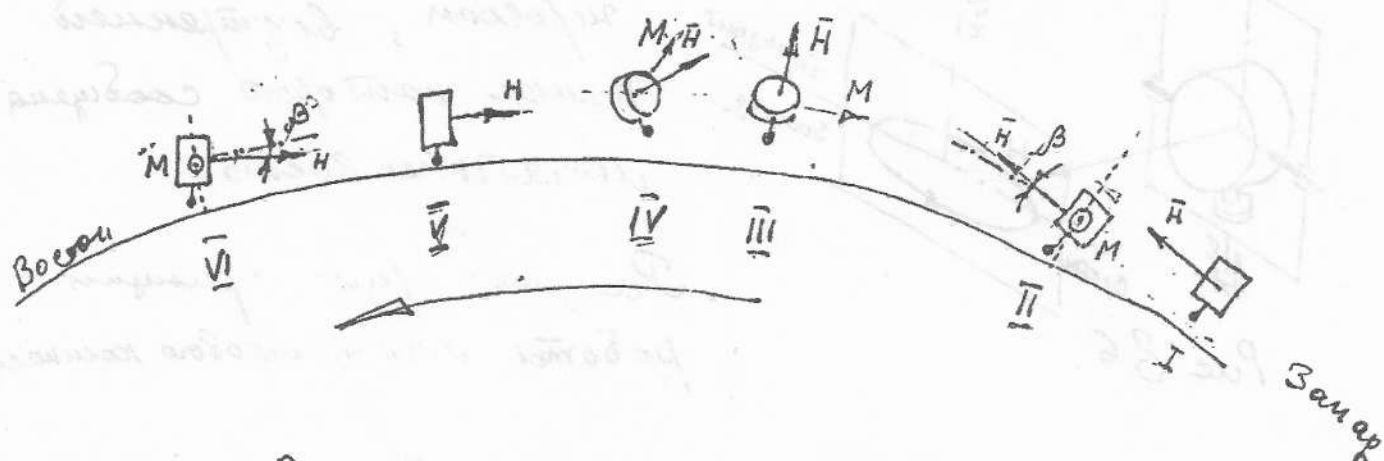


Рис. 37 Вид на широкон со стороны Северного полюса

с вектором M (к Северу). Но при этом β будет ^(и, следовательно, маятниковый момент) уменьшаться до момента, пока H не совпадет с плоскостью меридиана. (положение III).

Под действием маятникового момента широкон будет прецессировать ^{уменьшаясь} в Западном направлении. При этом, однако, за счет вращения Земли горизонтальная плоскость будет ^{уменьшаться} совмещаться с вектор вращения с вектором H и угол β будет уменьшаться (положение II). Такое движение будет продолжаться до совпадения H с Западным направлением (Положение I), при котором β и маятниковый момент станут равными нулю.

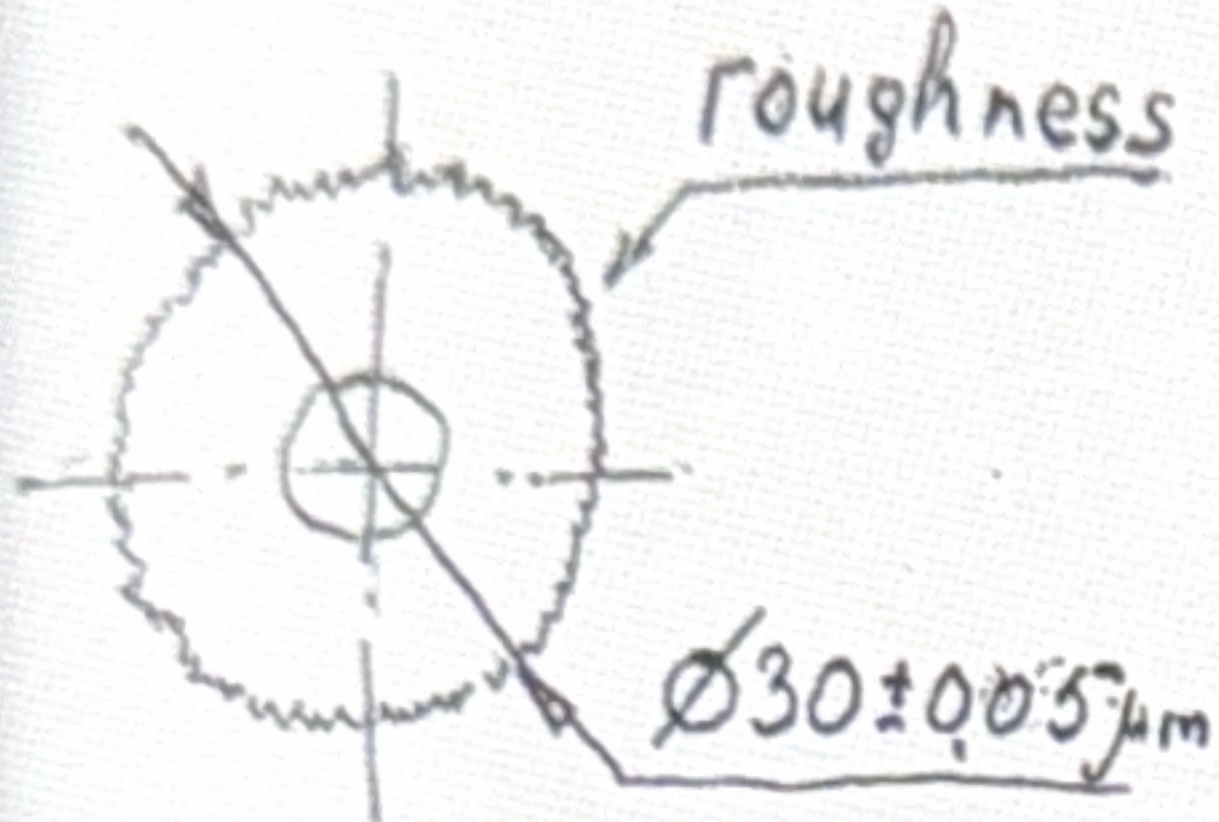
В следующий момент ^(положение II) вектор

Elastic revolting moment of Magnetic bearing

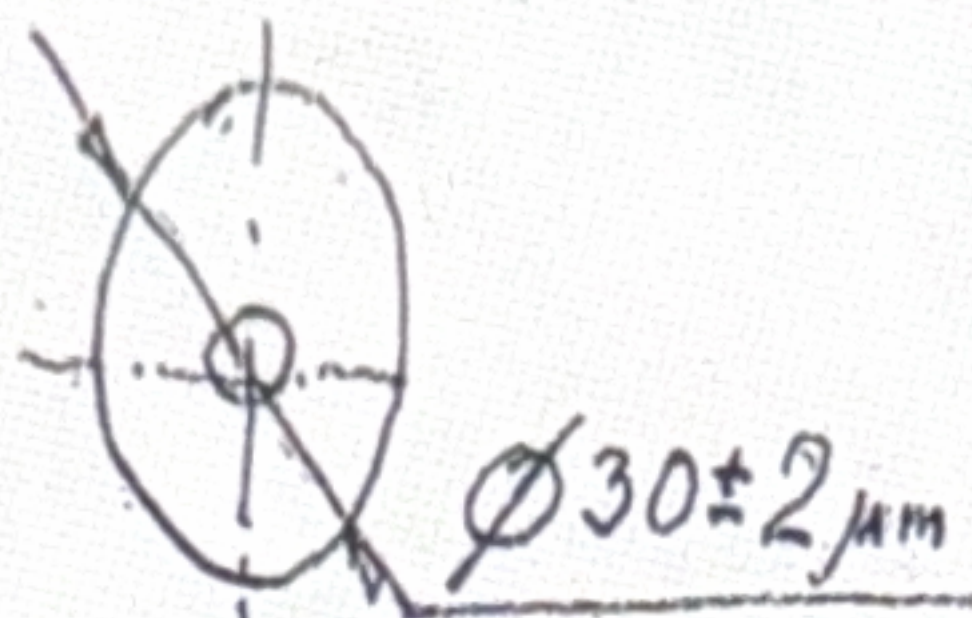
(4)

High frequency part

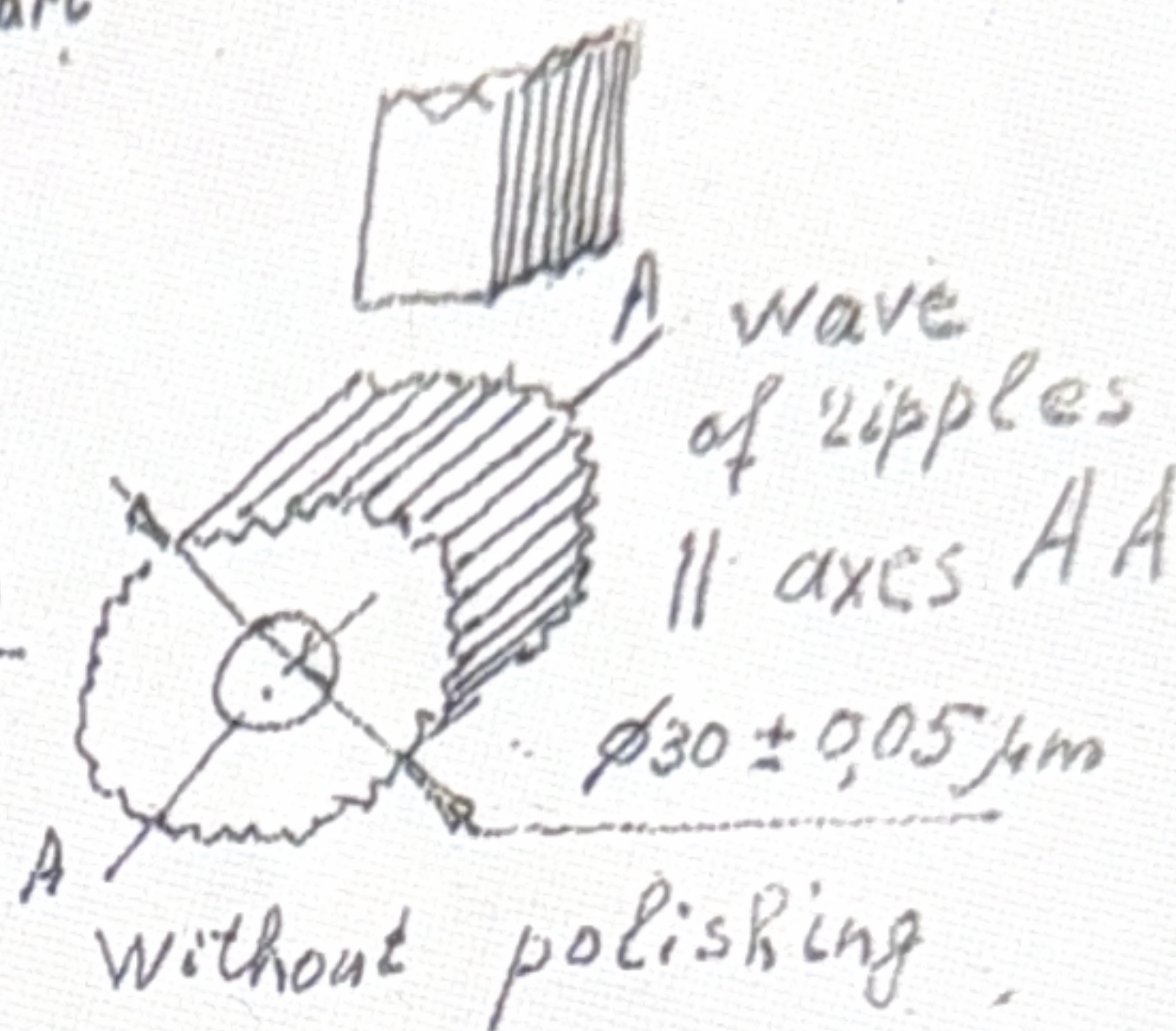
Rotor



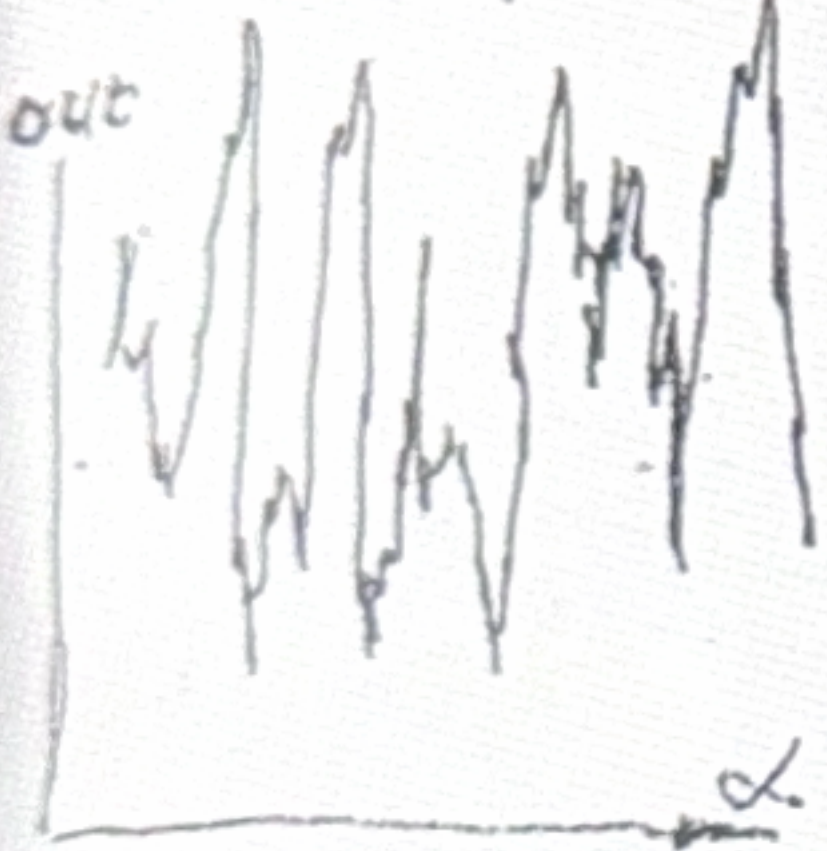
Low frequency part



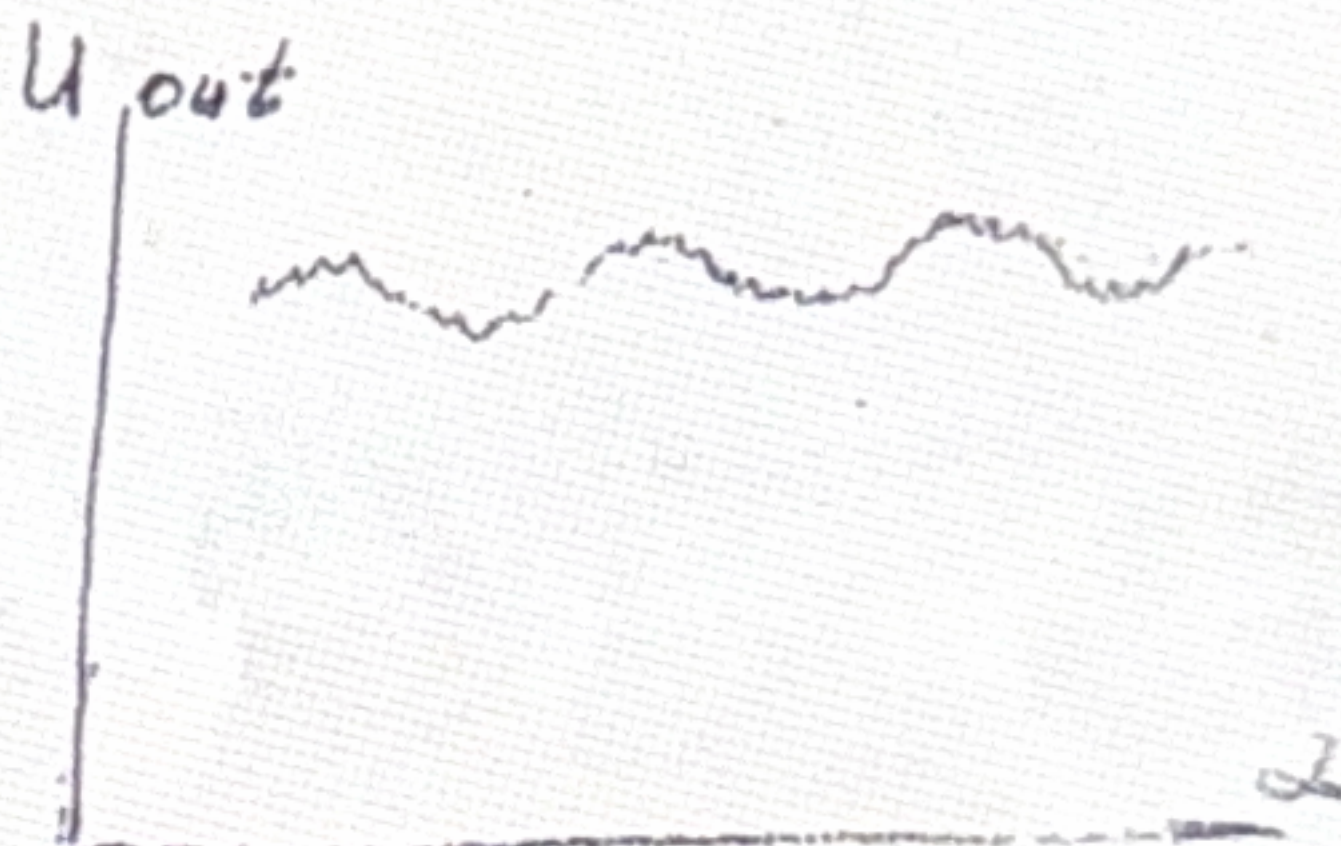
Slanted edge of pole



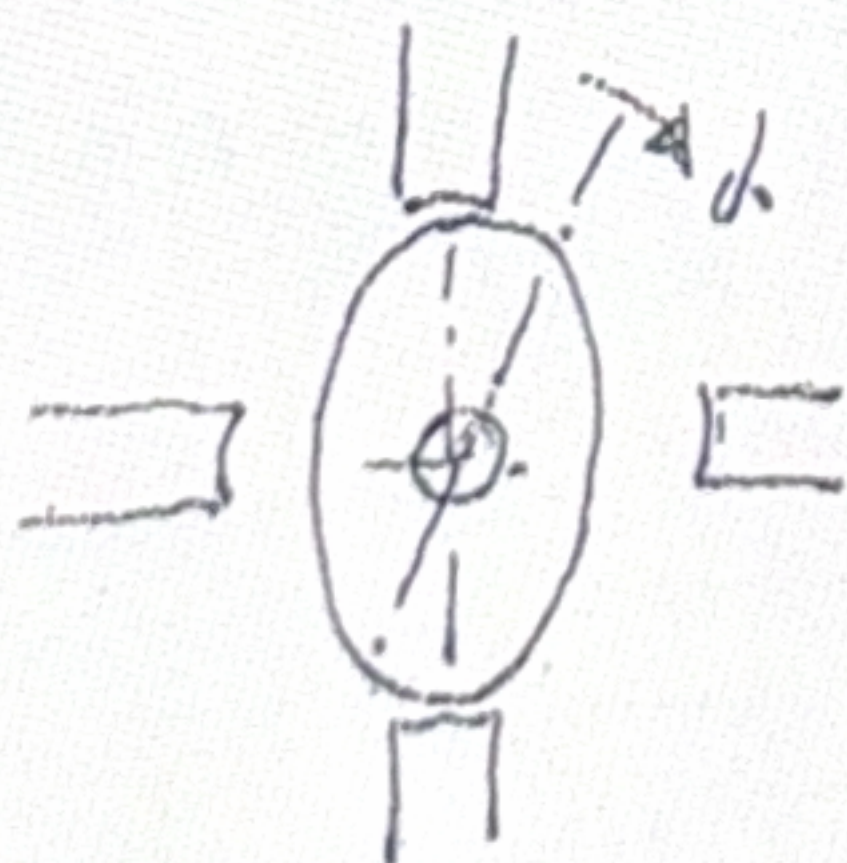
without polishing



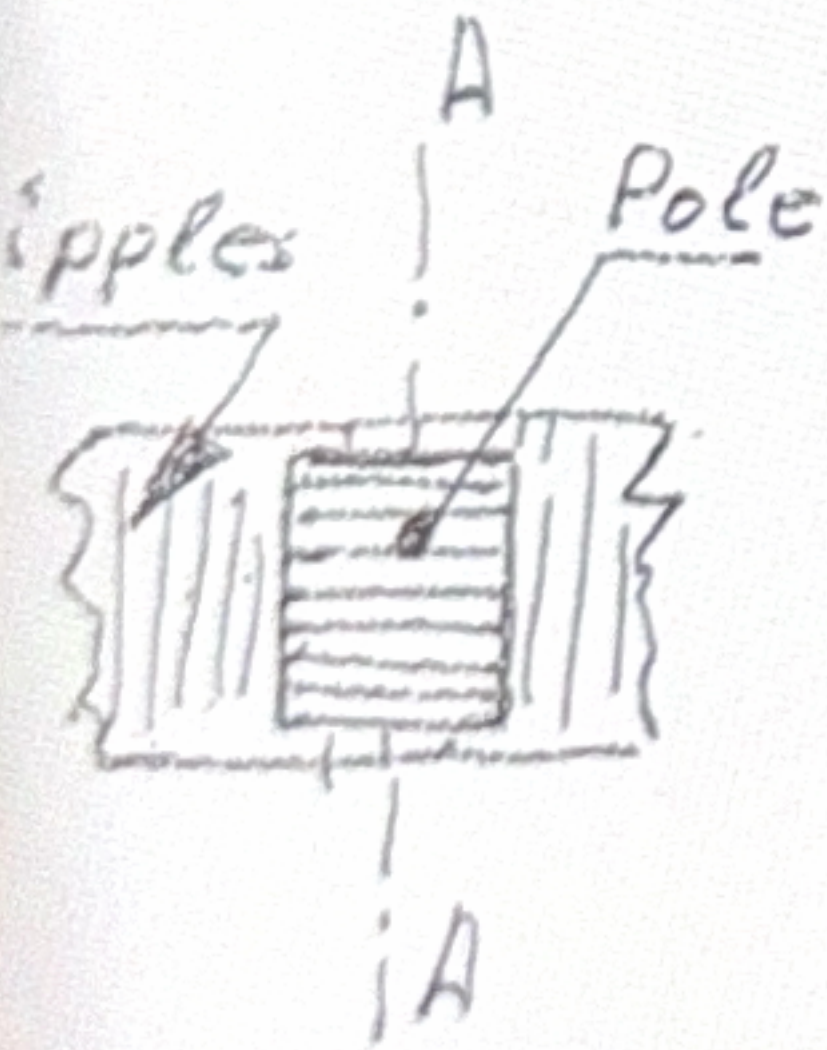
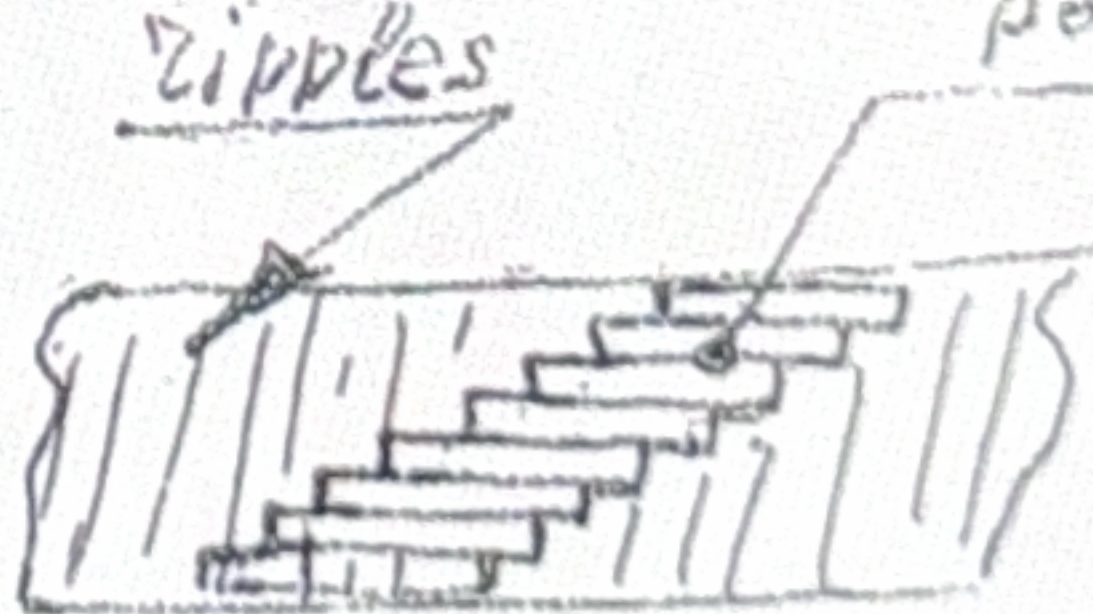
after polishing



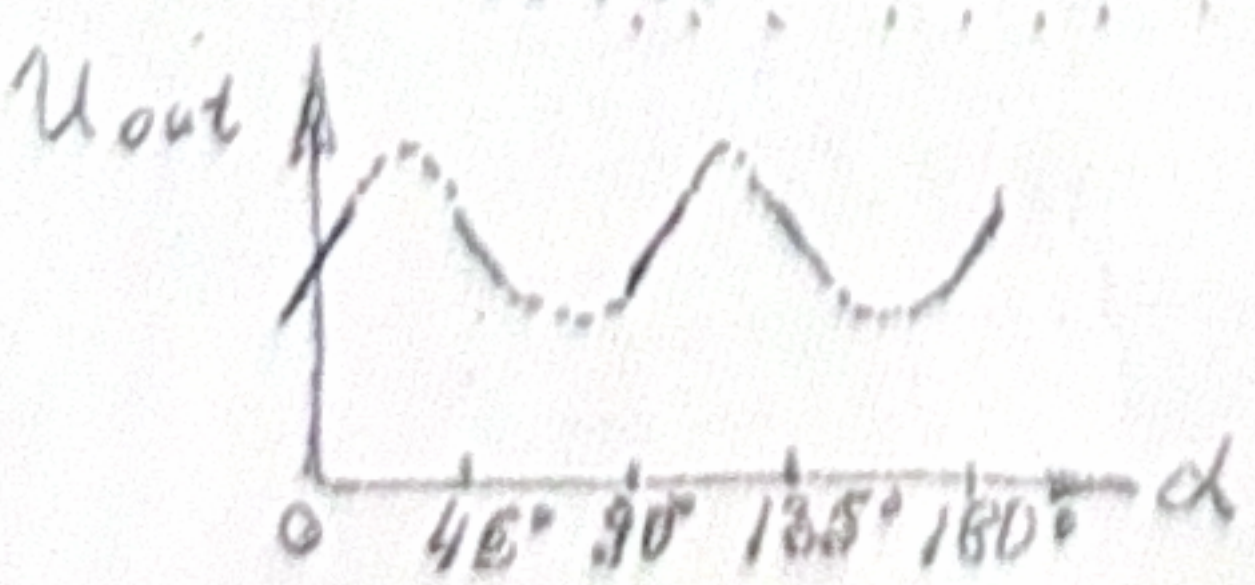
Rotor-ellipse



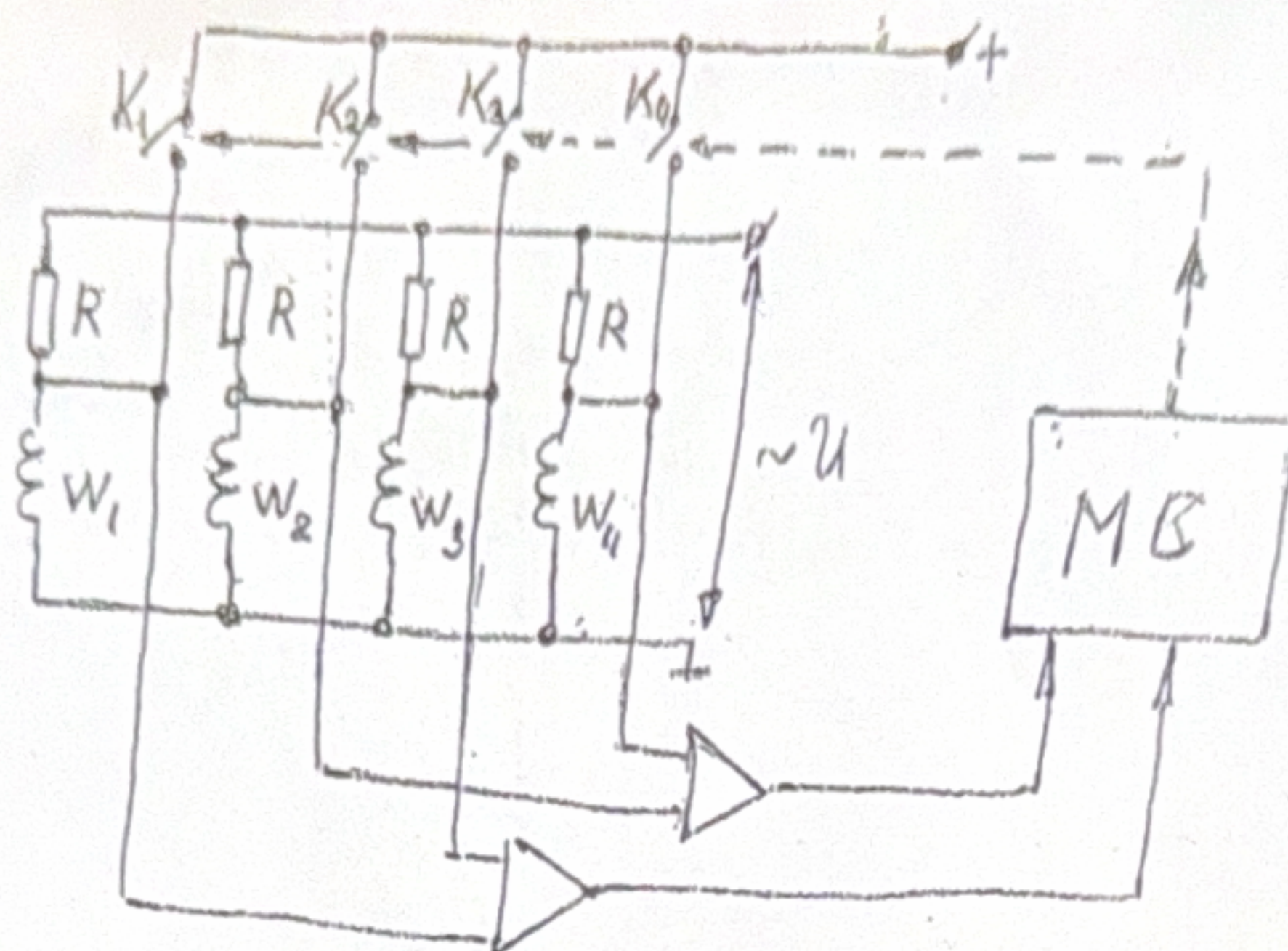
Slanted edge pole



$M=0$ if
 $\alpha=0$ steady rotor position
 $\alpha=45^\circ$ unsteady
 $\alpha=90^\circ$ - steady



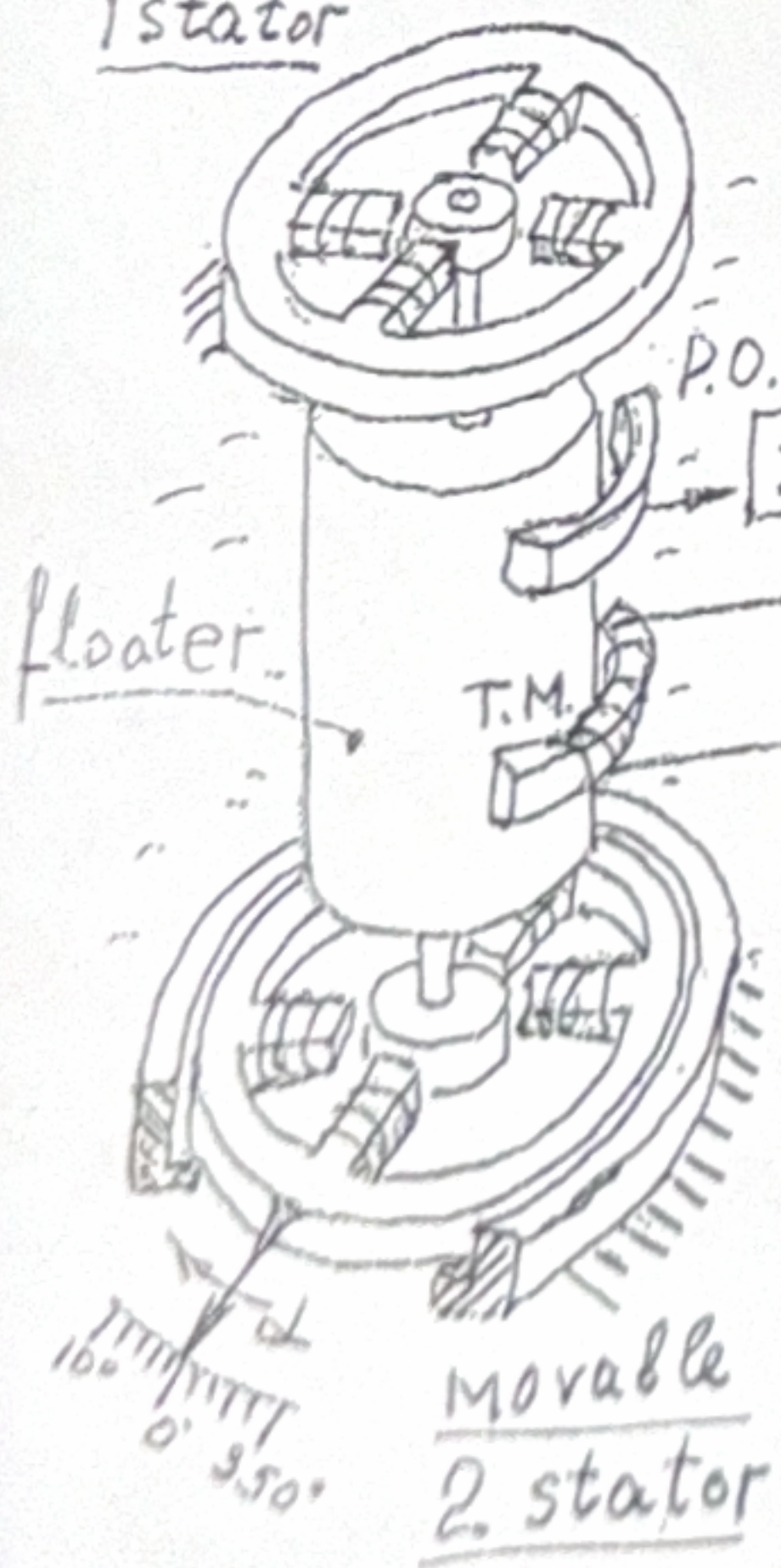
Active Magnetic Bearing



$$K_{MB} \sim 0.1 \dots 1 \frac{N}{\mu m} ; P_0 \sim 0.1 Wt ; M_0 \rightarrow 0$$

TEST OF MAGNETIC BEARING

fixated
stator

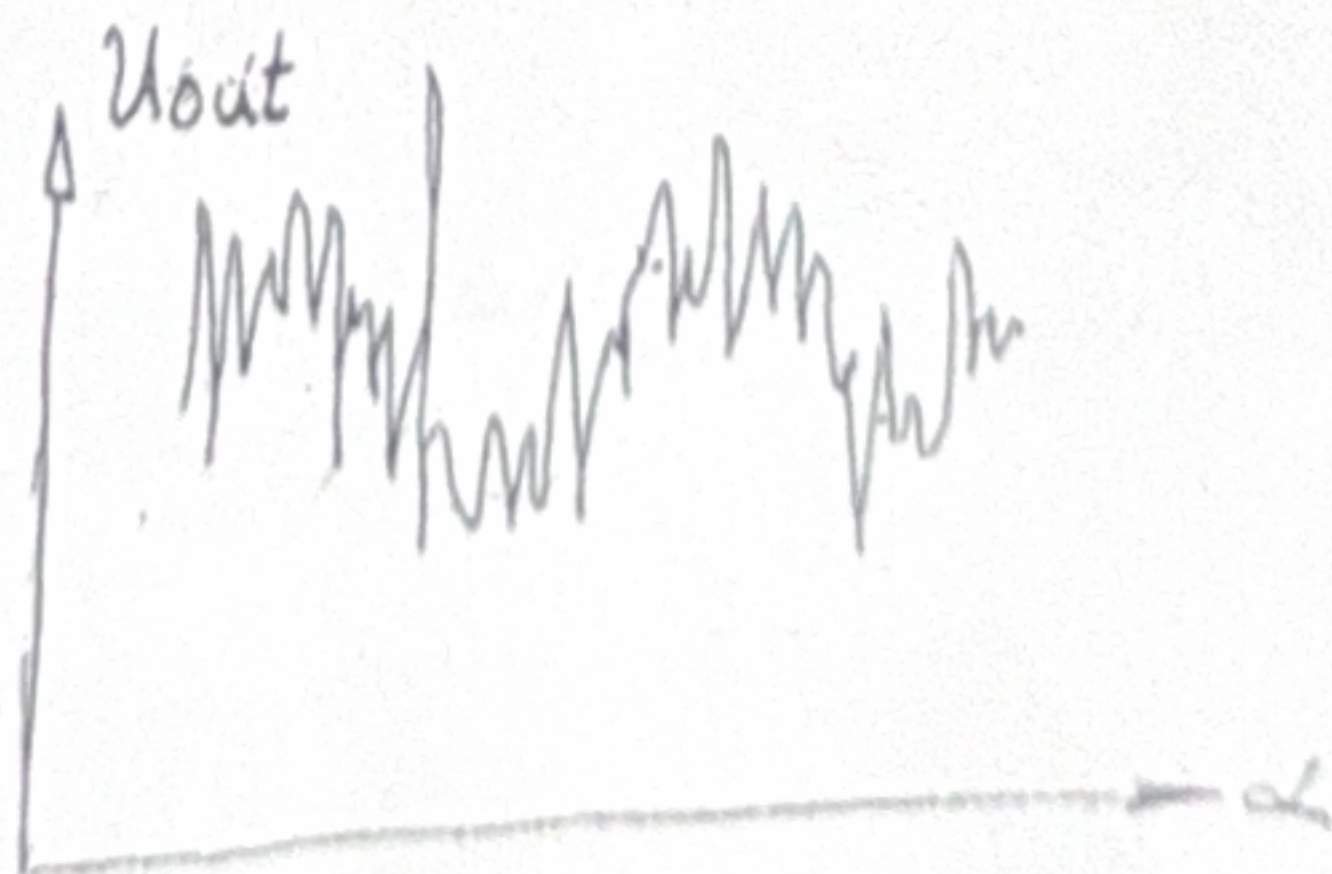


$M_1; M_2(\alpha)$ - revolting moments
of 1 and 2 magnetic bearing

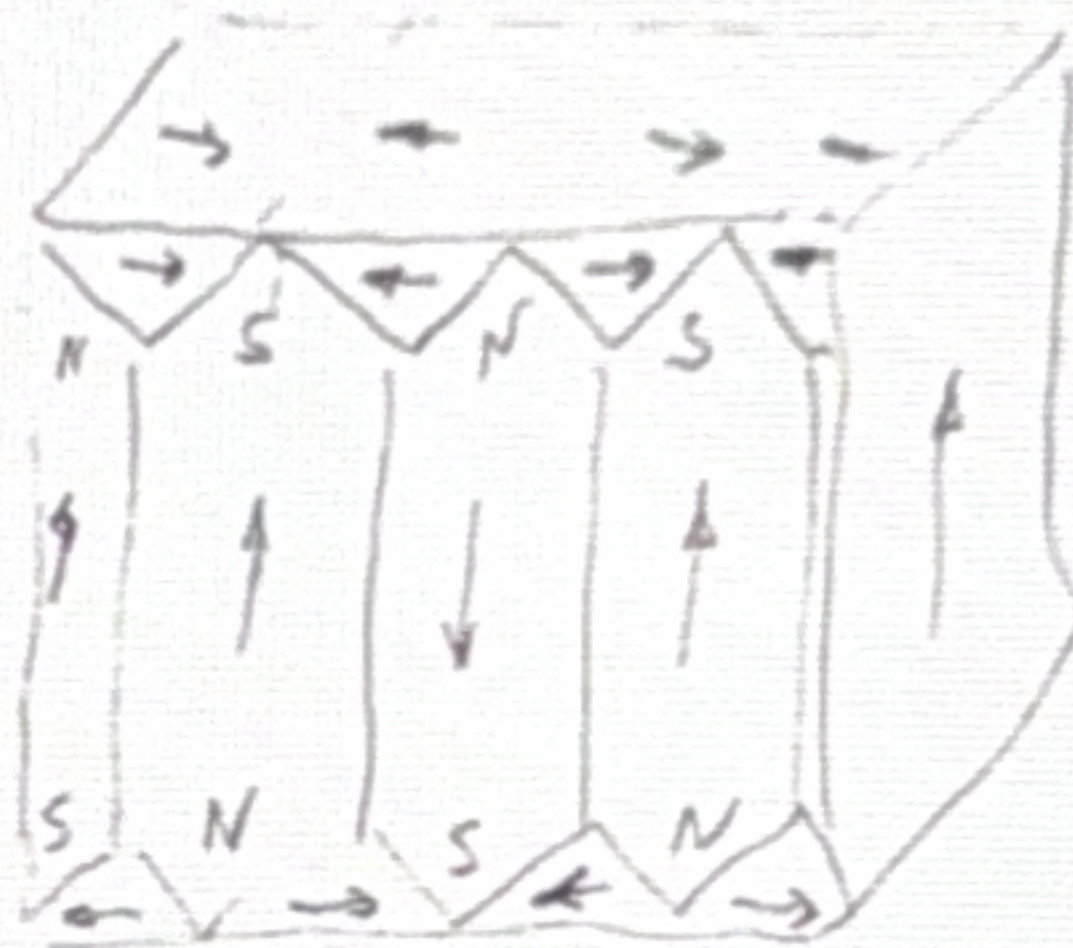
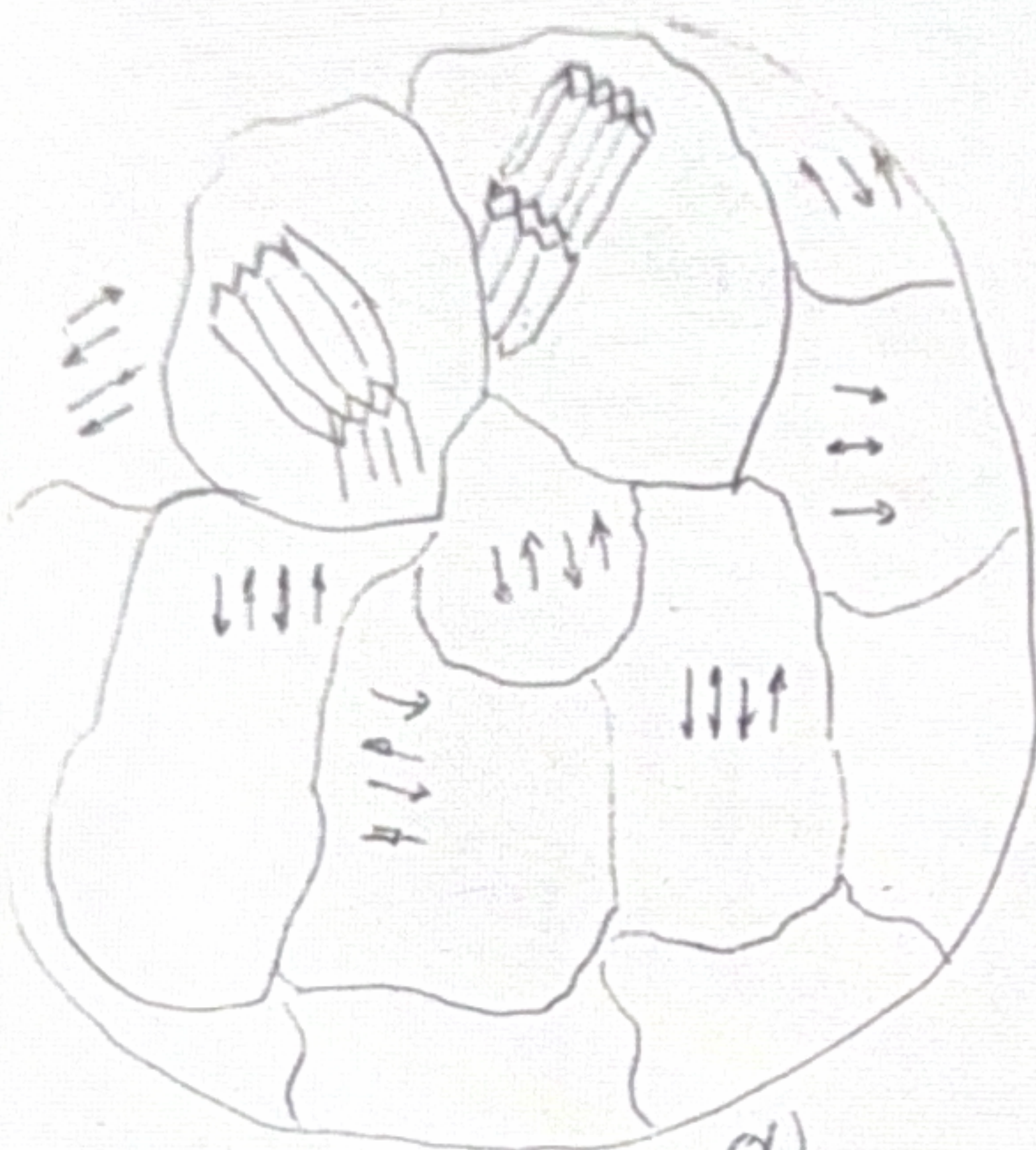
$$J_{TM} K_{TM} = M_1 + M_2(\alpha)$$

$$M_1 = const$$

$$U_{out} = \frac{J_{TM} R}{K_{TM}} = \frac{M_1 + M_2(\alpha) \cdot R}{K_{TM}}$$



(88a)



a)

b)

Рис 17 распределение доменов по зернам поликристаллического магнитно-мягкого материала (a) и б - доменная структура зерна

В

A

Углы насыщения

(все зерна превращены в углы насыщения с максимальной индукцией, совпадающей с внешним полем)

Углы перемагничивания, связанные с перемещением коротких фрикционных доменов и поворотом доменов.

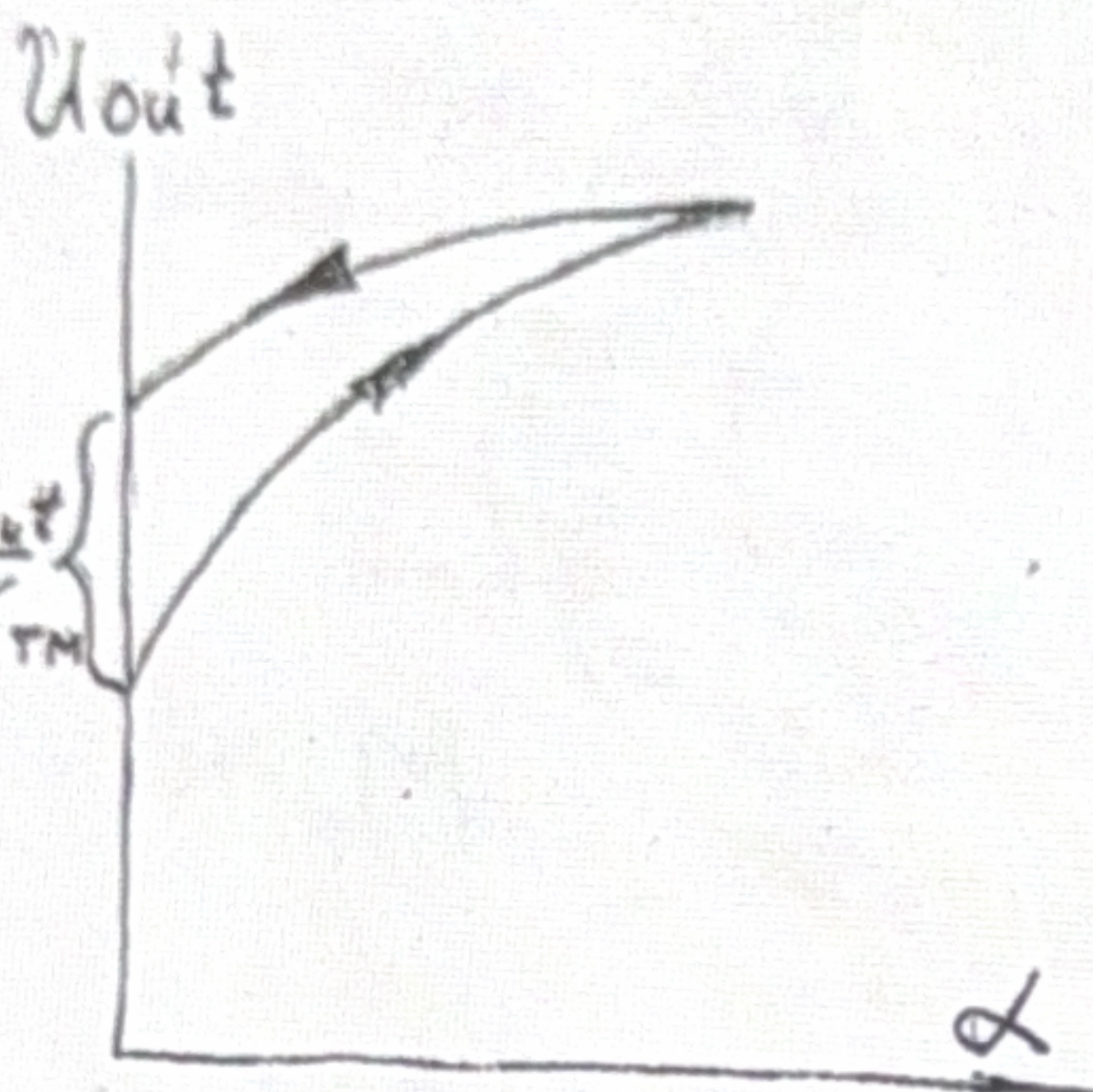
(Зерна с доменами, не совпадающими с направлением намагничивающего поля)

Углы перемагничивания, связанные с перемещением длинных

границ доменов в зернах, домены которых совпадают с направлением намагничивающего поля

Рис 18 Углы перемагничивания структура магнитно-мягкого материала

Hysteresis revolting moment M_H of magnetic bearing



$$M_H \approx M_{FR} \text{ of stoun bearing}$$

$$M_H(\text{direct magnetic flux}) = 4 M_H(\text{alternating magnetic flux})$$

Structure of supermalloy 79 Ni



after heat treatment



B of external flux

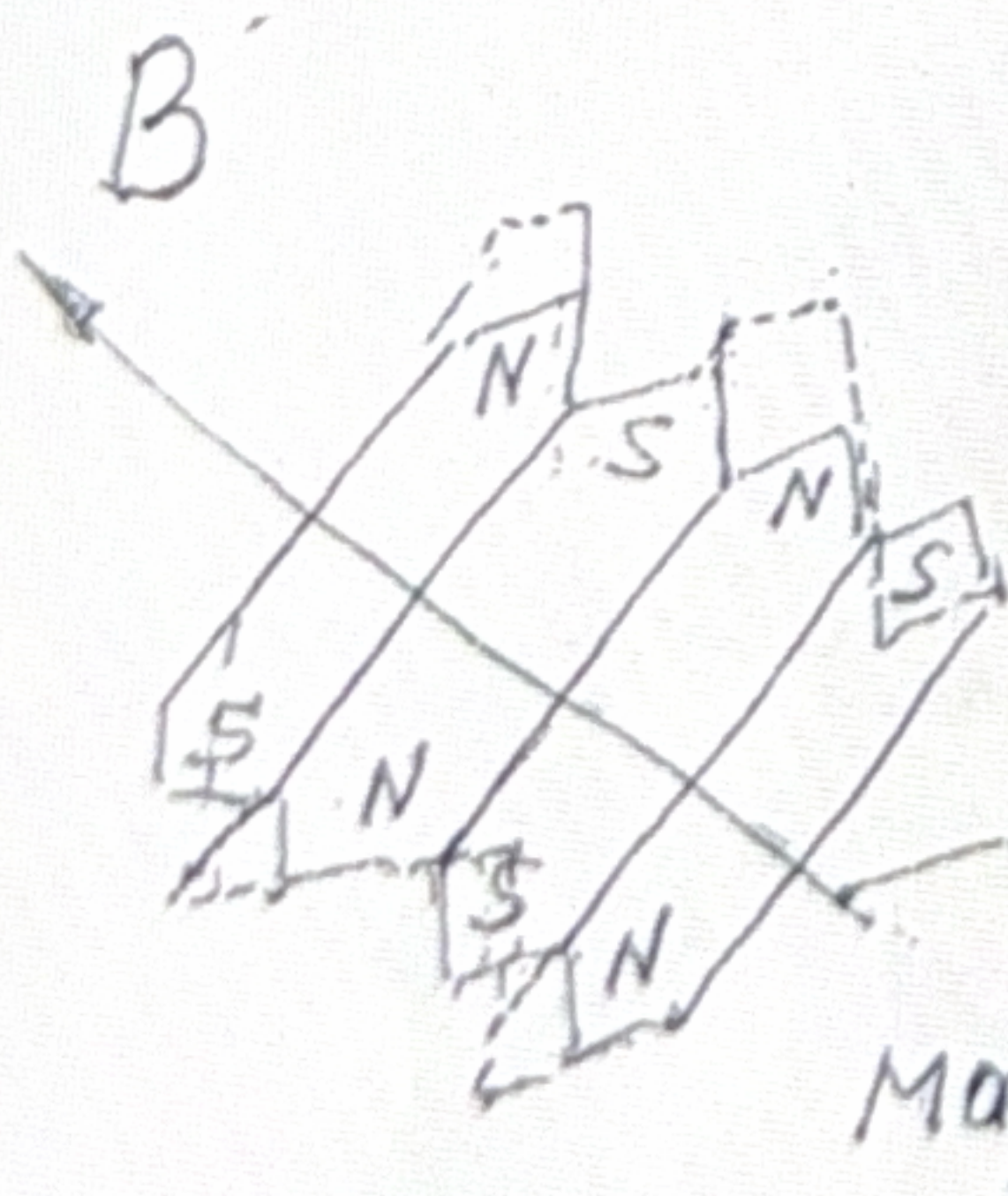
case 1

axes light magnetisation



after magnetisation
axes light magnetisation
don't change

case 2



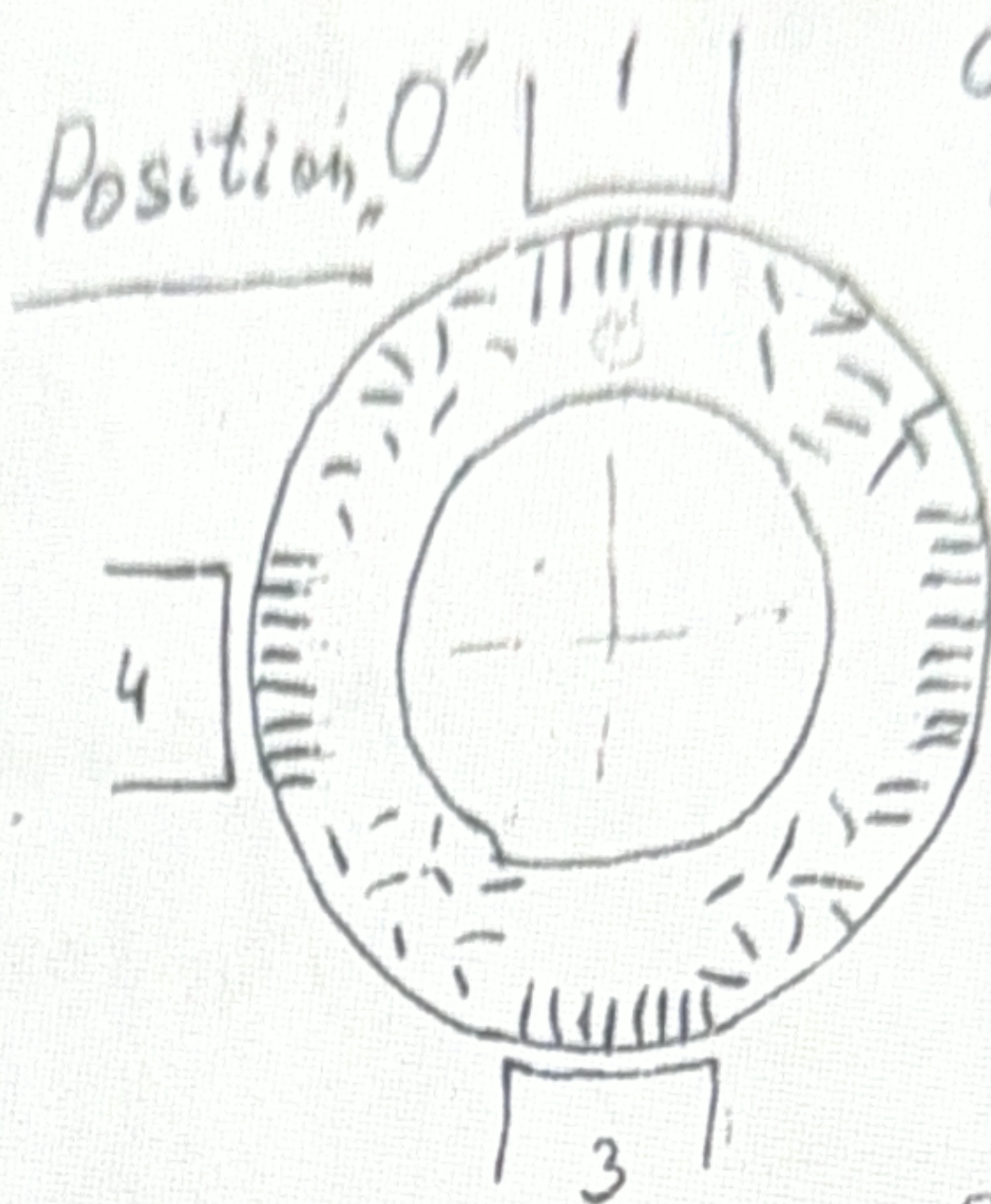
axes
hard
magnetization



after magnetisation
axes light
magnetisation
changed

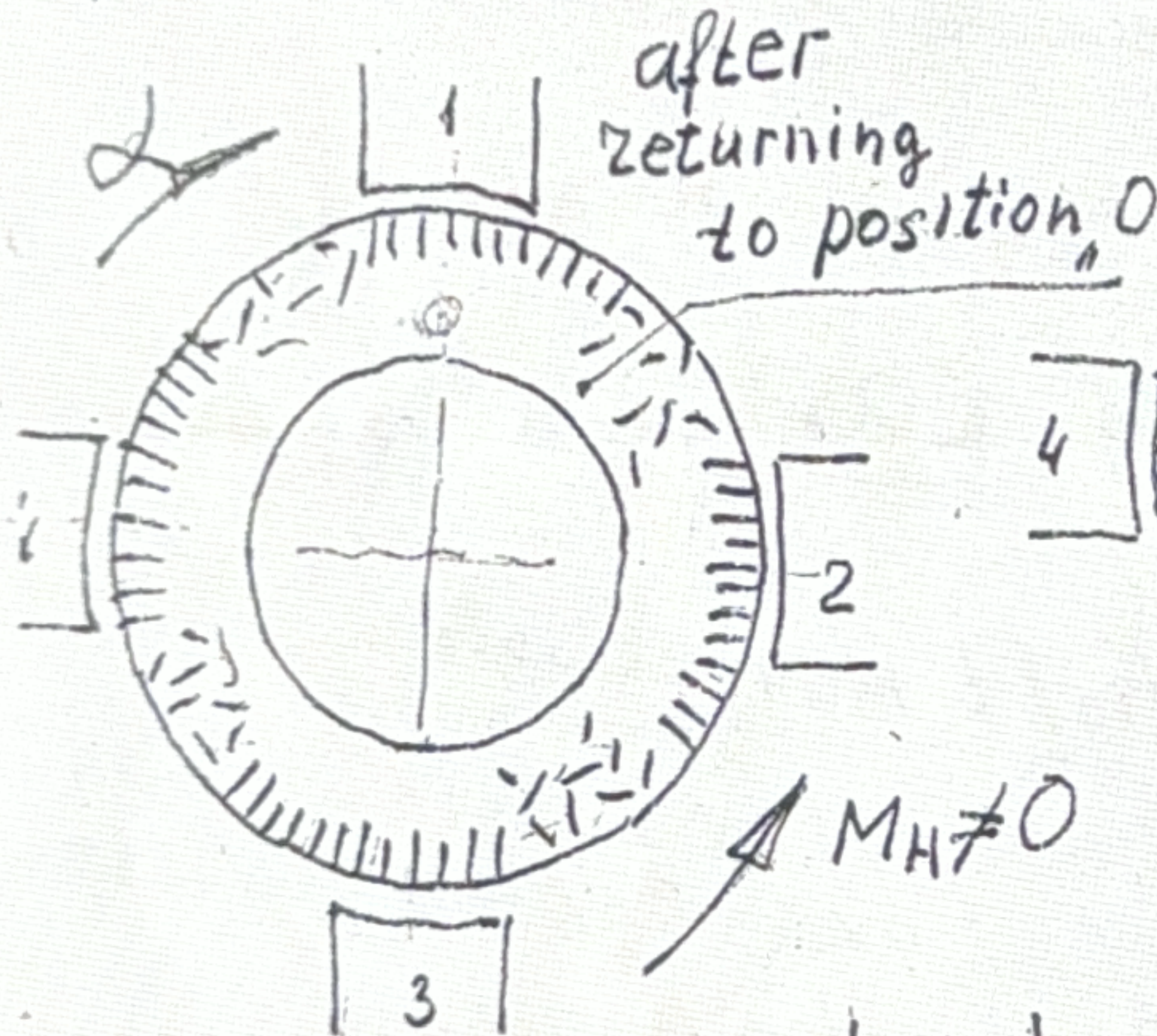


Structure of rotor after heat treatment



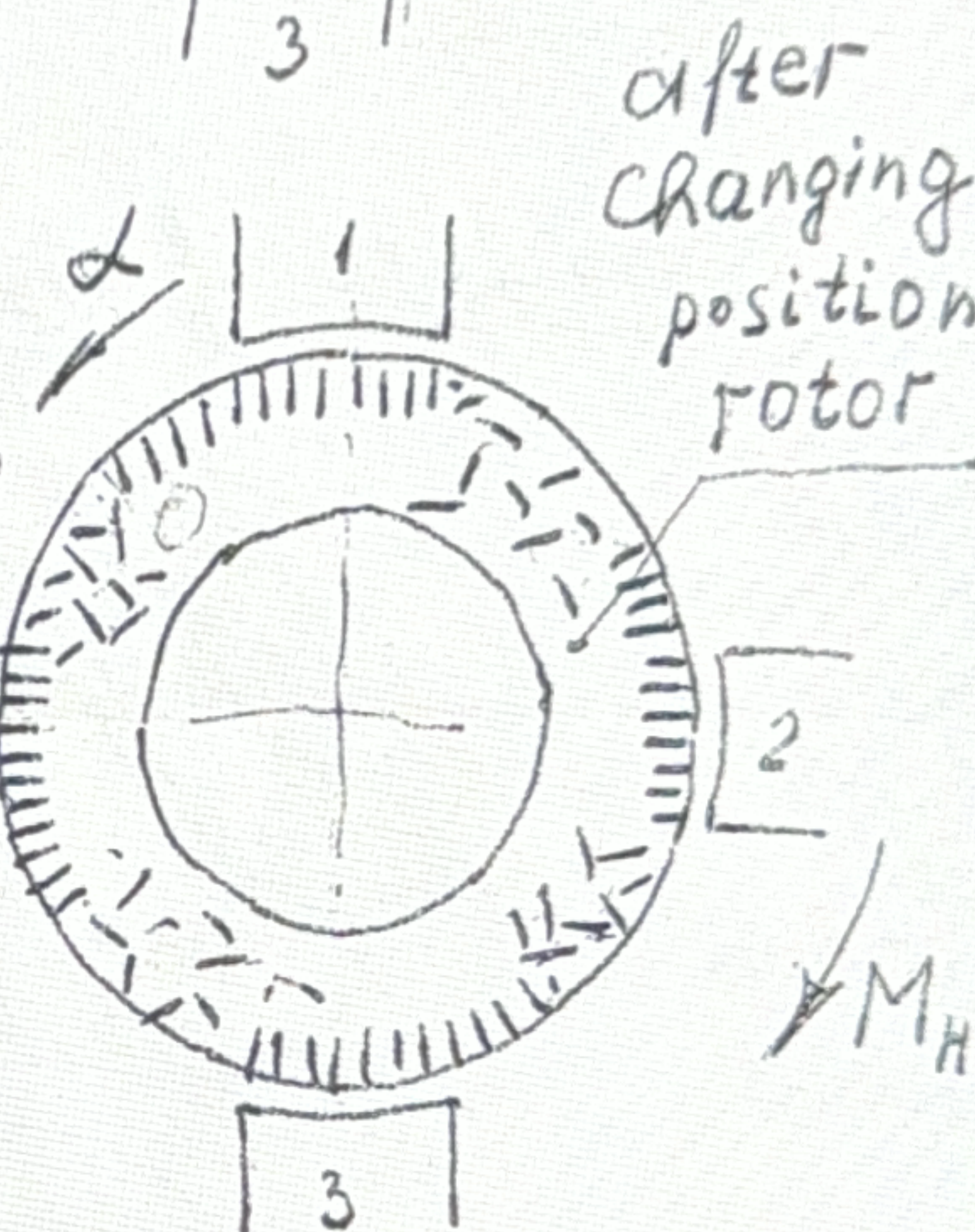
after magnetisation
flux of magnetic bearing

$$M_H = 0$$



after returning to position 0

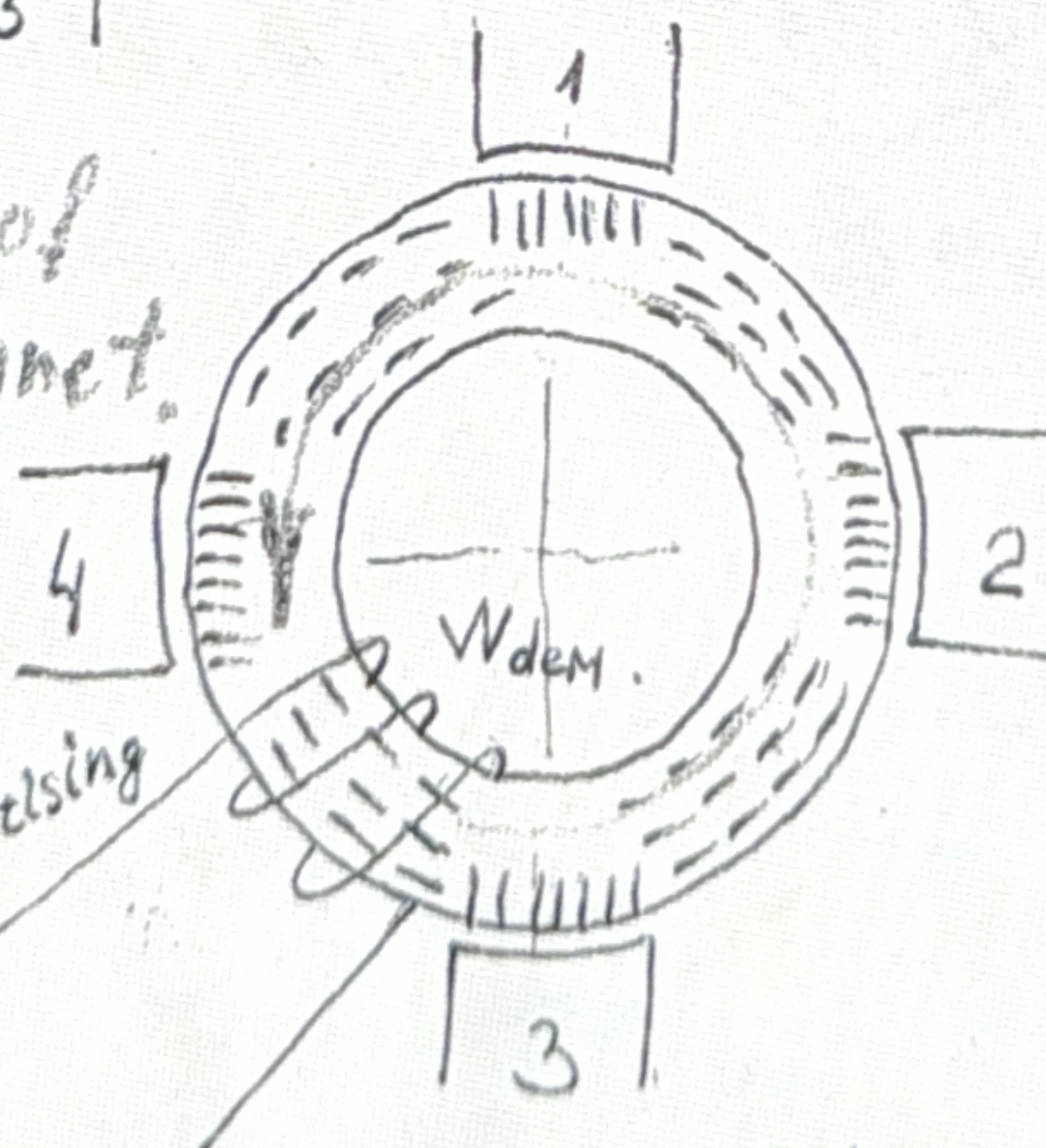
$$M_H \neq 0$$



after changing position rotor

$$M_H \neq 0$$

Flux of demagnet.



Magnetic bearing with demagnetising coil.

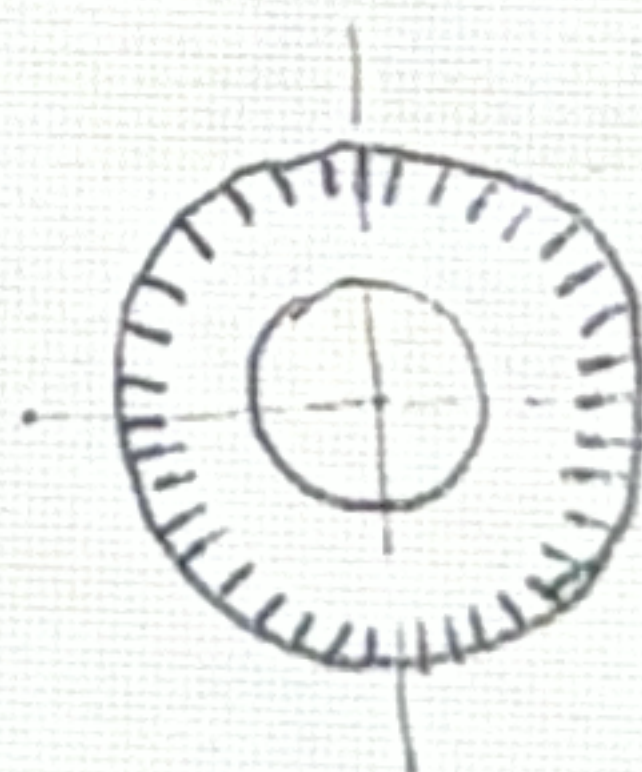
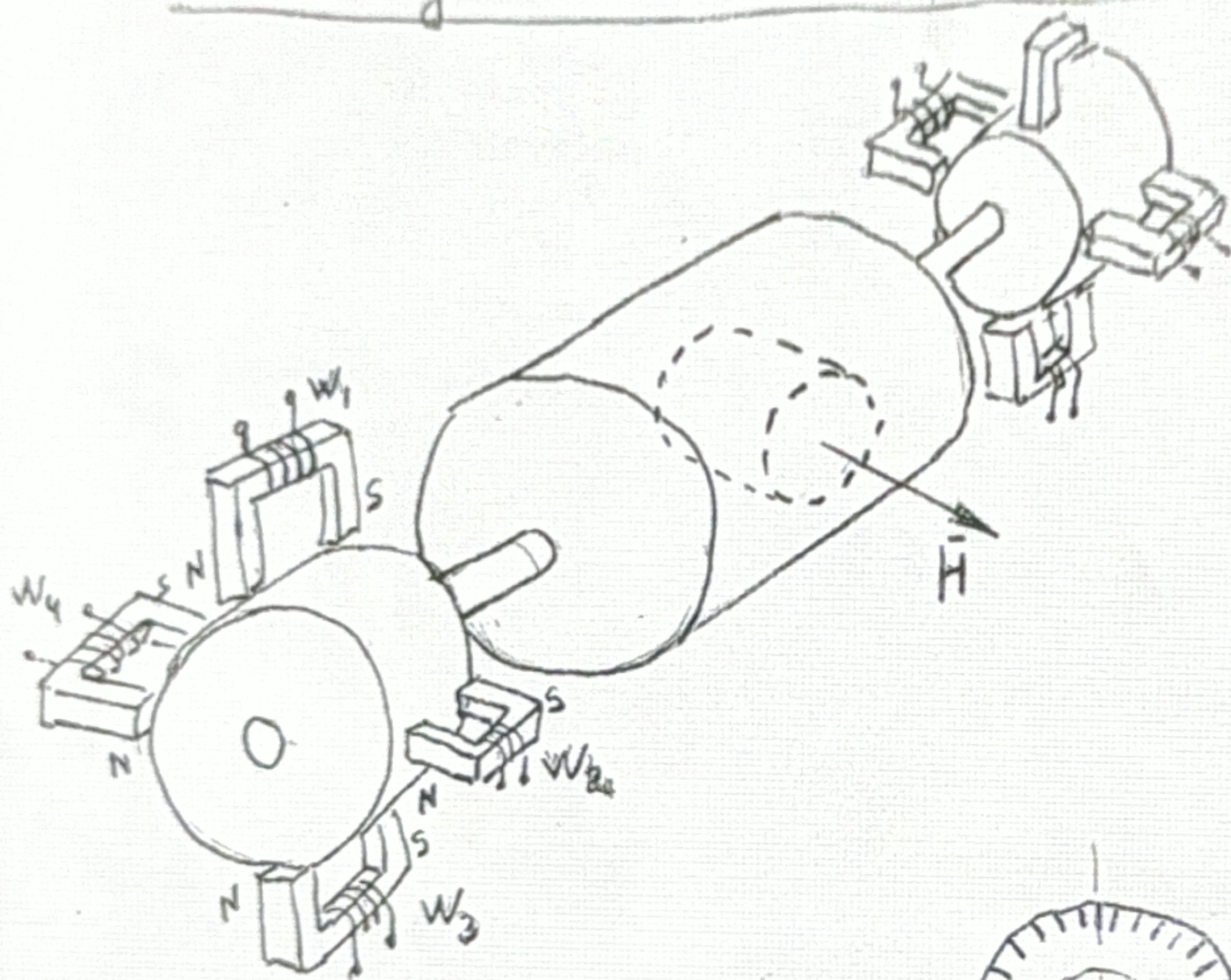
~ current of demagnetising

$$P_{dem} \rightarrow 0 \text{ Wt}$$

$$M_H = 0$$

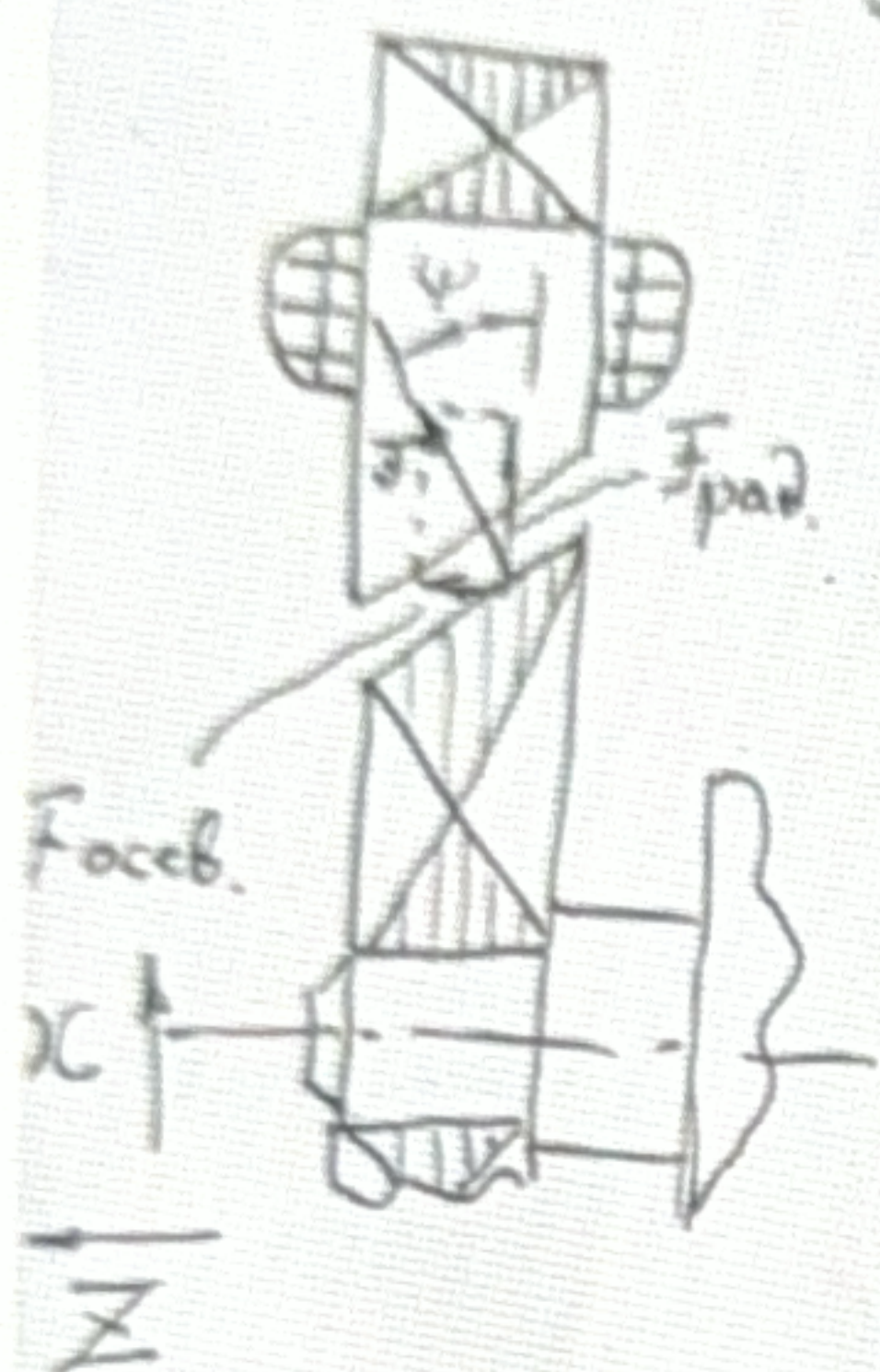
Construction of magnetic bearing without $M_{Hysteresis}$.

(11)



structure of
rotor
after
Magnetising
and rotation
on angle $\alpha = 360^\circ$

Конусный ротор магнитного подвеса.



$$F_{осев} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) \sin \psi.$$

$$F_{рад} = (F_1 - F_3) \cos \alpha \cdot \cos \psi + (F_2 - F_4) \sin \alpha \cdot \cos \psi$$

$$F_{рад} = \left(\frac{\omega u}{2 R_0} \right)^2 \frac{(Q-2)}{2 \mu_0 S^*} \cos \psi \cdot \underbrace{x \cos \psi}_{\text{изменение зазора}}$$

S^* - площадь Косого среза полюса.

$$F_{осев} = \left(\frac{\omega u}{2 R_0} \right)^2 \frac{(Q-2)}{\mu_0 S^*} \sin \psi \cdot z \sin \psi$$

при $x=z$ - одинаковые относительные изменения зазора $F_{рад} = F_{осев}$ при

$$\cos^2 \psi = 2 \sin \psi$$

Условие равновесности $\psi \approx 35^\circ$

$$x = \frac{\Delta_{рад}}{\delta_{0 \text{ рад.}}}$$

$$z = \frac{\Delta_{осев.}}{\delta_{0 \text{ осев.}}}$$