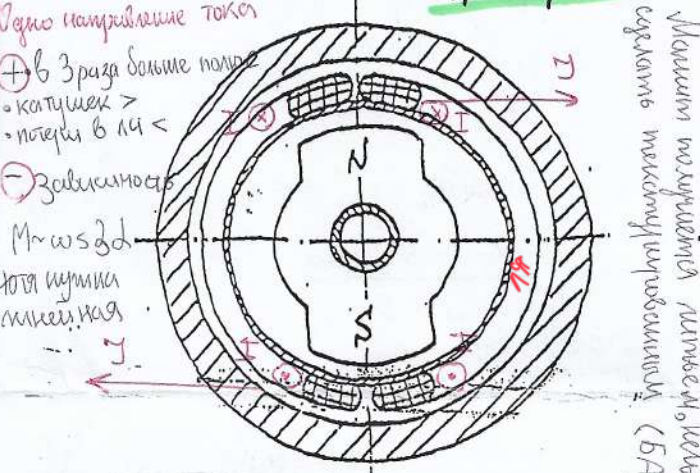


Датчик с двухполюсным магнитом

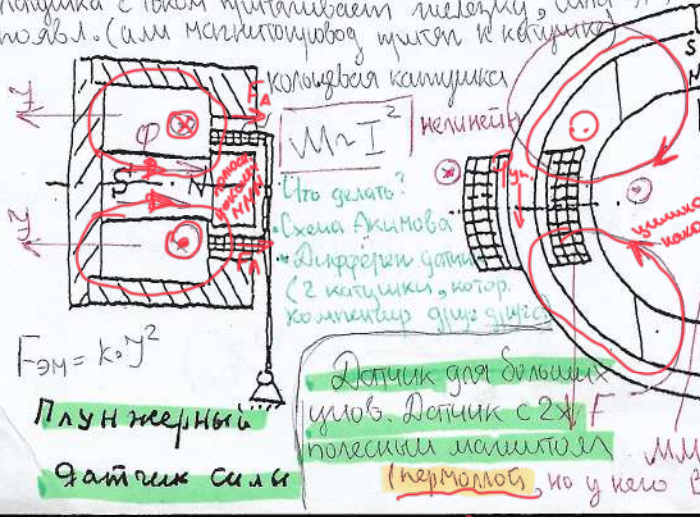
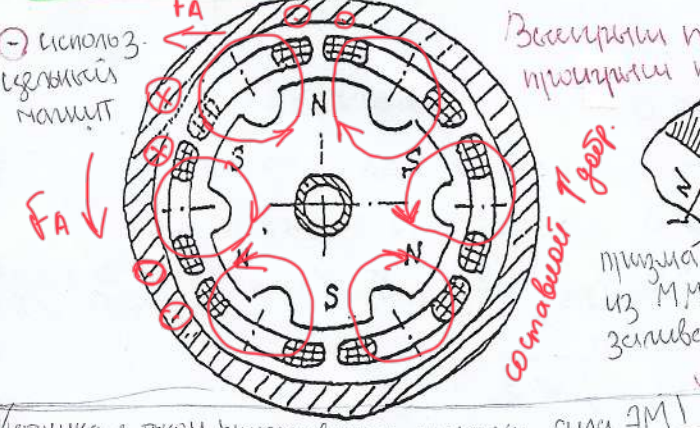


- МТМ: магнит - контак-БА-термо-мощность
- НММ: рамочки, вкладки - лагуны, карксы - бериллий
- обмотка: медь (% Fe), никель, Al

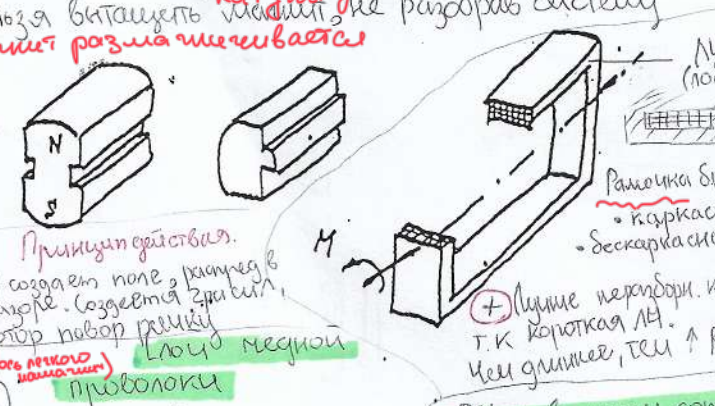
Датчик с двухполюсным магнитом (разборная конструкция)



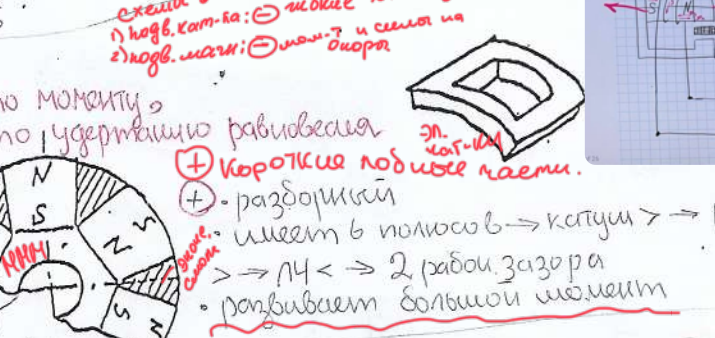
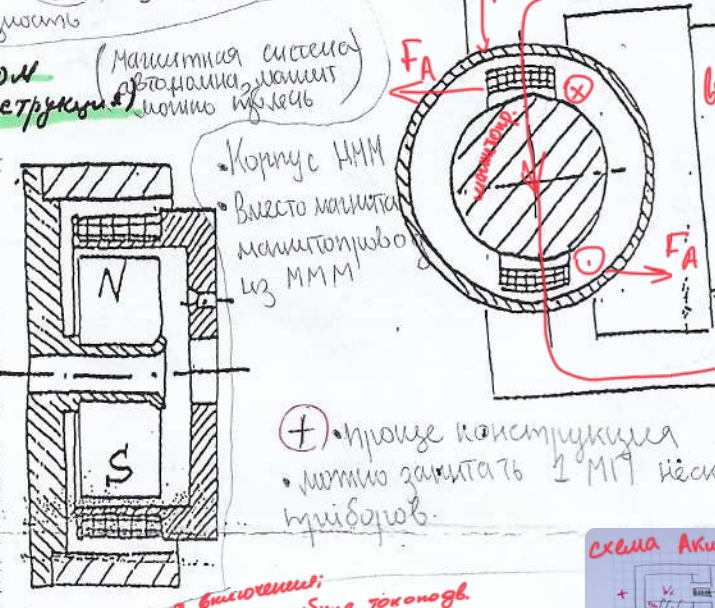
ДМ с 6-ю полюсным магнитом



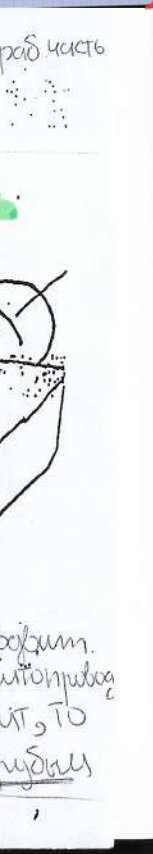
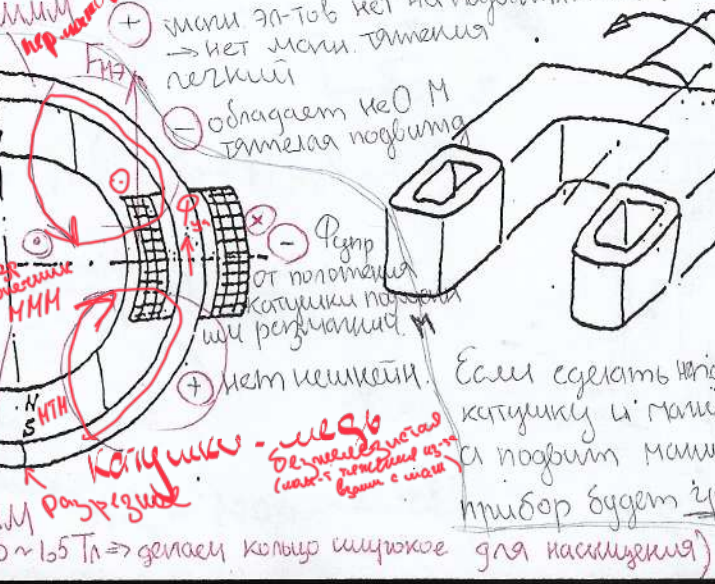
Магнитоэлектрические двухполюсные катушки

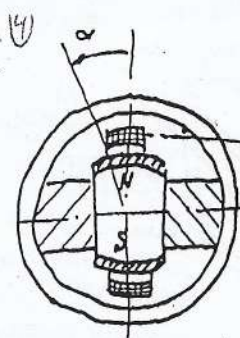


- 1 - медь
- 2 - твердая изоляция
- 3 - клей



ДМ с подвижной катушкой

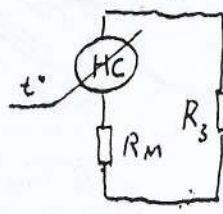




индукция магнита в зазоре. **Ошибки магнитодатчиков момента** (схема накладки ММ)
 сдвигающейся плоской рамки
 число положений катушки
 ток катушки
 диф. датчик ММ не работает по логике

$$M = B I w 2 z_p l_p = B I w S_a; \quad B = B(\alpha; I; t; t^0) \quad (1)$$

кол-во витков
 длина катушки
 сред. R катушки



$$B = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{HC_0 (1 - \beta \Delta t^0)}{S_0 (R_M + R_3)}$$

плотность зазора

$$= B_0 (1 - \beta \Delta t^0)$$

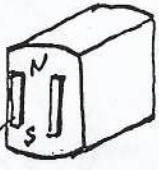
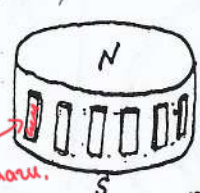
темпер. коэф. индукции

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

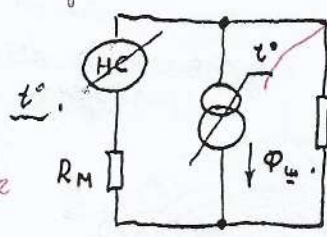
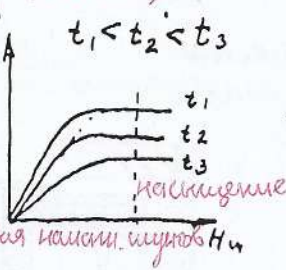
нужно меньше

- 1) материал (может быть неоднороден)
- 2) I (разматывание и намотка Φ) делают обратную связь
- 3) t
 доводят до накаливания
 плохие элементы уходят
 стабильность выше.

1. Термощунты В зависимости от t^0 ($t^0 \downarrow, B \uparrow$)
 (из ММ) (~ 30-40 мТ) они почти I магнита



термопара (материал)
 каломатериал



основной
 $B \downarrow, t \uparrow$
 точность ступенчат.

$$HC = (\Phi + \Phi_{ш}) R_M + \Phi R_3;$$

$$\Phi = \frac{HC - \Phi_{ш} \cdot R_M}{R_M + R_3}$$

сопротивл. зазора
 сопр. магнита

$$HC = HC_0 (1 - \beta \Delta t^0); \quad \Phi_{ш} = B_{ш} \cdot n \cdot S_{ш} (1 - \beta_{ш} \Delta t^0)$$

$$B = \frac{HC_0 (1 - \beta \Delta t^0) - B_{ш} n R_M S_{ш} (1 - \beta_{ш} \Delta t^0)}{(R_M + R_3) S_3} = B_0 \left\{ \left[1 - \frac{B_{ш} n R_M S_{ш}}{B_0 (R_M + R_3) S_3} \right] - \left[\beta - \beta_{ш} \frac{B_{ш} n R_M S_{ш}}{B_0 (R_M + R_3) S_3} \right] \Delta t^0 \right\}$$

Напряженность M с t^0 становится $>$, $I_{гм} <$ обмотки ДМ из
 меди, обмотки $\uparrow R$. При протекании тока, $U_{AB} \downarrow$
 появляется $I_{ш}$ при $\uparrow t^0$ обмотки. Ток \approx с $I_{обш}$

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

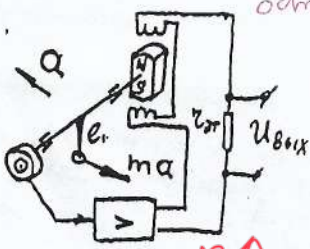
нужно подобрать R, чтобы $I_{обш}$ не зависел от t^0

$\gamma_1 < 0$ - недокомпенсация

$\gamma_1 = 0$ - полная компенсация

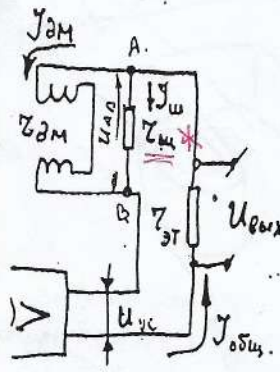
$\gamma_1 > 0$ - перекомпенсация
 нужно убрать
 порции шунда

$$\gamma_1 > 0$$



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

нужно уменьшить
 тем. по \Rightarrow неравенство.



$$U_{AB} = I_{гм} \cdot Z_{гм} (1 + \alpha_{гм} \Delta t^0); \quad I_{ш} = \frac{U_{AB}}{Z_{ш}}, \quad I_{обш} = I_{гм} + I_{ш} =$$

$$= I_{гм} \left(1 + \frac{Z_{гм0}}{Z_{ш}} \right) \left[1 + \frac{Z_{гм0}/Z_{ш}}{1 + Z_{гм0}/Z_{ш}} \alpha_{гм} \Delta t^0 \right] = \frac{m l a (1 + Z_{гм0}/Z_{ш})}{B_0' (1 + \gamma_1 \Delta t^0) w S_a} (1 + \gamma_2 \Delta t^0)$$

$$\gamma_1 = \gamma_2; \quad U_{вых} = I_{обш} \cdot Z_{эт} = \frac{m l a z_{эт}}{B_0' w S_a} \left(1 + \frac{Z_{гм0}}{Z_{ш}} \right)$$

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

$$\frac{Z_{гм0}/Z_{ш}}{1 + Z_{гм0}/Z_{ш}} \cdot 0,004 = 2 \cdot 10^{-4} \rightarrow Z_{ш} \sim 20 Z_{гм0}$$

нужно \uparrow
 комп. \uparrow
 катушки ДМ.

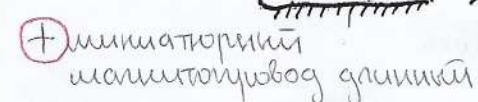
сопр. медной катушки. $\uparrow t^0$, $\uparrow R$, $\uparrow I_{обш}$

1405

44



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

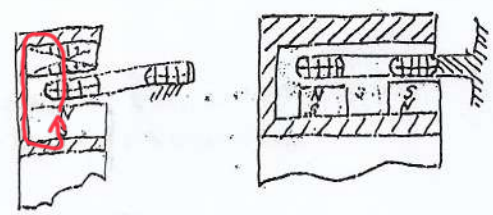
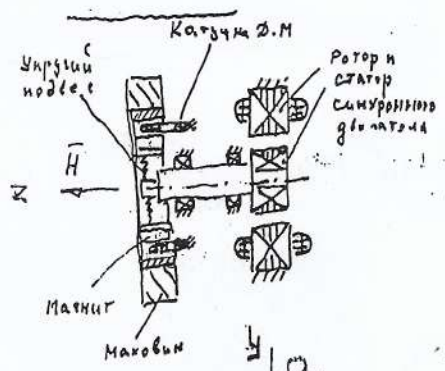


МЭД со стесненным
Магнитным полем

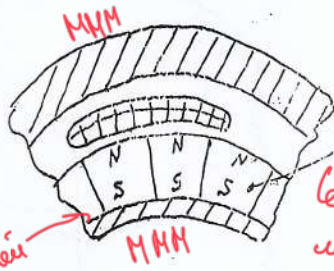
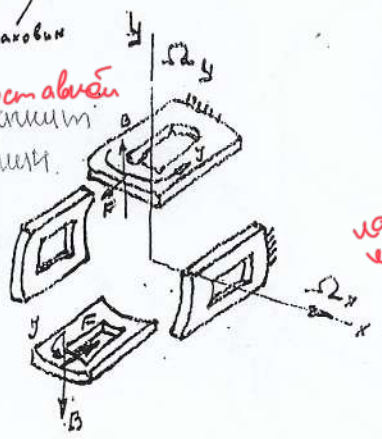
— Большая лобовая часть
укорачивает 2 магнита

ДМ ДНГ

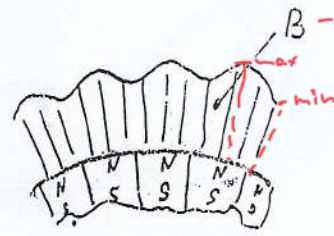
- ДМ, который обеспечивает 2 момента
- катушки строю под 90° (иначе момент не только отклонит вертикальной осью, но и проекцией отклонит горизонт осей)



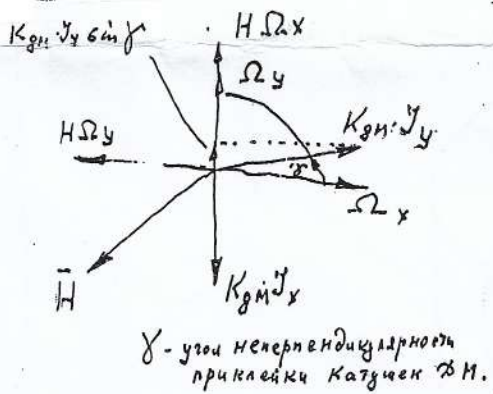
Использованы кольцевой магнит с радиальной намагниченностью.
SmCo5 (измельчить)
в целост.



сегменты магнитов из SmCo5
большинство мест чашечки. нарез. стр. др. тисстурирован.



В-целост.
Кольца Статора вращаются => перемагничивают => все ипр.



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

ДНГ использ для измерения Ω_y и Ω_x

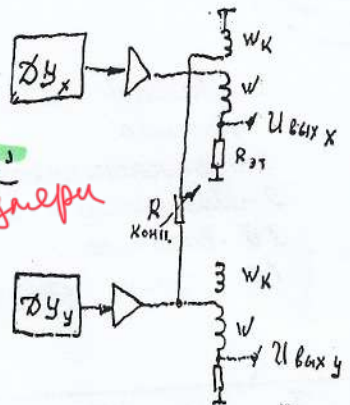
$$H \Omega_y = K_{gm} I_y \cos \gamma$$

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

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

ошибка!

Компенсация
не перпендикулярности

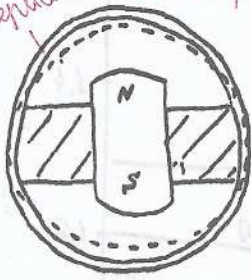


Из-за ошибки мы не можем обеспечить точное измерение Ω .
Как бороться? Выполняя ДМ с двойной обмоткой, будет создаваться компенсация $K_{gm} I_y \sin \gamma$.
Берём сигнал управления, который содержит I_y заводим ток в катушку, которая создаёт момент

Ток заводим через R , которое подбираем, пока не проявится логичного сигнала y (по оси x) или
Эти обмотки служат для устранения влияния катушек

2. Изменение зазора

периметр (кольцо)



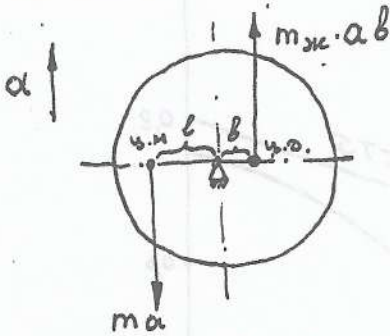
При $\uparrow \pm 0$ $\Phi \downarrow$, но т.к. сам зазор \downarrow , то $B = \text{const}$ (восстанавливает значение индукции)
 алюминевый вкладыш расширяет
 кольцо
 уменьш. зазор
 рабочий зазор



инвар (маленький температур. коэф)
 периметр
 точные детали
 черном металле

При нагревании вкладыш расширяется \rightarrow кольцо сжимается в верт. положении
 требуется посадка
 много считать

3. Смещение центра давления



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

масса жидкости

Смещение компенсирует изменение индукции.

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

момент инерции
 коэффициент
 потеря магнит. индукции при \pm ток

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

(не зависит от t°)

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

$m = m_{то}$ - делают специально, чтобы не впадала и не точила
 $J_{потребл} = J_{гм}$

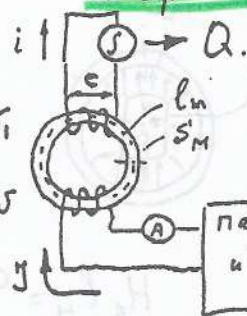
перекос $n \Rightarrow$ индуктор.

Расчет магнитной индукции.

Аналогия:

ток $J \rightarrow \Phi [В\delta]$
 плотность тока $J_s \rightarrow B [Тл]$ плотность МПотока w
 элект. сопротивление $R \rightarrow R_m [1/Гм]$ магн. сопротивление
 элект. проводимость $1/R \rightarrow G [Гм]$ проводимость
 удельное сопротивление $\rho \rightarrow$ магнитная
 удельная проводимость $1/\rho \rightarrow \mu [Гм]$ проницаемость
 ЭДС $\mathcal{E} \rightarrow J \mathcal{E} [А]$ намагн. сила
 $H \ell_m [А]$ длина магнита
 намагничивающая сила $\Phi R_m [А]$ длина проводимости
 намагничивающая МП $U = J \cdot R$

Характеристики магнитов твердых материалов.

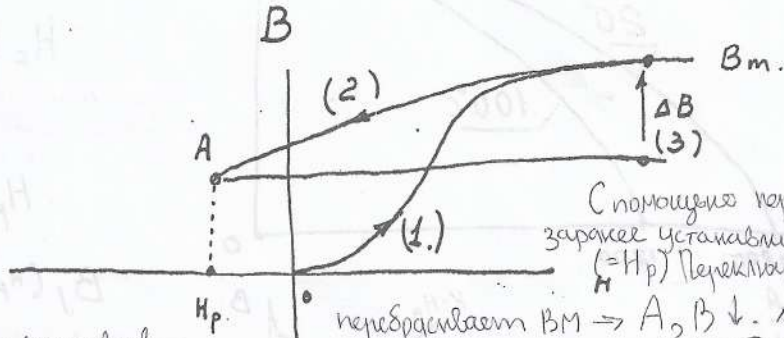


$$\mathcal{E} = - \frac{d\psi}{dt} = - w_1 \frac{d\Phi}{dt} = w_1 S_m \frac{dB}{dt}$$

изменение потока; магн. индукция

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

заряд; постоянная



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

перебрасывает $B_m \rightarrow A$, $B \downarrow$, а B приводит к появлению потока, который в магните

② магнит в намагничен, переключатель переставляем для другого перемагнич. тока, в результате кривая размагничивания

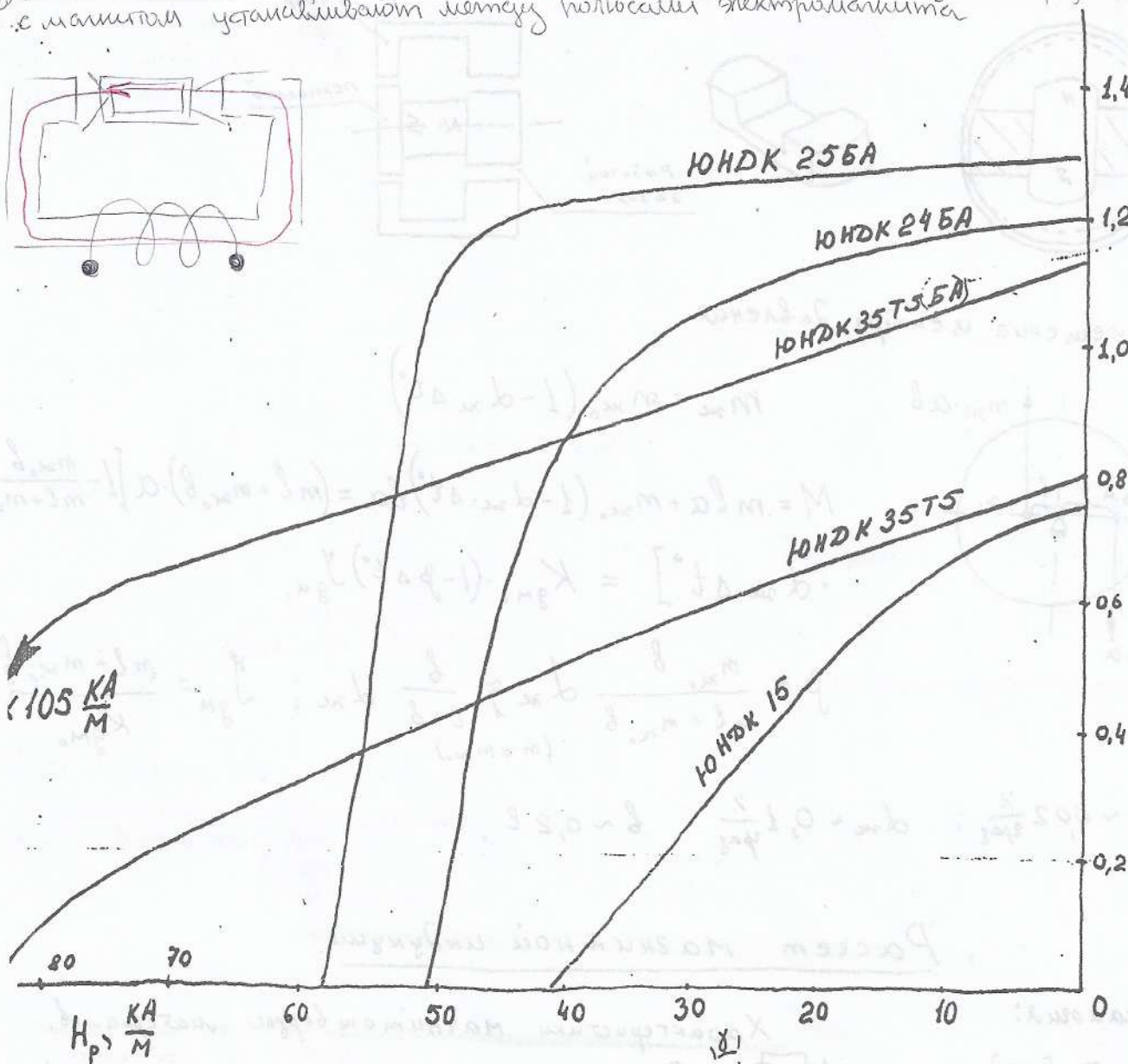
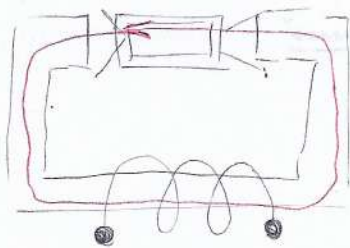
① В первичной обмотке формиру. I . Включая устанавлив ток, который создает большое МП, доходит до намагничен.

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

корректировка сила

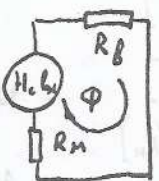
Методы намагничивания магнита:

① намагничивание в арматуре - магнит вставляют в магнитопровод, весь корпус В, Тл
с магнитом устанавливают между полюсами электромагнита

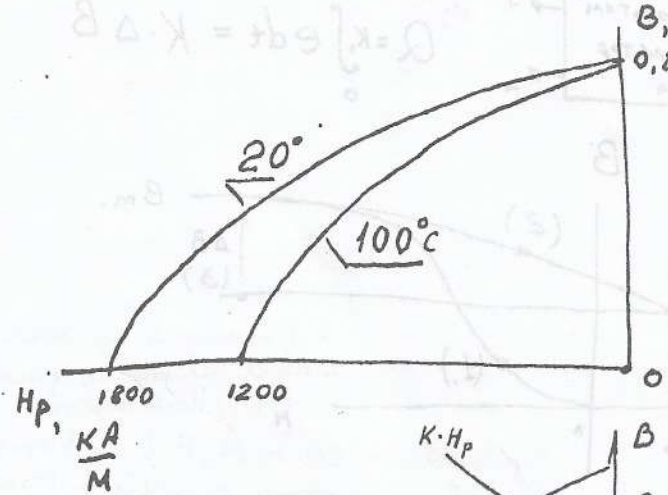


Вк - ширина катушки
β - угол отклонения катушки от ср. положения
 $S_m \cos \beta$

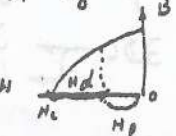
$S_m \cdot B_d; H_d$



Случай
намагничивания
в арматуре.



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



$H_c \ell_m = \Phi \cdot R_m + \Phi R_\delta$ сопротивл. воздушн. зазора

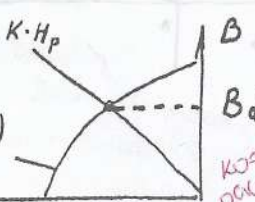
$H_c \ell_m = H_d \cdot \ell_m + B_d \cdot S_m \cdot R_\delta$

$H_p \ell_m = B_d \cdot S_m \cdot R_\delta$ коэф. размагни

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

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

Вз - полная магнитопровод. В(H_p)
В_0 - магнитопровод. без зазора

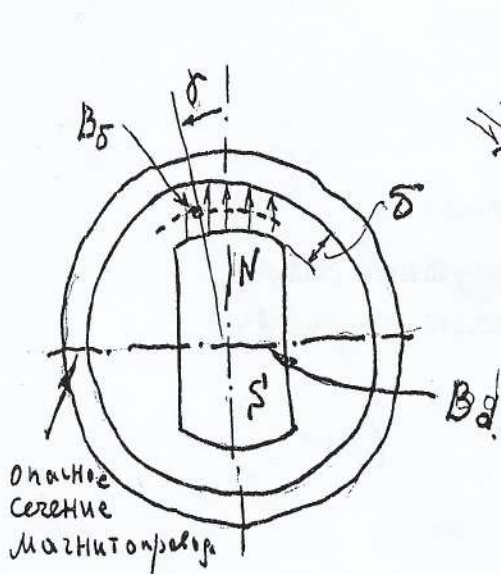


$K_p = \frac{G_1}{G_0}$

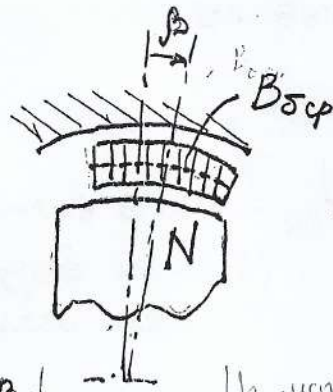
ср. индукция, выходящая из сечения катушки

Метод возмущенных путей магнит потока

① нарушаем распределение магнитного потока в магнитопроводе



Опачное сечение магнитопровода



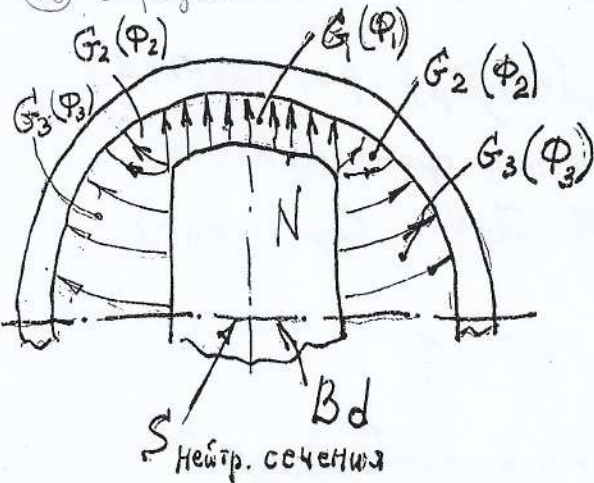
$$B_{\delta \text{ ср расч}} = 0,9 B_{\delta \text{ ср}}$$

размагничивание 10%

Из магнитного материала вырабатывается магнитопровод.



② определяем магнитные проводимости каждого участка. Разбиваем δ на δ_1, δ_2

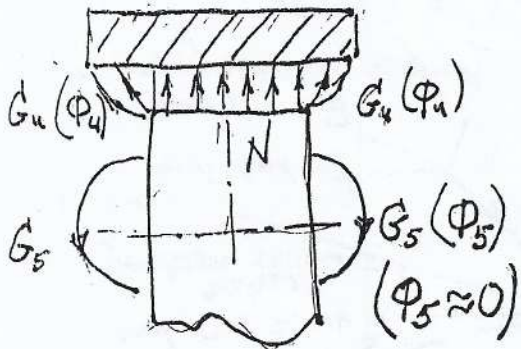


$$B_d = \frac{\Phi_1 + 2\Phi_2 + 2\Phi_3 + 2\Phi_4}{S_{\text{нейтр. сечения}}}$$

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

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

Считают эти трубки независимыми, рассчитывая потоки



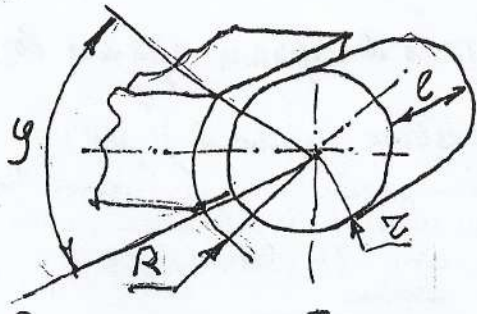
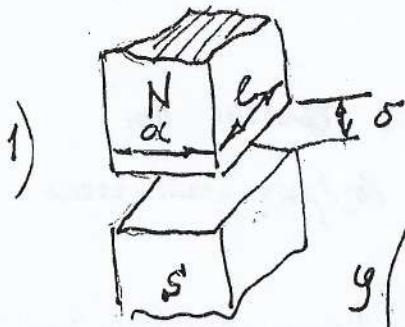
$$K_{\text{расч}} = \frac{l_m}{S_m \cdot R_e} = \frac{l_m}{S_m} G_{\delta}$$

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

Метод возмущенных путей потока

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

$$G_M \approx \mu_0 \frac{\alpha l}{\delta} \quad \left(\text{если } \frac{\delta}{\alpha} \text{ и } \frac{\delta}{l} < 0,04 \right) \quad \text{точность } 10\%$$

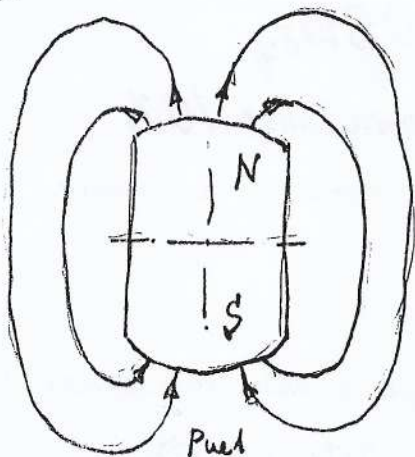


$$G_M = \mu_0 l \frac{\alpha}{l_n \frac{R}{2}}$$

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) Расчеты магнит без арматуры, рисуются магнитный поток (по кривой размагни)



G_M - малая величина
(большой воздушный зазор,
нет магнитопровода)

$$K_{разм1} = \frac{\ell_M}{S_M} G_M \quad (\text{рис.2})$$

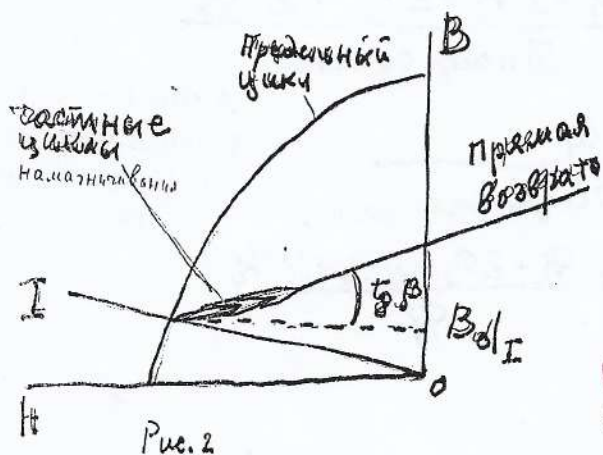
коэф. размагничивания

- 2) Установка магнита в магнитопровод

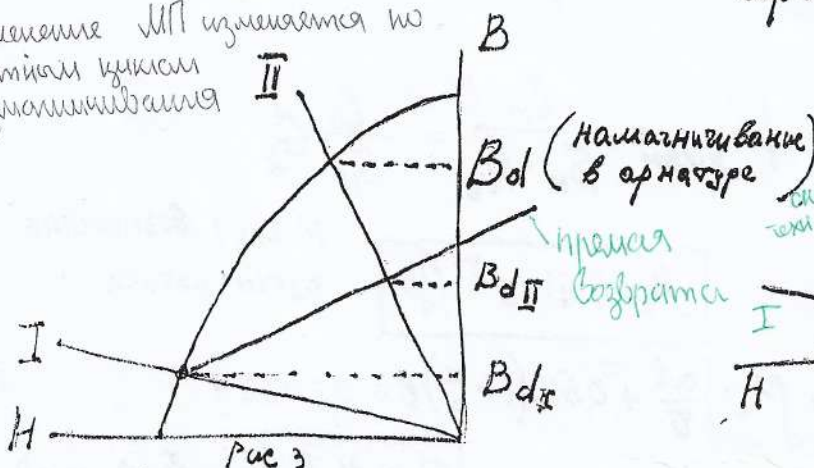
$\mu_r B = \mu_r (или \mu_r) -$ реверсивная
магнитная проницаемость
(Ю.М. Латын, Справочник)

$$K_{разм2} = \frac{\ell_M}{S_M} = G_M$$

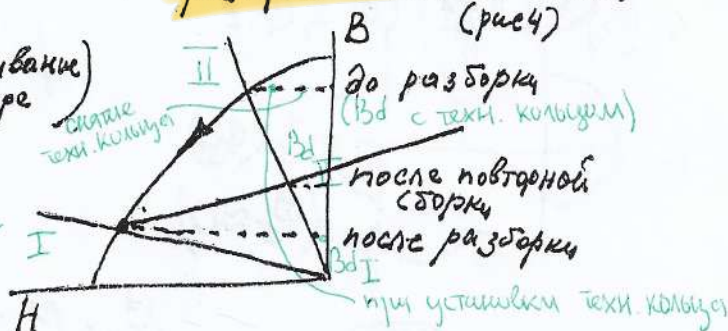
G_M - проводимость воздушного зазора в ДМ
 G_M - из варианта намагничивания в
арматуре (рис.3)



Изменение МП изменяется по частотам циклов размагничивания



разборка магнитной системы (рис.4)

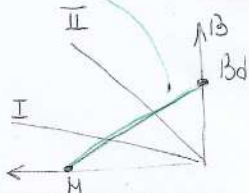


Магнит из $S_M Co_5$ можно намагничивать отдельно от

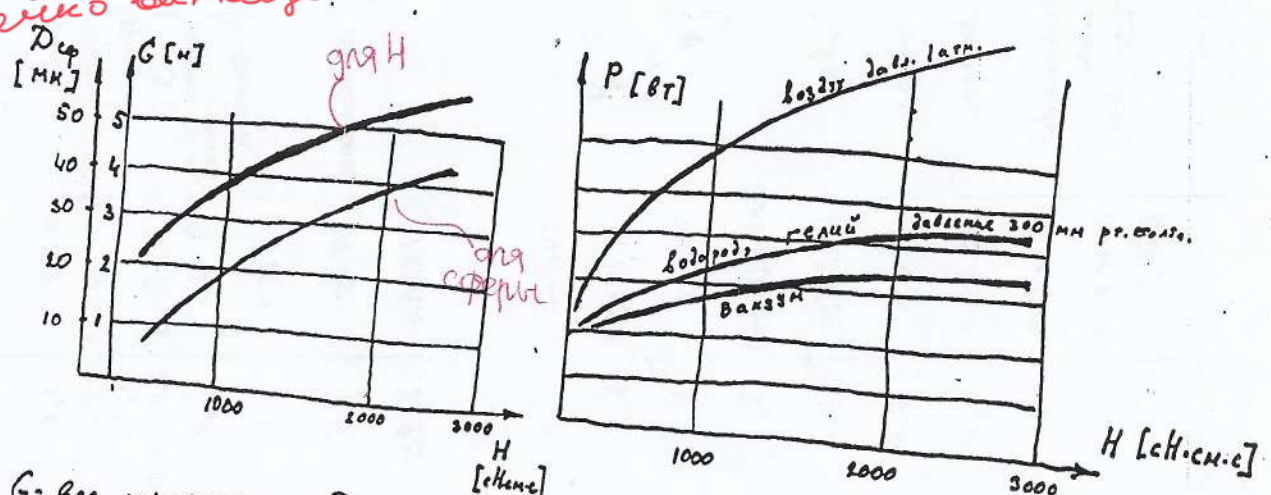
арматуры (для этого материала прямая возврата практически

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 упирается, т.к. через скелет, 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, подвеска ротора на шарикоподшипниках. Напряг рассчитан на перегрузку ~10...20

Таблица добротностей и весов указанных гироскопов.

H с/ч·см·с	200	400	500	1000	2000	4000	6000	10000	25000
D см·с	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

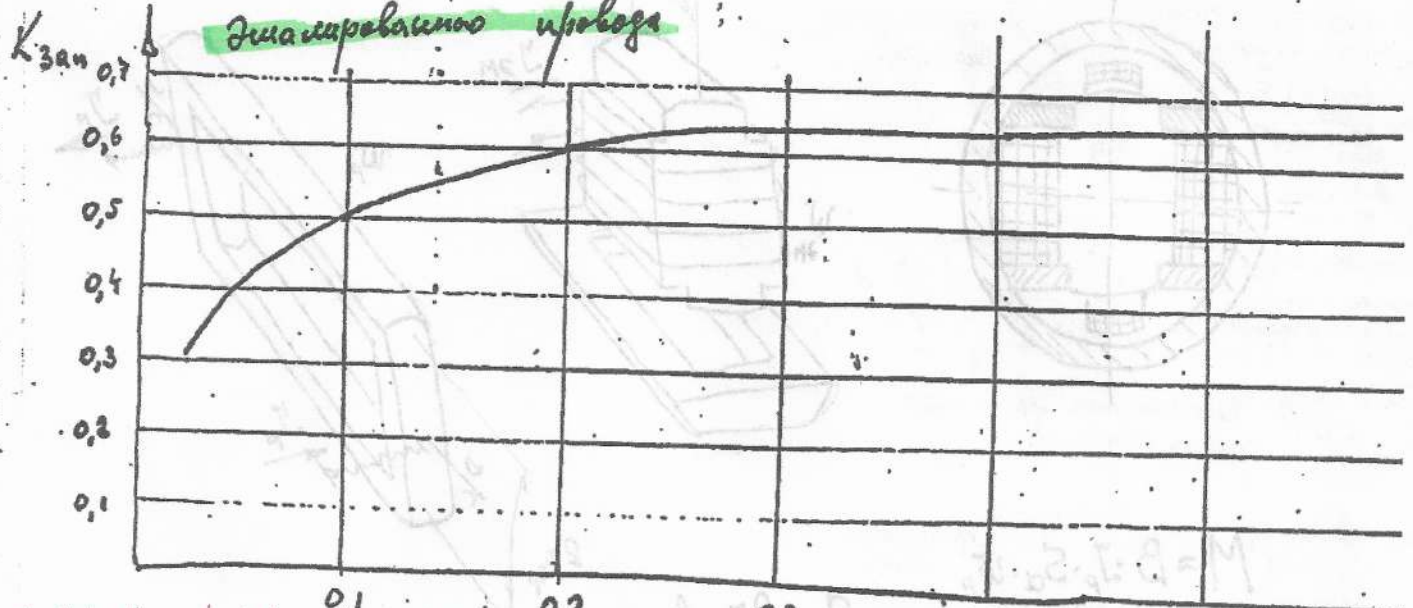
Наименование	Предел текуч. $\sigma_{тек} \cdot 10^{-3} \left[\frac{H}{cm^2} \right]$	Твердость по Кнуппу $[H/mm^2]$	Модуль Юнга $[H/cm^2] \cdot 10^{-7}$	Плотность $[г/см^3]$	Темперостойкость $\left[\frac{Вт}{см^2 \cdot град} \right] \lambda$	Коэф. линейного расширения $K_{расшир} \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{град} \right]$
Корунд	154	21000	5,3	4,0	0,5	5,4
Алмаз	530	70000	10,35	3,5	20	1,0
Кварц кварц. (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 $\sigma_B \cdot 10^{-3} [H/cm²]$	Предел текучести $\sigma_T \cdot 10^{-3} [H/cm²]$	Коэффициент Андреаса, Темп. растяжения $K_{раст} \cdot 10^{-6} [1/град]$	Температура $T [C/cm \cdot град]$	Коэффициент Рунге $E \cdot 10^{-4} [H/cm²]$	Коэффициент Пондегонг ν	Материал	Особенности	Примечания
Нашиль Беруши + S! пороч. д. 5 + М. Сидель	МН-8 АКП-1 В-95	1,8 + 2,6...2,65 + 2,8	12 - 57 + + 60	3,5 - 28 + + 55	2,6 - 11,0 + + 12...13 + + 23,2 +	0,37 1,46 1,17 +	0,455 2,9 0,74	0,04 - 0,33	НЕТ НЕМ НЕТ НЕМ	уд.д. уд.д. уд.д. уд.д.	Огнезащитная Антивоспламеняющаяся
Трубопровод	ВТ-5	4,5	45-95	40-85	8	0,075	1,04	0,33	НЕМ	норм.	Стерильность
18НХВН		4,95	130	90	14,5	0,238	2,04	0,3	ДН	Хор.	
4Х13		4,68	114	91	12,6	0,276	2,0	0,3	ДН	Хор	
4Х15		4,4	68	40	14	0,4	2,1	0,3	ДН	уд.д.	
1Х18Н9Т		4,9	58	24	16,6	0,13	2,0	0,3	Судба	Плох.	
ЭИ395		8,1	88	50	15,1	0,1	2,1	0,3	НЕМ	Плох.	
ЭИ400(35мм)		4,8	125	90	13-16	0,135	2,0	0,3	НЕМ	Плох.	
Ковар	Н29К18	8,2	51	40	4,5-5,5	0,192	1,48		ДН	Хор.	
Умбар.	Н 36	8,1	50	35	1,1	0,109	1,51	0,3	ДН	уд.д.	
Ламин	ДС-59-1	8,5	65	45	2,1	1,05	0,9-1,05		НЕМ	ДМН.	
Восстановитель	ВНМ-5-3	14	64	60 +	5,6 +	1,0	0,33		НЕМ	норм.	Получен из отходов
Сидель	ВНМ-7-3	14	70	65 +	5,3	0,88	0,34		ДН	Плох.	
АКП-1	ВНМ	2,61-2,65			12-13				НЕТ	Плох.	

Коэффициент заимки для цилиндрического

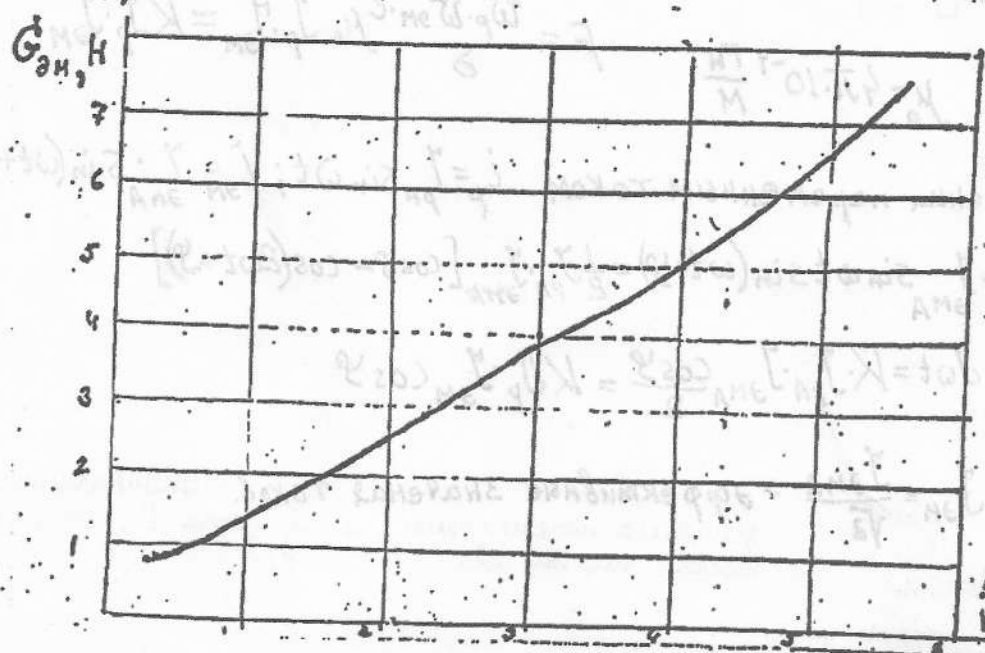
диаметра провода



$M = B \omega S \alpha J$: $d \uparrow$ 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 не изменится
 $P = I^2 R = const \rightarrow I^2 \downarrow$ в 16 раз $\rightarrow I \downarrow$ в 4 раза : $M = B \omega S \alpha J$ $J \downarrow$ в 4 раза, $S \uparrow$ в 4 раза, $\omega \uparrow$ в 4 раза, $\alpha \uparrow$ в 4 раза, $R \downarrow$ в 4 раза, $I \downarrow$ в 4 раза, J не изменится

Сопоставление значений 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
 Оптимизация дачки
 мощности с
 двух полюсами малой
 и при мощностной раи
 Модули малой
 ЮФК-24

$\frac{M}{\Gamma_p}, \frac{H_{ав}}{\Gamma_{в}}$

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. момент в катушке ЭДС ~ повороту рамы

Свойности:

могут работать на const и ~ токе

⊕ стабильность во времени

⊖ есть мед. момент, связанный с токами возмущения при $I = const$

* может быть ДУ и ДМ (и оба)

Катушка стабилизатор тока для создания постоянн. М. потока

Сердечник-сталь Пермаллой

Катушка для создания больших моментов

ток в рамке

приводная катушка

индукция в зазоре

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

площадь зазора

длина сердечника

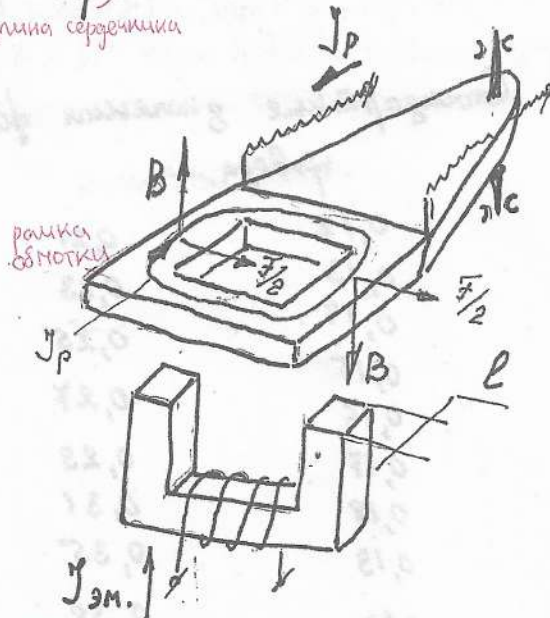
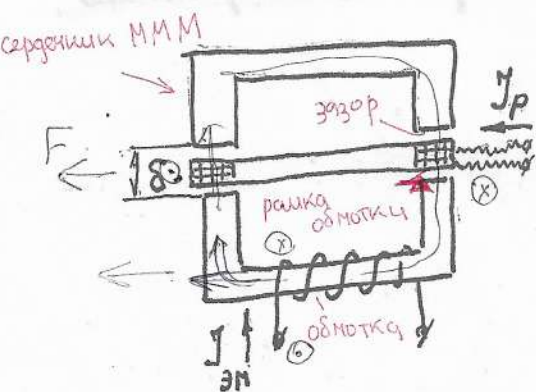
площадь зазора

длина сердечника

$$M = B \cdot I_p \cdot S_a \cdot W_p$$

$$B = \frac{I_{эм} \cdot W_{эм} \cdot G}{S_{зазор}}$$

$$S_a = 2 \cdot r_p \cdot l$$



Управление постоянным током

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

$$F = \frac{W_p \cdot W_{эм} \cdot l \cdot \mu_0 \cdot I_p \cdot I_{эм}}{\delta} = K \cdot I_p \cdot I_{эм}$$

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

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

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

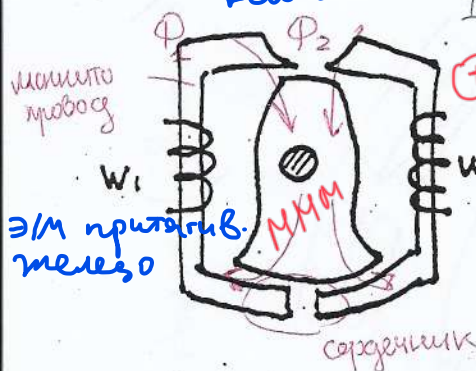
$$F_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f d\omega t = K \cdot I_{pA} \cdot I_{эмA} \frac{\cos \varphi}{2} = K I_p \cdot I_{эм} \cos \varphi$$

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

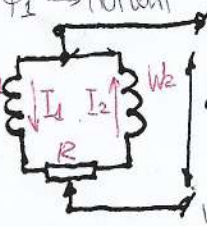
- При переменном I плохая точность
- Статический преобразователь тоже плохо
- Эти датчики могут использоваться как ДУ и ДМ

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

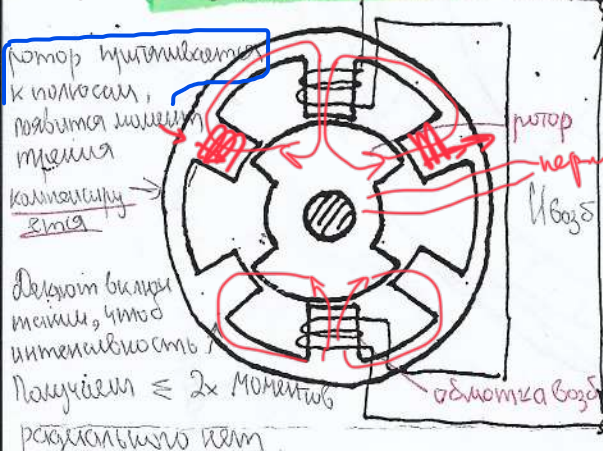
• Обмотки соединены последовательно - встречно, Φ будут направлены в разные стороны

(+) остаточные токи возбужд. на роторе

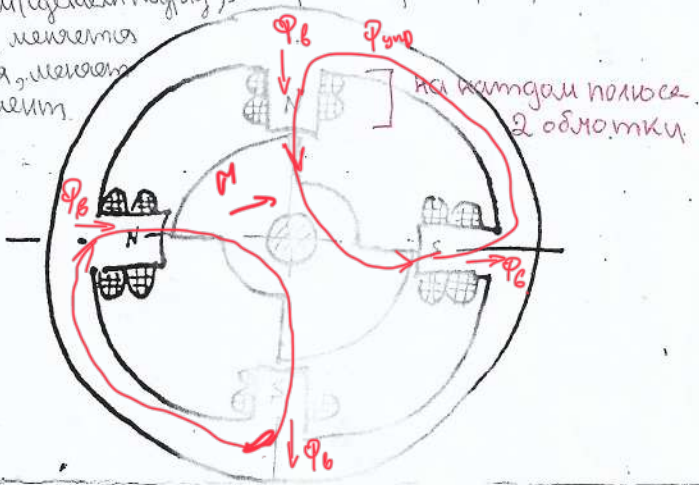
(-) давление на опоры из-за притяжения ротора и полюсов

Четырех полюсник (микроами)

Статор и ротор шихтование перем. ток. 6 полюсник

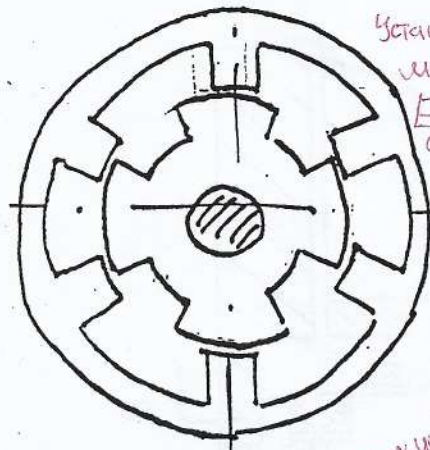


(другие фото)
 При неверном включении обмоток - чередование NSNS микроами, зм-танки I_{возб} будет работать как магн. пускатель.
 Если поменять (сделать подряд), то при повороте ротора меняется МП от max → 0, меняется магн. энергия, меняется возбужд. момент



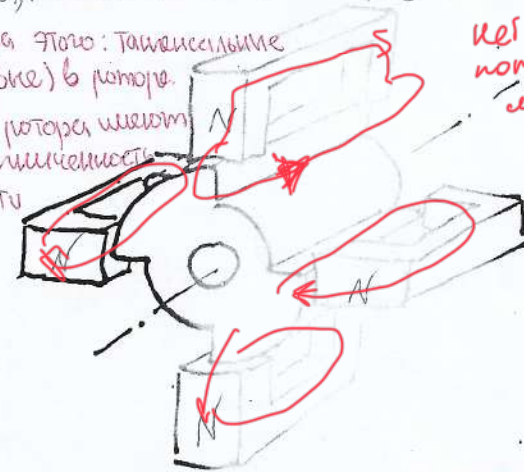
(-) остаточный момент, зависящий от предыстории работы датчика

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;

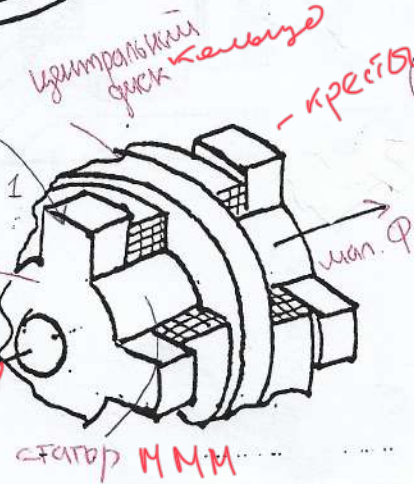


Установлено, что причина этого: тангенциальные магн. потоки (кольцевые) в роторе.
 Если все полюса у ротора имеют одинаковую намагниченность и напряж. N₂ T₂ магнетизм нет

нет кольцевых потоков, нет мом. в т.е. металл

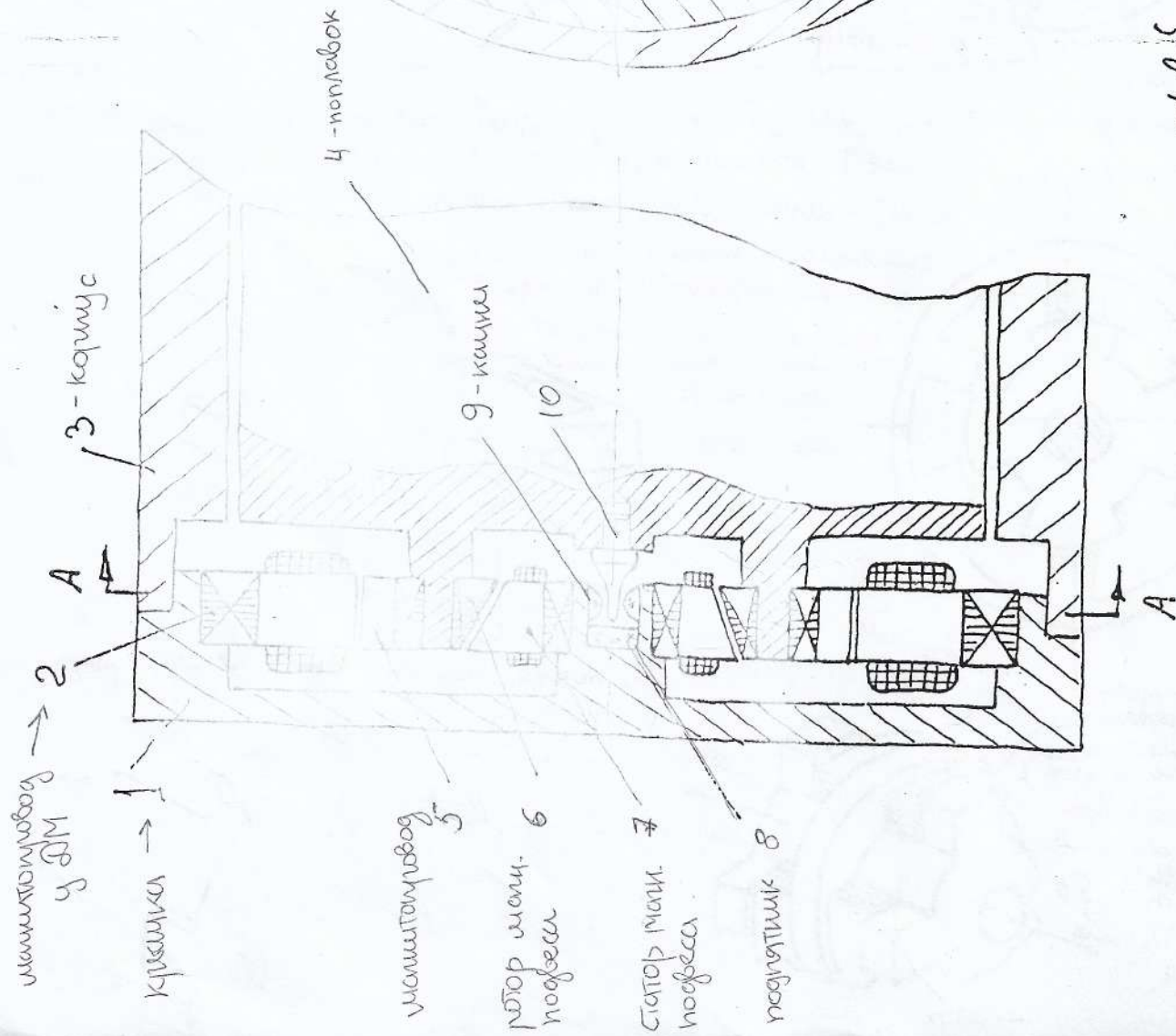


Статор магнитирован крестообразно наклоненными. Когда ротор наклонен (3) надвиг на статор, то часть 1 ротора оказывается в середине первого сектора креста, а часть 2 - в середине второго сектора. Нет момента, т.е. металл

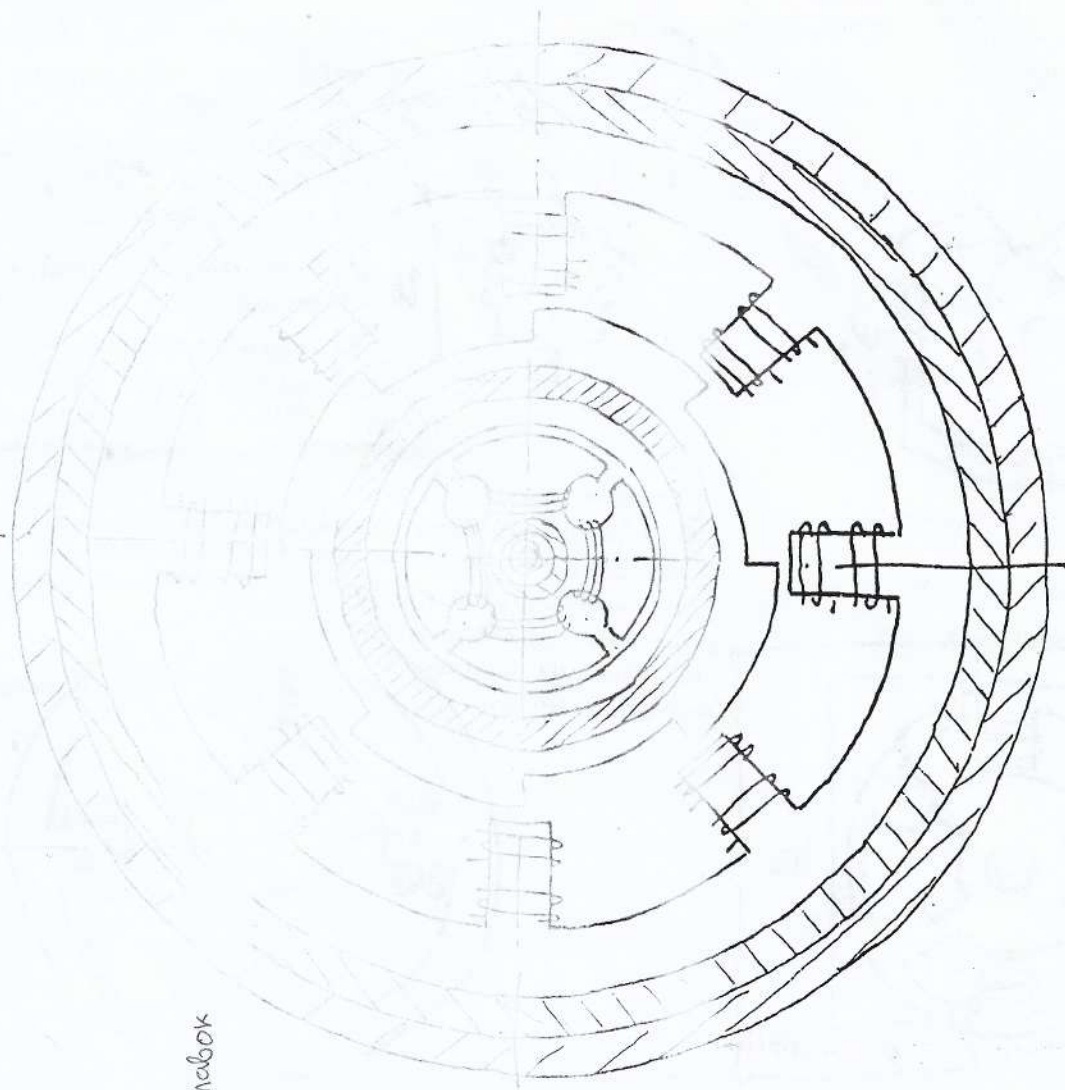


От потока зависит, какой крест функционирует или нет





по АА

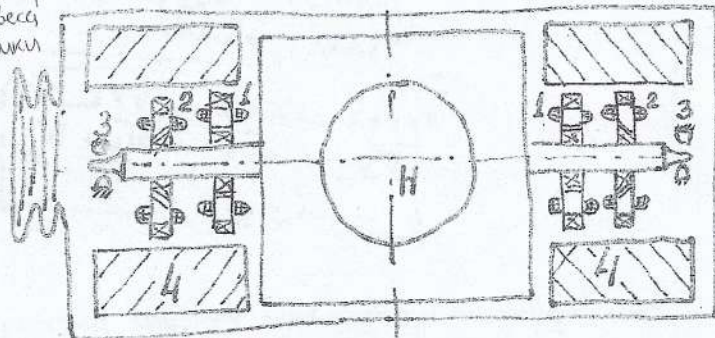


двойной комбинированный микросин (двухосный)

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

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

Идея применения в поплавковых приборах:



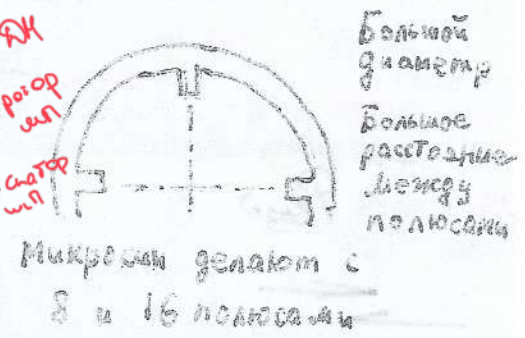
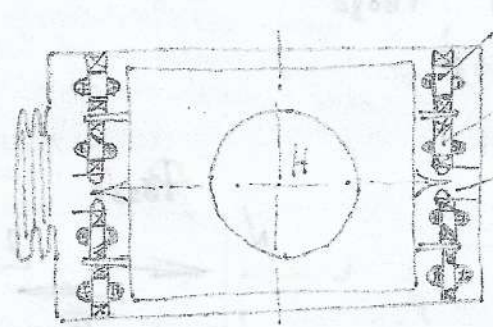
Недостатки

- 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

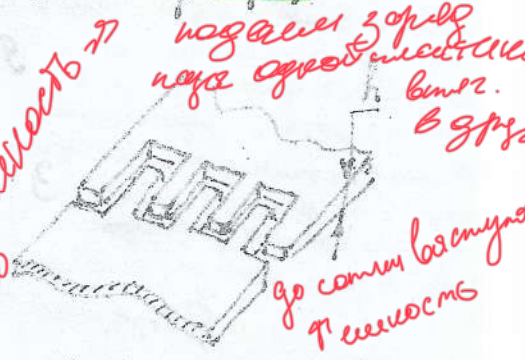
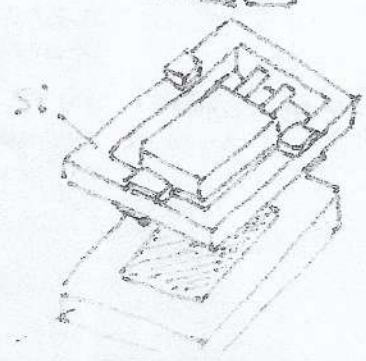
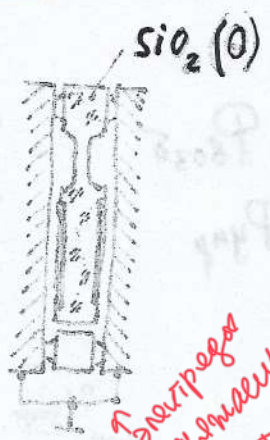


Принципы действия

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)

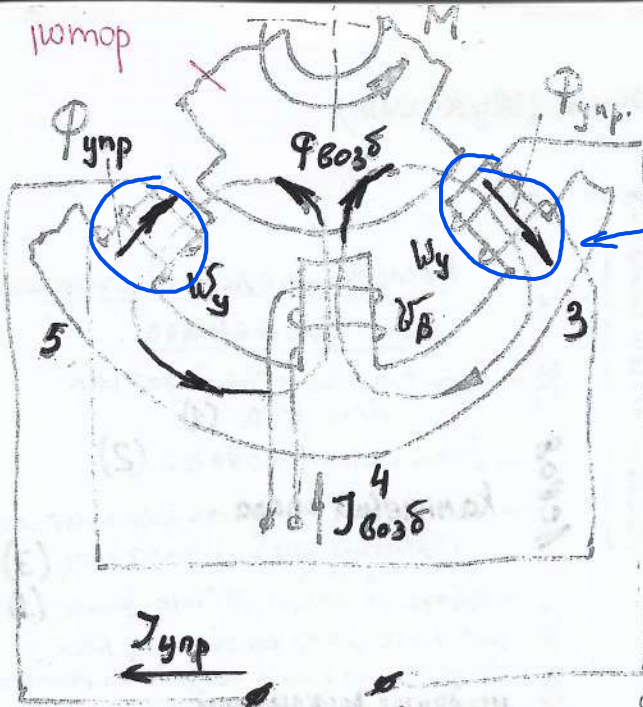


электроны
двигаются
вправо
влево \rightarrow вправо

Гребенчатый датчик силы
($h = 20 \mu m$
зазор = $0,5 \mu m$
общая масса эластомера)

до сотни ватт
и жесткость

Ротор

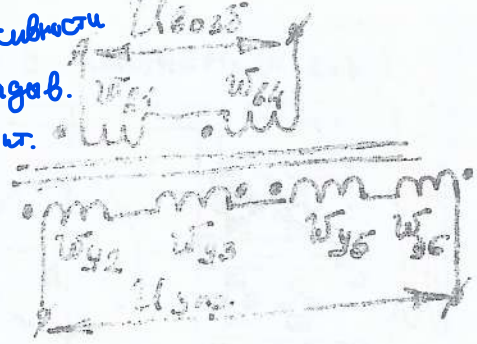


* если нет $M_{упр}$, нет $M_{возб}$

← Работа ЭМ ДМ

Разные интенсивности

← потоки складыв. слева вычит.



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

Если мы поворачиваем ротор по \uparrow стрелке, то выступающая часть ротора больше перекрывает полюс. При малых зазорах, проводимость \downarrow . Но \neq проводимость $= \text{const}$, эдс МП $\neq \text{const}$, $\Delta M = 0$

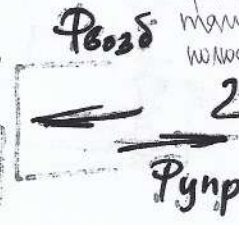
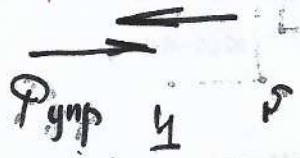
Микроин

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

При этом отступивший момент магнетизма и положение ротора относительно полюсов статора будет безразлично.

Вращающий ротор приведет к локату магнетизма (т.к. будет МП, которое тянет ротор)

Интенсивность в 1 и 3 полюсах $\uparrow \uparrow$, в 2 и 4 $\downarrow \downarrow$ ротор поворач. к тах, F_m притягив $\Phi_{возб}$ 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 $M_{поток} >$. Большие потоки втягивают задний крест на полюс, передний крест не реагирует. Полюс \neq поток, который направляет стрелка

Дополн. управ. при подаче $J_{возб}$



мал $\sim J_{упр}$

$W_{возб}$

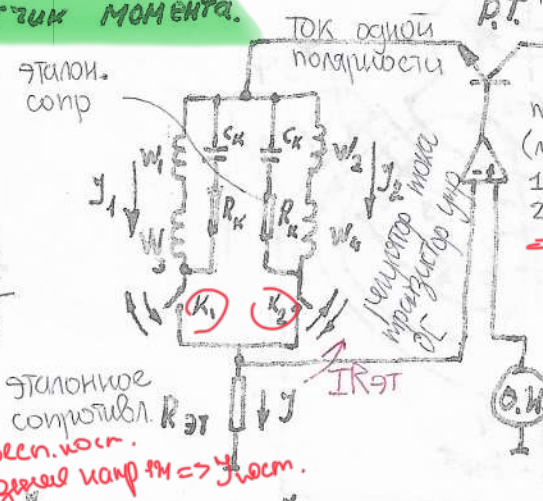
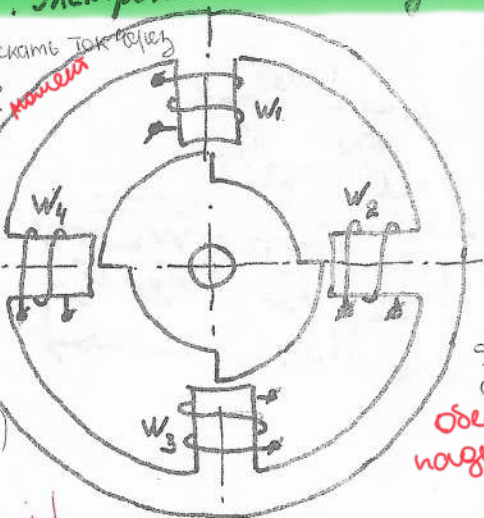
$W_{упр}$

1 полюс: поток управ. и возбуд. суммируются

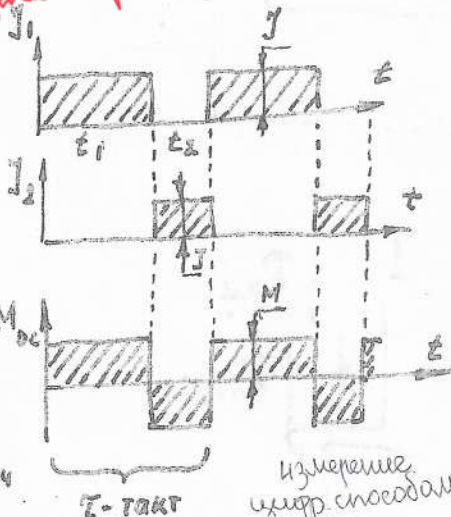
2 полюс: поток управ. вычитается из возбуждения



1-3 и 2-4
неизменяются
стабили K₂
и K₃,
показ. 2. инвариант
 $M_2 = -M_3$
 $M_2 = 0$
(при $t_2 = t_3$)



Ступенчатое
соединение. $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$
обес. коч.
нагрев. коч. \Rightarrow $\gamma_{\Sigma} = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$



При статическом
равновесии

$$mLa = M_y$$

$$M = k_{\text{ave}} J^2$$

$M_0 = M$ $t_1 = t_2$ τ (все переносится во времени)

$$[t_1 - t_2] = \frac{m \cdot l}{M} \cdot \alpha$$

①: Из-за того, что используем стабилизатор тока, проявл. нелинейн. чтобы избавиться от нее, используем схему R компенсации, котор. подключа II обмотки ДМ, обмот. возб. В

посетить кел-во высшего нач. училища

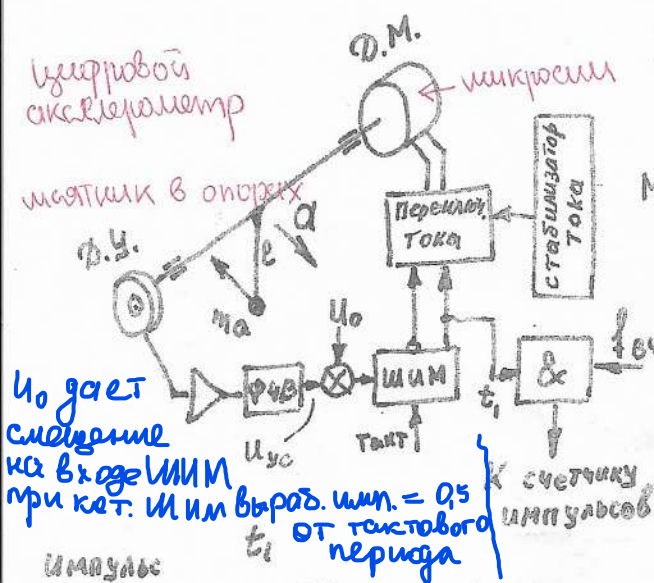
N_1 пропорционально t_1 (с точностью до ошибки квантования)

$t_1 < 0,01 \text{ сек} \rightarrow$ Возникают автоколебания

$Q_m \rightarrow DY \rightarrow y_c \rightarrow t_1, t_2 \text{ — элементал} \Rightarrow t_1 - t_2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow y_{\text{ср.}}$

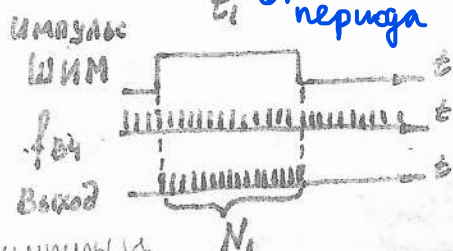
Цифровой
акселерометр

мятник в опорах



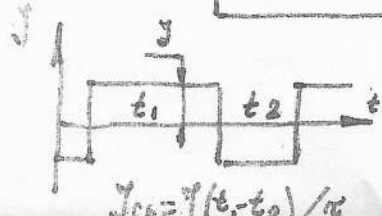
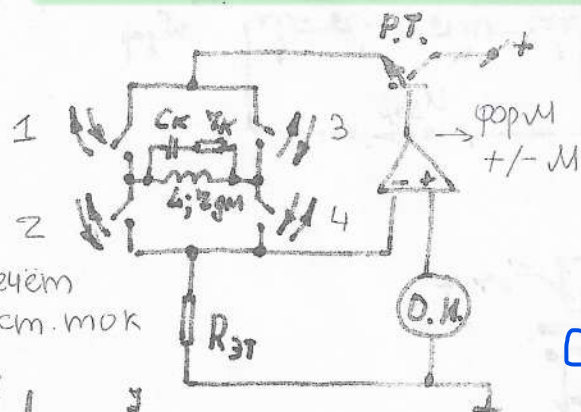
Чо да ет
сметане
ка входе ИИИИ
при кет. ИИИИ

выраж. имп. = 0,5
от тактового периода



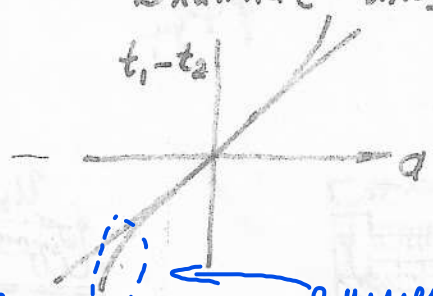
цифровой прибор \rightarrow ток \rightarrow цифровой коду

2. Магнитоэлектрический датчик момента.



$$t_1 - t_2 = \frac{m L T}{K \cdot y} a$$

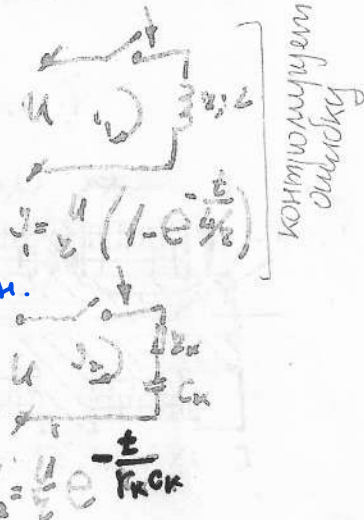
Влияние индуктивности L



S_k τ_k -дл'я устр. неллинейн.

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{2} = \frac{1}{2} n(n+1) \text{ correct.}$$

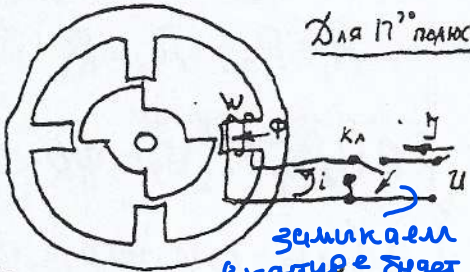
So $J_1 + J_2 = \frac{M}{2}$



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

Механическая работа

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



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

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

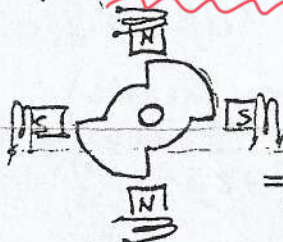
зачинкаем накоротко (мост)
в катушке будет энергия, запасенная

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

неверный подход:

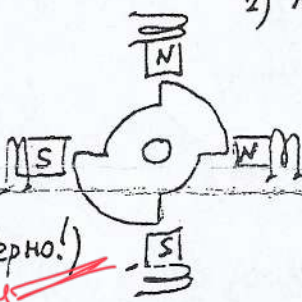
~~$$E_M = \sum_{n=1}^4 E_{H_n} = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 (H_C)_n^2 G_n; \quad M = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^4 (H_C)_n^2 \frac{dG_n}{d\beta}$$~~

Пример: 1. Магнитная пружина

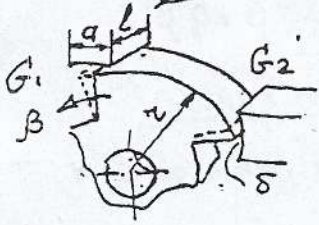


$$M = \frac{1}{2} (\gamma v)^2 \frac{dG_n}{d\beta} =$$

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



$M=0$
(Верно!)

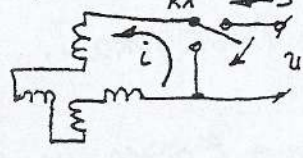


$$G_1 = \frac{\mu_0 l}{5} \left(\frac{\alpha}{2} + 7\beta \right)$$

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

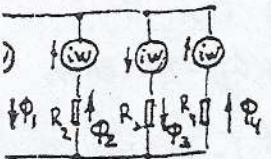
$$G_1 + G_2 = \frac{\mu \cdot a l}{\delta} ; \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} = \frac{\mu \cdot l}{\delta} \cdot \frac{a^2/4 - z^2 \beta^2}{a}$$

Правильный подход:



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

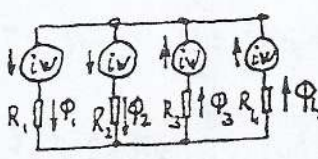
$$e = \sum_{n=1}^4 e_n = -w \sum_{n=1}^4 \frac{d\phi_n}{dt}$$



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

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

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



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

$$R_1 = R_3; R_2 = R_4$$

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

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

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

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

Формулы для расчета М:

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

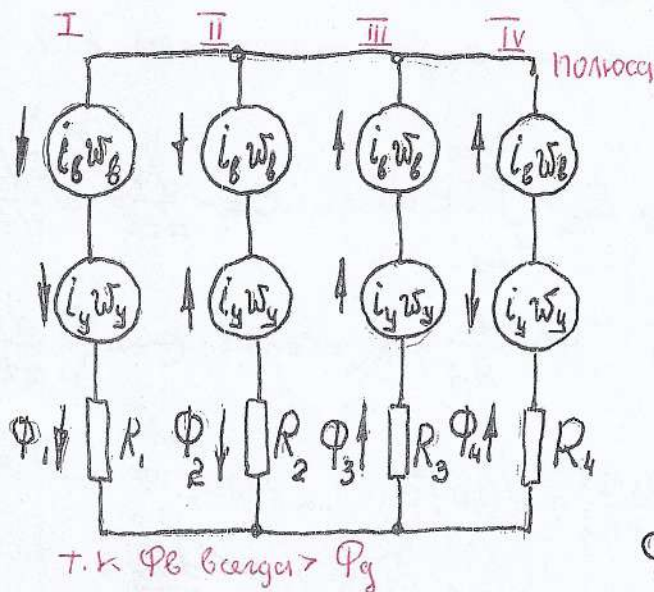
$$M = -\frac{i}{2} \sum_{n=1}^4 \phi_n^2 \frac{d}{d\beta} R_n$$

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

величина момента в микрофоне при 2х токах

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

Вариант - микрофон с одной обмоткой w на каждом полюсе.

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

$$\text{Положим } w_y = w_e = \frac{w}{2}; i_e = i_y = I \quad (H_{C_{1,3}} = Iw; H_{C_{2,4}} = 0)$$

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

$M \sim I_{упр.}$

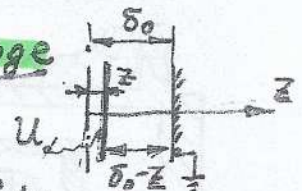
Если сделать $I = \text{const}$ и обеспечить его протекание в обмотках полюсов 1, 3 в течение времени t_1 , а затем подать тот же ток в обмотки полюсов 2, 4 на время t_2 , то средний за время $t_1 + t_2$ момент

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

зависимость.

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

Формирование силы путем поддержания на электроде управляющего напряжения U



Закон сохранения энергии

для $U = \text{const}$ от аккумуля

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

изменение плотности энергии Эл. стат. поля

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

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

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

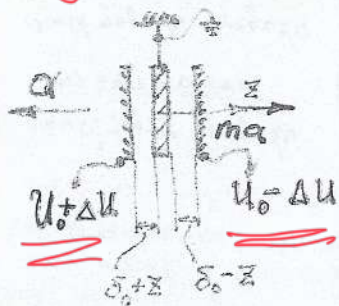
прямая зависимость

здесь $F_{эс} = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 \frac{U^2}{(\delta_0 - z)^2}$ Недостатки: 1) $F_{эс}$ нелинейно зависит от управляющего напряжения $U^2 \rightarrow$ импульсное управл.

2) $F_{эс}$ изменяется при изменении зазора z

1) Маятниковый акселерометр

Поддержка U_0 на массе m



Маятник заземлен

$$F_{лев} = \epsilon \epsilon_0 \frac{(U_0 + \Delta U)^2}{2(\delta_0 + z)^2}; F_{прав} = \epsilon \epsilon_0 \frac{(U_0 - \Delta U)^2}{2(\delta_0 - z)^2}$$

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

$$F_z = F_{прав} - F_{лев} = \frac{\epsilon \epsilon_0}{2} \left[\frac{U_0^2 - 2U_0 \Delta U + \Delta U^2}{(\delta_0 - z)^2} - \frac{U_0^2 + 2U_0 \Delta U + \Delta U^2}{(\delta_0 + z)^2} \right]$$

нулю!

Для устранения зависимости F_z от z систему обратной связи делают автоматической. ($z=0$). Тогда $F_z = -2\epsilon \epsilon_0 U_0 \Delta U$

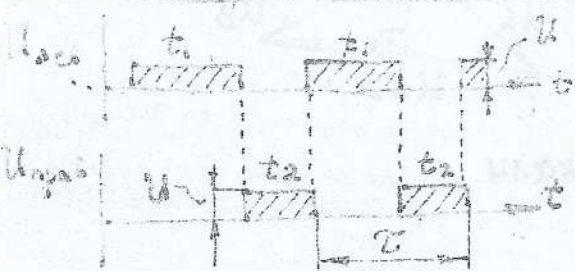
$F_z = -2\epsilon \epsilon_0 U_0 \Delta U$ - линейная зависимость. сила от ΔU

$mz = 2\epsilon \epsilon_0 U_0 \Delta U$

$\Delta U = \frac{m}{2\epsilon \epsilon_0 U_0} a$ - полный интер

2) Маятниковый акселерометр с импульсным управлением.

не хороший метод $z \rightarrow$ 3



$U_{кред} = \text{const}$

$$F_z = \frac{\epsilon \epsilon_0 U^2}{2} \left[\frac{t_1}{(\delta_0 + z)^2} - \frac{t_2}{(\delta_0 - z)^2} \right]$$

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

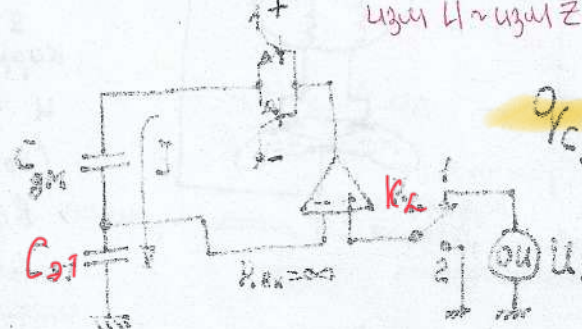
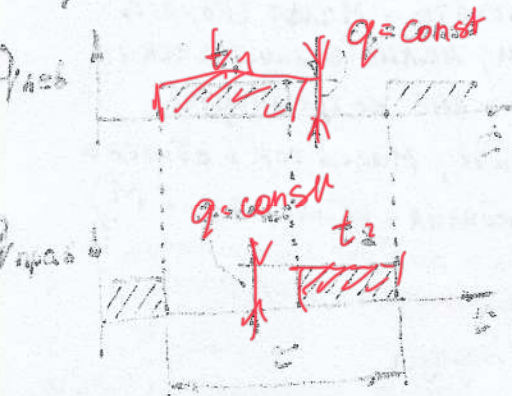
Зависимость F_z от z не убавится т.к. создается погрешность

нельзя сделать (дестабилизирует) зарядаем и отключаем от внешних цепей

3) Схема со стабилизацией заряда

$q = C U = \text{const}; U = \frac{q}{C} = q \frac{\delta_0 + z}{\epsilon \epsilon_0 S}; W_{эс} = \frac{q^2 (\delta_0 + z)}{2 \epsilon \epsilon_0 S}; F_{эс} = \frac{q^2}{2 \epsilon \epsilon_0 S}$

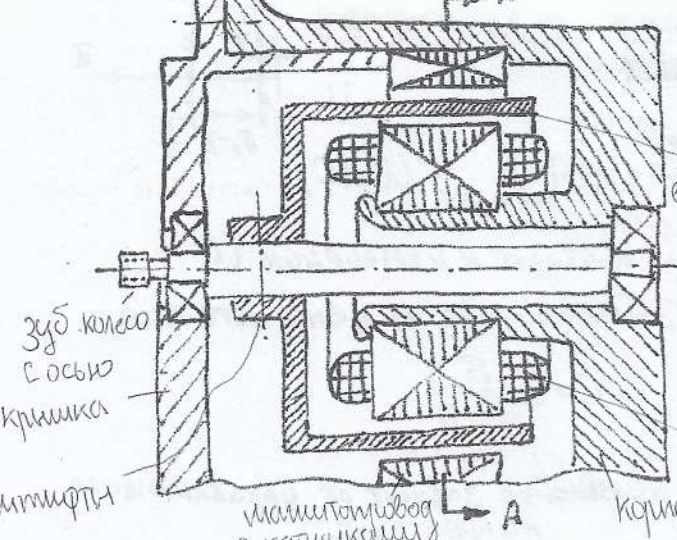
Тк когда электроны приближ. $q \uparrow, U \downarrow, \delta C$ компенсирует изменение разряда. Нет зависимости F от z .



$q_{с.ст} = C_{эп} U_{эп} = I \cdot t_{зар.} = q_{с.ст} = \text{const}$

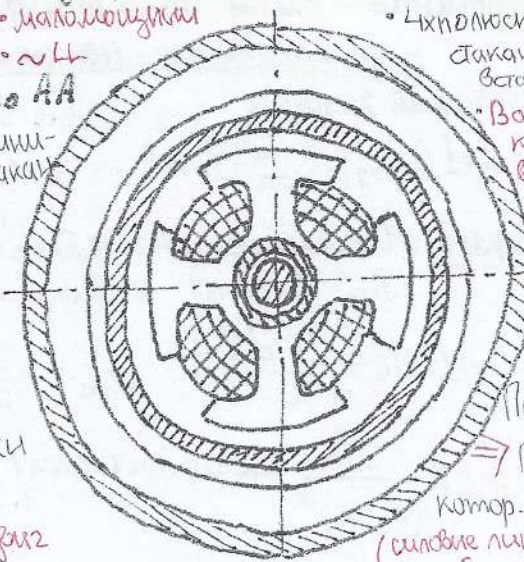
$F_{ст} = \frac{q_{с.ст}^2}{2 \epsilon \epsilon_0 S} = m a; t_1 - t_2 = 2 \epsilon \epsilon_0 \frac{m}{a} a$

Обмотка создает МП



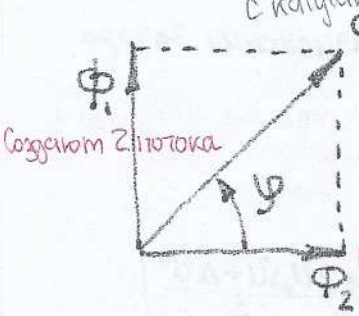
Двухфазный индукционный двигатель

- малошумный
- ~ 44 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)

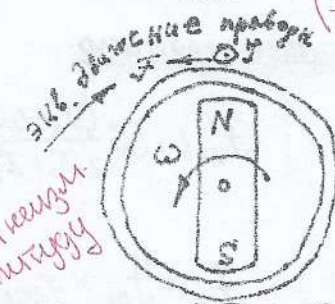
Получаем \approx МП ток, \Rightarrow равной величины, котор. вращ. с $\omega = \omega_{rot}$ (синхронизм в 50 Гц, ток, большой ток, фазовый сдвиг)



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

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

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

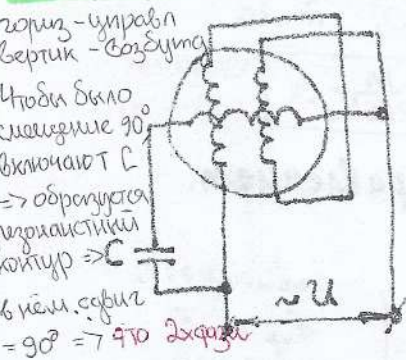


Направление тока: правило правой руки, направление силы: правило левой руки.

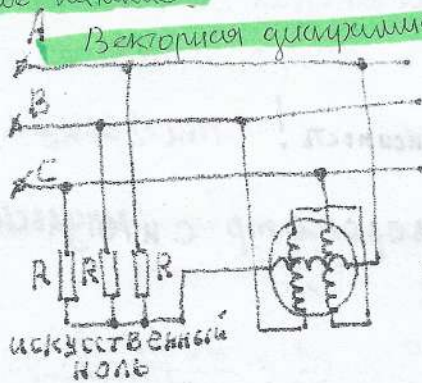
Принцип действия

Вращающ. ток пересек. статор, в статоре электромагн. сила. Проводник с током и вращ. силой магнита и создается сила, вращающая статор (по правилу Лоренца). Его скорость < скорости МП

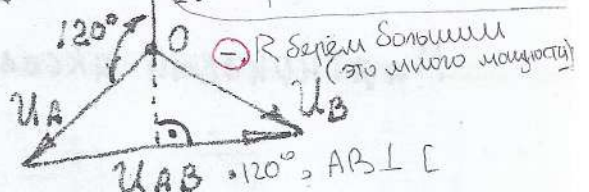
Как из однофазного сделать 2-фазное питание?



гориз - управл, вертик - возбужд. Чтобы было сдвиг на 90°, включают C \Rightarrow обратится радиационный контур \approx C в нем сдвиг = 90° \Rightarrow 2 фазы

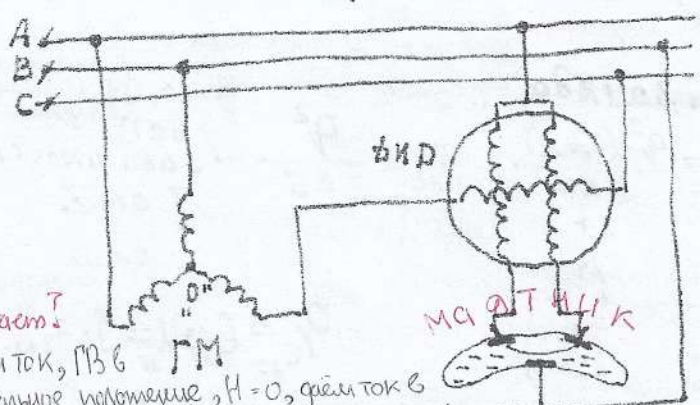


Векторная диаграмма питания



$U_{AB} = 120^\circ, AB \perp C$
• 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



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.

Как работает?

Подали ток, ПЗ в вертикальное положение, Н=0, даем ток в обмотки (I - большой), когда ГП раскручивается то ротором находится противофаз, которая \downarrow I, магнит коррекции ГП выставляется, I \downarrow , перецева нет

Плоские индукционные двигатели

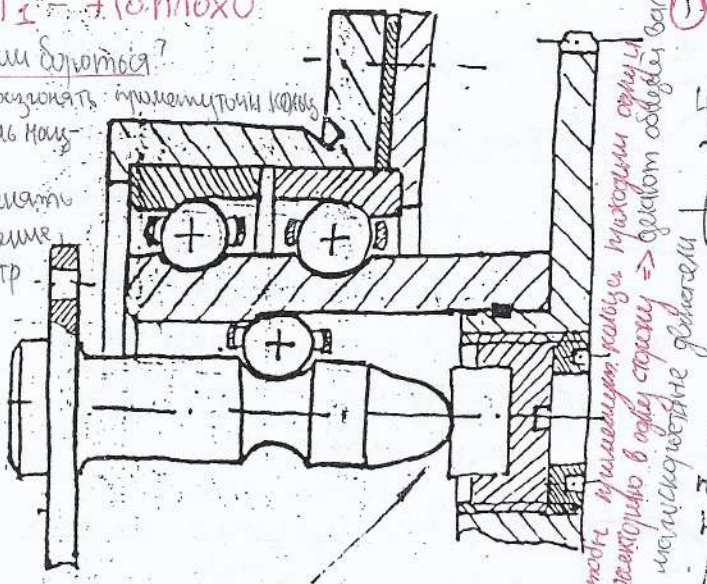
Принцип маятника: отклонился пузирь, ушел на электрод, R < I, появляется вертикальный ток, создается М вращающ, подв. вертик. положение

Жидкость: спирт, подв. калий

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

Как с этим бороться?

- быстро резонанс
- обмотать катушку
- не менять направление вращения МТР



Срок службы определяет износ пята и подпятника

Привод на базе 2х фазного индукционного двигателя

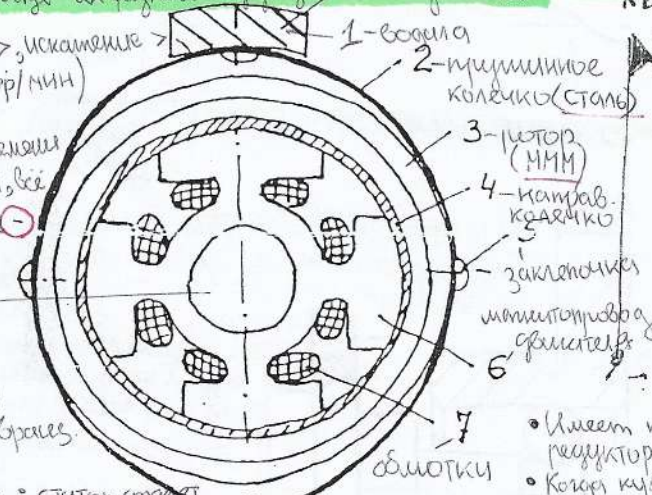
Скорость > искажение (18 пмс обор/мин)

• Течение бразил
 бразил стирается, все в золотой пудре

магнитная система

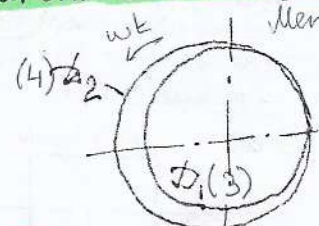
- 4 полюса
- 2 катушки (в ней созд. бразил. магн. поле)

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



- Имеет кулачок, кот. связан с пружиной колодой через редуктор - за он двогает обмотки
- 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

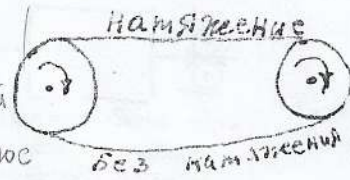
Он меньше длины окружности по наружной окружности, точка контакта не дойдет до полного оборота на расстояние

Особенность: ставят обжим

т.к. возникает микро деформация
 Угловое скольжение дает ошибку
 $\beta = \frac{2\pi(D_2 - D_1)}{D_2}$

а коэффициент редукции

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



Может быть скольжение, используется один двигатель и вал.

Скольжения нет

Вал не нужен (два двигателя)

Принцип действия

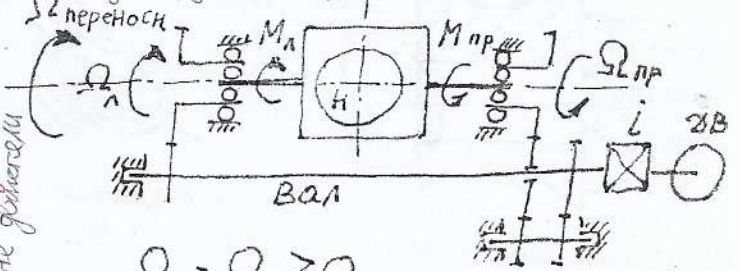
Сначала подаем в 1 катушку слава исправка смещается и выдерживается, появ. момент, при котором вращ. ротор. Пока течет по тому же направлению

1 полюс подаем, 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 $\omega = \text{const}$, $\alpha = \text{const}$

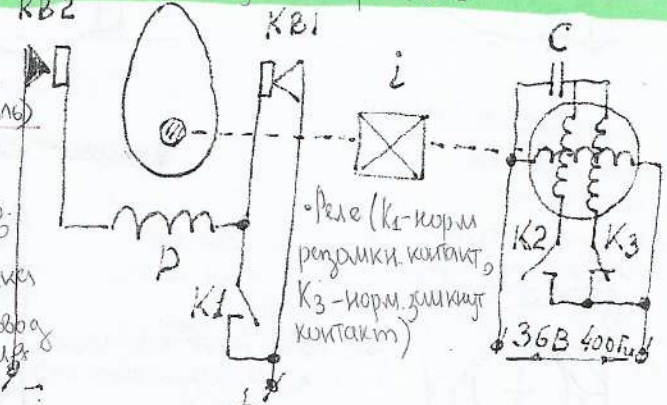


$$\Omega_A = \Omega_{пр} > \Omega_{перенос}$$

Одинаковые и одинаково нагруженные подшипники - Момент трения равен нулю. Независимо от $\Omega_{перенос}$, $M_{тр} = 0$

Реально из-за различия подшипников и их нагружения $M_I = M_A - M_{пр} = 0.1...0.2$ от $2 M_{тр}$
 Среда - ввела реверс вращения (1956г)

Двигатель для МТР выше



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

At d мелод и внутр. кольца,

Fr вычислена от шарика к валу, $\mu < r$ телода, $\mu < \mu$ 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 контакт 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 валом + 2 подпятника

• удобен для потайных качеств

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

• будет хорошее центрирование

Вид

• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятник сверху

• имеет сферичный упор

• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на концы вала выносятся, чтобы выполнялся сложный отворот. В него выносятся шарик, $\mu < \mu$ момент трения

• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятник сверху

• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на концы вала выносятся, чтобы выполнялся сложный отворот. В него выносятся шарик, $\mu < \mu$ момент трения

• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятник сверху

• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на концы вала выносятся, чтобы выполнялся сложный отворот. В него выносятся шарик, $\mu < \mu$ момент трения

• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятник сверху

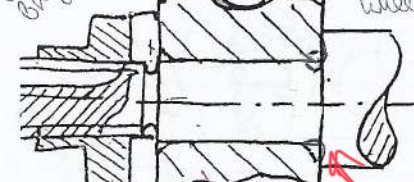
• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

• осевая обеспечивается 2мя шариками: на концы вала выносятся, чтобы выполнялся сложный отворот. В него выносятся шарик, $\mu < \mu$ момент трения

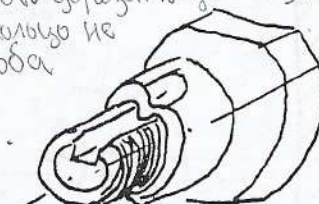
• 2 ШП с наждак втулкой + 2 подпятник сверху

• обеспечивает центрирование ШП с ГЗ (радиальное)

Безопасность на внутреннем кольце

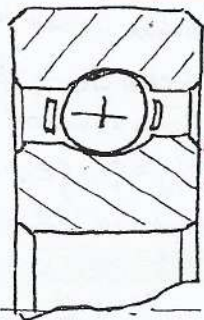


- Стоит шайба, которая упирается во внутр. кольцо
- Канавка, чтобы дорезать до конца резьбовой поверхности
- Наружное кольцо не имеет мелода



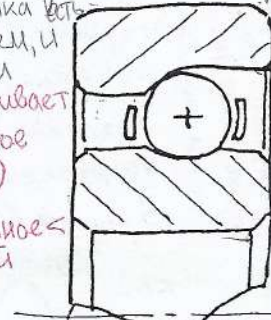
это ШП с наждак втулкой, только радиальное (A=0) центрирование. ось центрируется только в радиальн. напр

радиальный подшипник



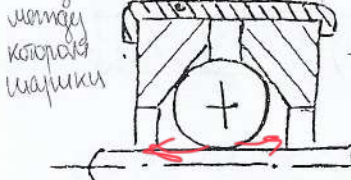
- безосевая нагрузка и на внутреннем, и на наружном кольце (он обеспечивает осевое и радиальное центрирование)

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



ШП с наждак валом

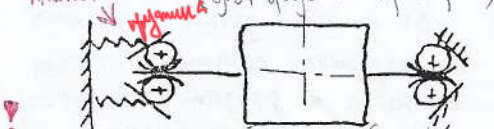
- наждак валом
- без мелода
- наружная часть сделана в виде шарика



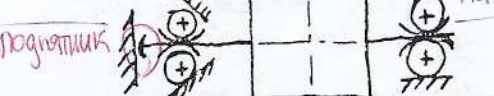
- воспринимает только радиальную нагрузку
- осевое компенсируется подпятником (коническая поверхность)

Основание схемы подшипов ШП прибора на ШП

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



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

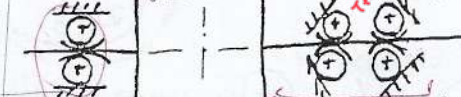


Его использ., когда перекалибровку, направление нагрузки (курсовой прибор: рама в вертикальной п-ти, нижний ШП воспринимает вес, под него ставят подпятник, мин МТР, только момент вращения

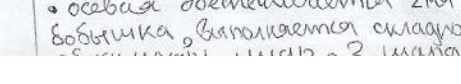
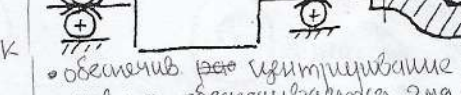
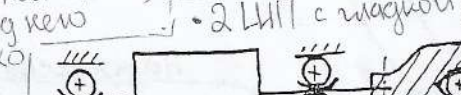
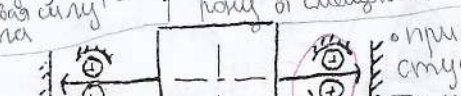
свободна только 1а сторона, т.к с другой стороны подпятник

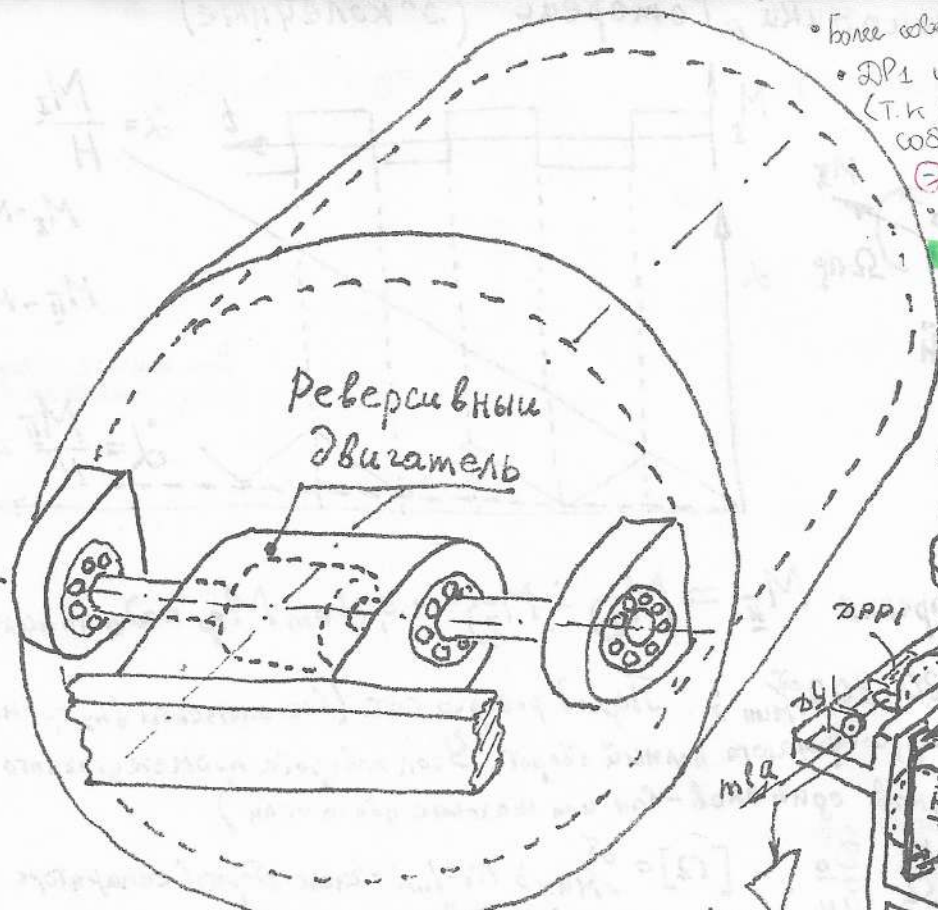
- 3 шп хитре, т.к. 2
- обеспечивают хорошее центрирование
- нет упругих эл-тов
- трение > 0

ШП с наждак втулкой



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



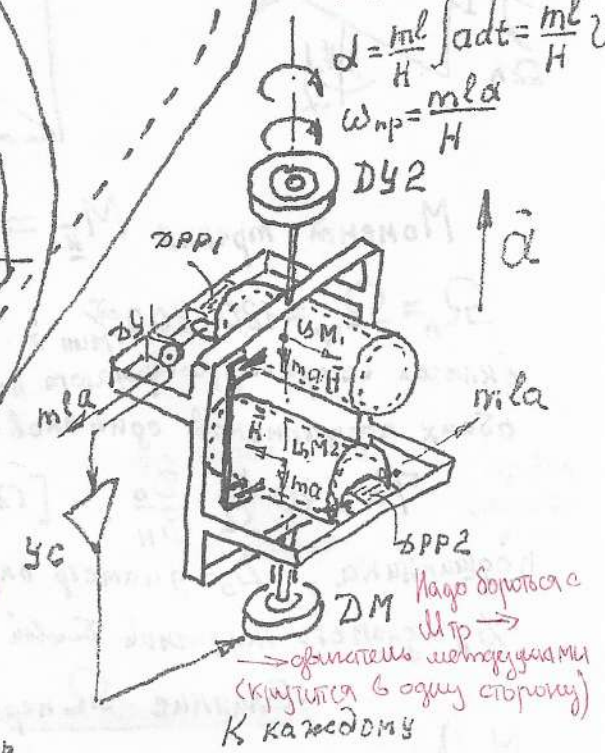


- более совершенный, точнее
 - DP1 и DP2 в разные стороны (т.к. ГМ соединены между собой)
 - есть 2 → 2ой ГМ момент
 - ГМ в разные стороны
- ГМЛУ**

Заставляют ГМ, у которого между штифтами масса, чтобы использовать для измерения a

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

$$\omega_{пр} = \frac{m l a}{H}$$



широкую пружину двойной длины

Они компенсируются

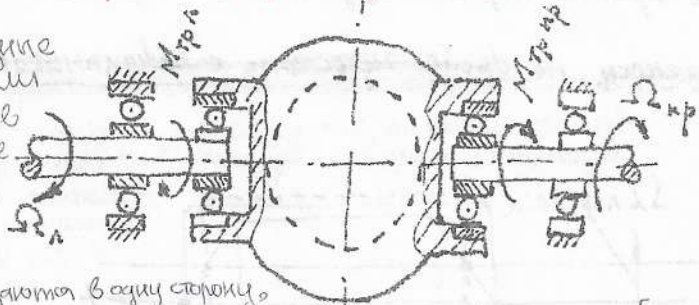
до уровня M_z

до уровня M_z «запасной» момент утяжел. компенс. грузики при реверсе.

Можно ли добиться того же самого эффекта в 2х колесах ЛП?

Скорость вращ. колес > скорости ЛА

Вращаем в разные стороны вал, если будем реверсировать то будет тот же эффект, что и в 3х колесах



Если оба ЛП вращаются в одну сторону, то нас не интересует скорость вращ. колес, относим наружу. Если они одинаковы, в шарнире. То деформации одинаковы, т.е. колесом компенсируют момент трения.

• если основание начинают вращать, то есть перекошенная угл. скорость (< скорости ЛП) - либо + эти скорости, либо - → противоположные скорости с 2х сторон вращ. с разной скоростью ЛП не будет иметь зависимость от скорости

Допустимая статическая нагрузка.

Радикальный

Рационально - упрощенный

$$R_{стат} = 12,5 Z_m d_m^2 [H]$$

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

$$A_{стат} = 15 Z_m d_m^2 [H]$$

$[d_m] \text{ мм}$

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

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

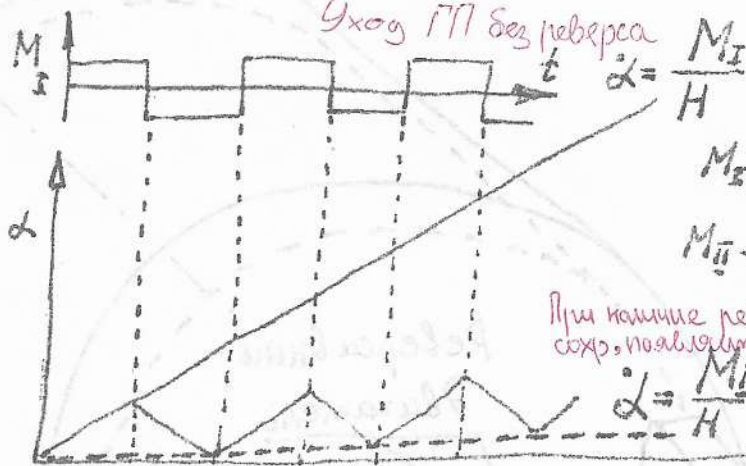
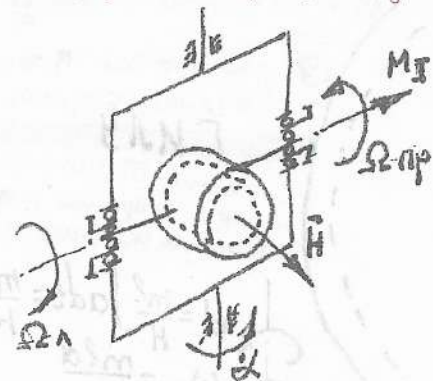
Записки по расчету R, A. Заметка: Когда есть компенсирующий ЛП это шарик давит на Belleville пружину и деформирует её

1) Сломанский Я.А. и др. «Металлы и сплавы, измерительные приборы», глава 1 изд. Машиностроение

2) «Гироконические системы» под ред. Яценко, 1971

Подшипники Готореис (3-копачные)

Т.к. моменты
книного резинки \Rightarrow поритделит дрейф



M_I - Момент первой разности

M_{II} - Момент второй разности

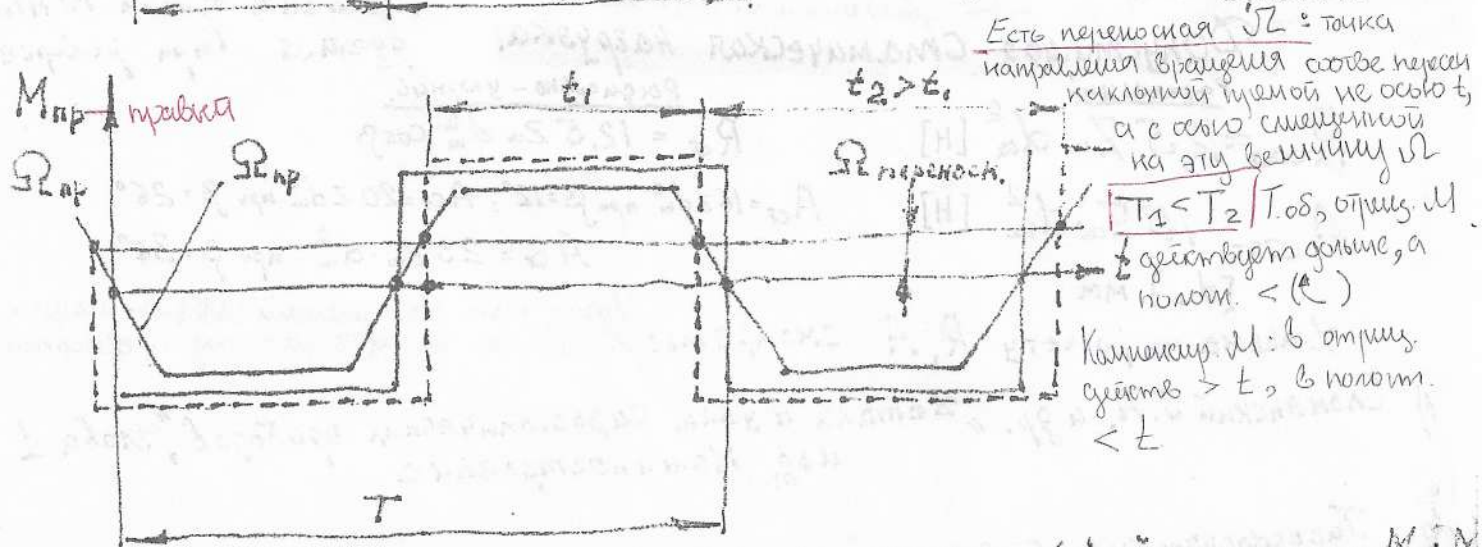
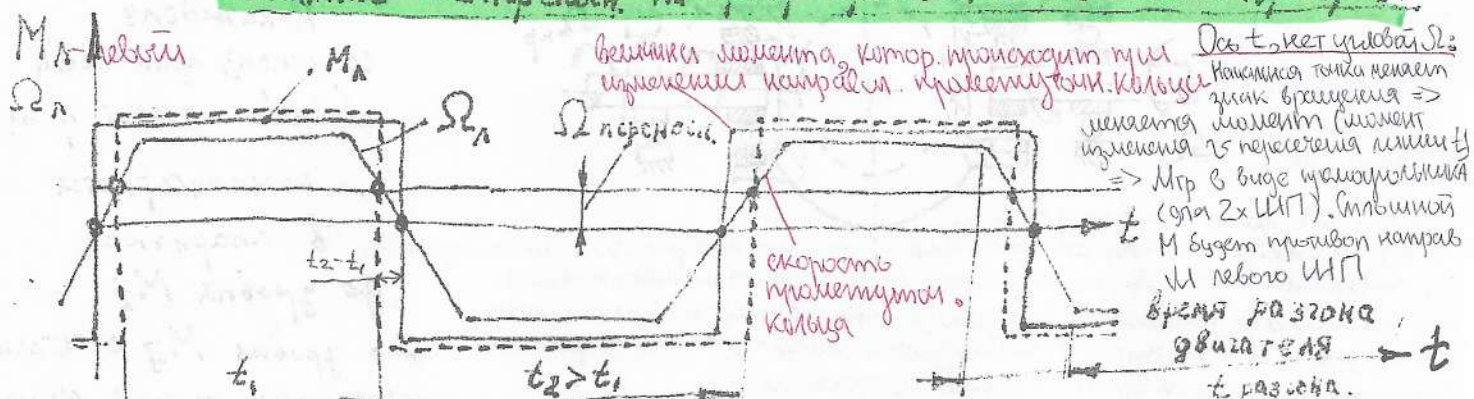
При наличии реверса остаточн. момент сохр. увеличивается α

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

$\Omega_L = \Omega_{пр} = 120-200 \text{ об/мин}$; Период реверса ант. (все элементы внутреннего подшипника включая сепаратор, совершают полный оборот. Угол поворота промежуточного кольца у обоих подшипников одинаков - вкл или шаговой доплатки)

реверс оптимальный $T = 240 \frac{m}{\Omega} \cdot \frac{Z_0}{D_H}$. $[Z] = \text{об/мин}$; $m = 1, 2$ - число оборотов сепаратора внутреннего подшипника, D_0 - диаметр окружности шариков внутреннего подшипника, $T \sim 100 \dots 200 \text{ ант.}$
 D_H - 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. $T \sim 0,5 \text{ с}$

* При посадке ШП с катаном нужно знать величину ~~нагрузки~~ т.к. она передается ШП
* При одинаковой кривизне ШП они могут иметь разную Мтр

Момент трения шарикоподшипников: опор Карданова подвеса (Мтр).

Мтр подшипника содержит следующие составляющие:

- Мтр качения шариков по контактным поверхностям;
- Мтр скольжения и качения шариков о контактные поверхности желобов; (т.к. телоб охватывает по бокам)
- Мтр скольжения шариков по поверхностям сепаратора;
- Мтр качения вала при контакте с подшипником;
- 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 желобов, шариков и целого ряда дополнительных параметров, таких как величина посадочного канта колец подшипника на вал и в посадочное отверстие, погрешности формы посадочных поверхностей вала и отверстий, 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 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 "Туроскопические 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

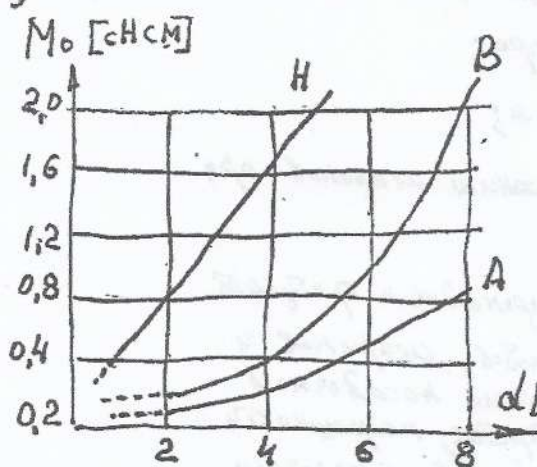
Двухколенные подшипники

D_o - диаметр окружности шарика
 d_m - диаметр шарика

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

M_0 - момент трения ненагруженного подшипника.

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



Классы точности подшипников

Н - нормальный $\rightarrow 0$

П - повышенный

ВП - Особо повышенный

В - высокий

АВ - Особо высокий

А - прецизионный

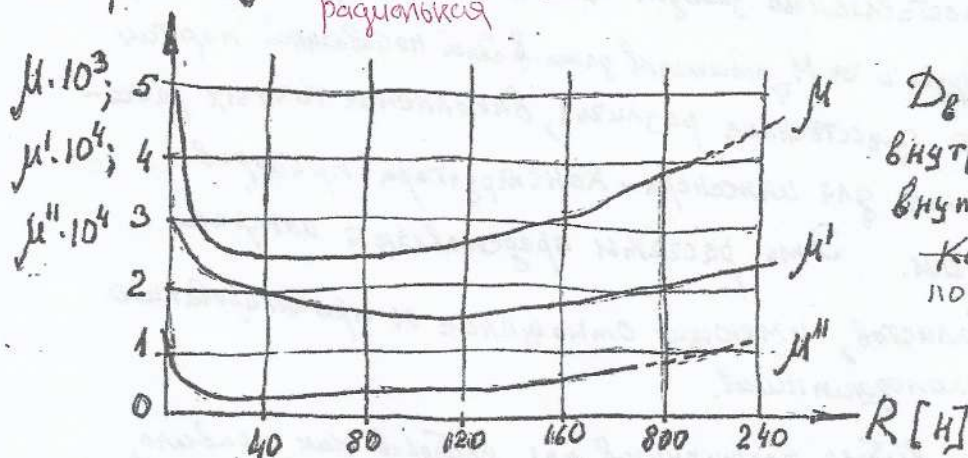
СА - Особо прецизионный

С - сверхпрецизионный

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 подшипника. [см]

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

(с 306095; с 300095)

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

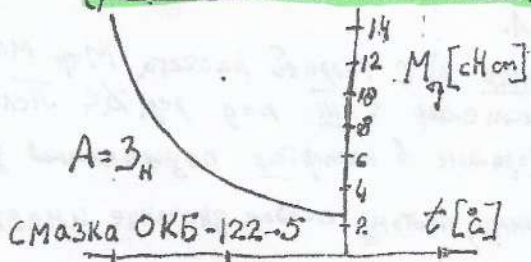
при нагрузке (на упорн. подш.)

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

при нагрузке (на пята)

Большой разброс $M_{тр}$ (~500%)

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



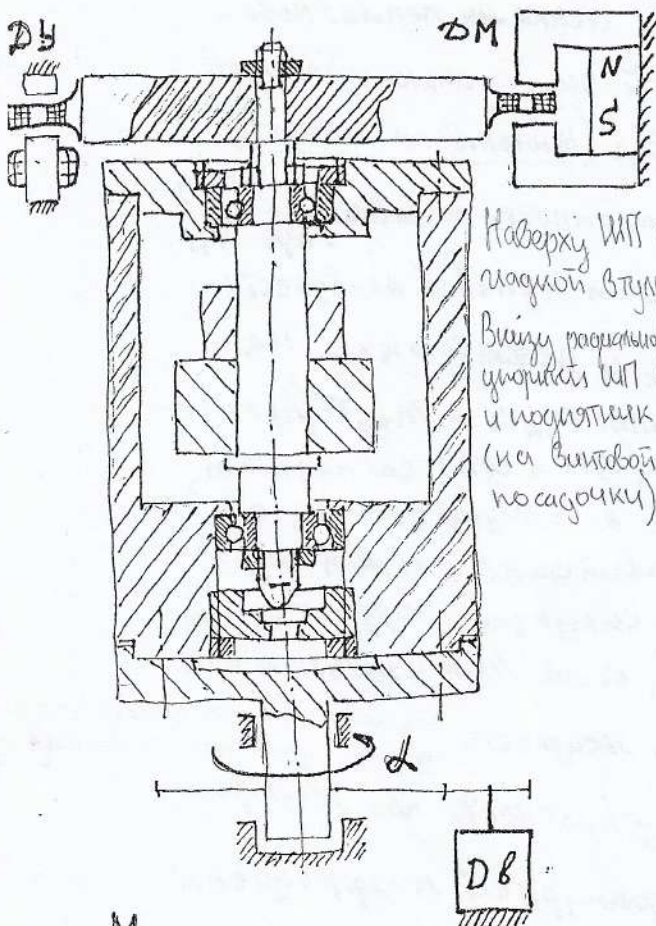
Если есть ГП с несмазанным ШП и подвергается его вибрациям, то вся полость между наружным и внутр. кольцами ШП довольно быстро заполняется ртутью, шарик, когда движется, вытесняет микрочастицы из желоба. Они задерживаются окислами, поэтому окисляются \Rightarrow пожелтевшие шарики смазывать

* из-за смазки $M_{тр} \uparrow$

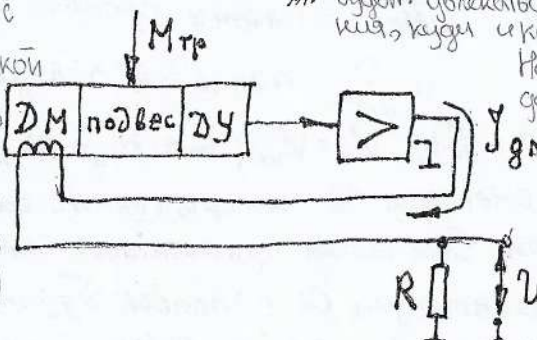
(Как реально оценить МТР?)

Экспериментальное исследование МТР.

Имеется вал, на него надеваются шпунты, имитирующие нагрузку МП. МП установлены в корпусе, корпус может вращаться относительно оси, вращательный момент передается на 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.



Наверху МП с гладкой втулкой. Внизу радиально упрямый МП и подшипник (на винтовой посадочке).



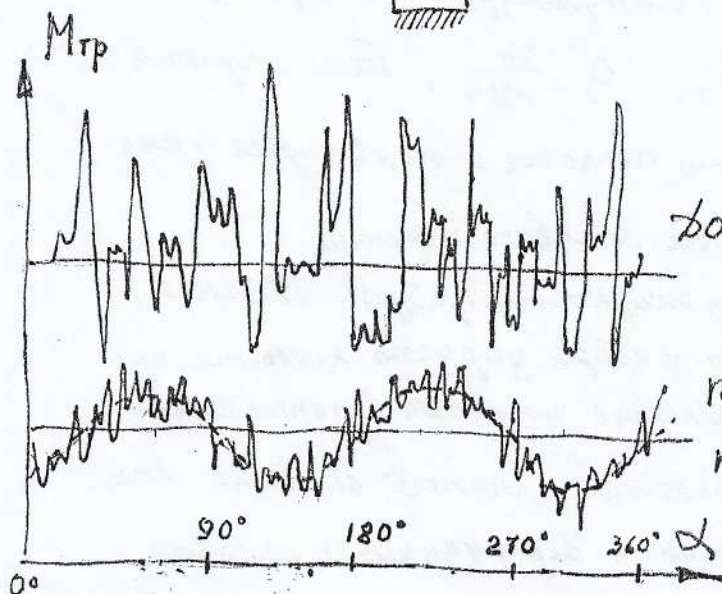
На этот метод поставлена деталь, на которой установлен ДУ и ДМ. Как только корпус начинает крутиться, он удерживает собой вал, вал смещается от исходного положения, и это смещение измеряется ДУ. Сигнал с ДУ усиливается и передается на ДМ, который удерживает вал от вращения. Так вал не падает, то МТР увеличивается моментом ДМ.

Статическое равновесие

$$M_{тр} = K_{гм} \cdot J_{гм}$$

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

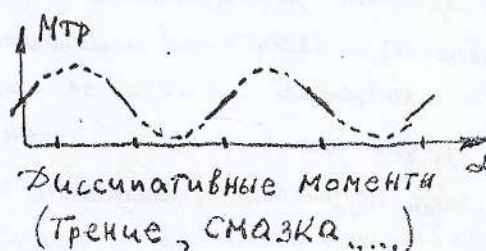
с ДУ усиливается и передается на ДМ, который удерживает вал от вращения. Так вал не падает, то МТР увеличивается моментом ДМ.



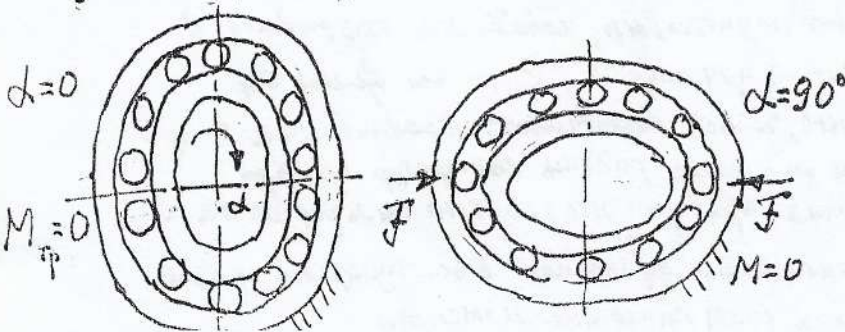
до приработки

после приработки 6-8 часов, промывки и повторной сборки

Консервативный Момент от деформации Наружного кольца



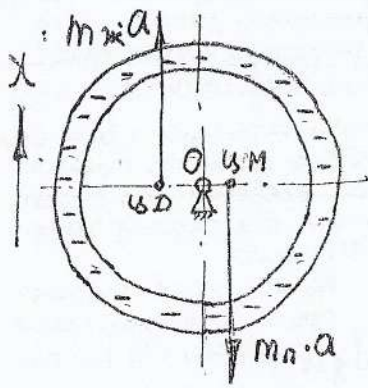
Диссипативные моменты (Трение, смазка, ...)



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

• Это прибор неидеально ведет себя при ударах и вибрациях

Гидростатический подвес поплавковых приборов



Зазор между поплавком и стенкой камеры заполнен вязкой жидкостью с большой плотностью $\rho \approx 1,8 \dots 2 \frac{г}{см^3}$ (Негтоновская жидкость)

При равенстве средней плотности поплавка $\rho_{\text{п.ф.}} = \frac{m_{\text{п.ф.}}}{V_{\text{п.ф.}}}$ 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 также приложенная сила (U_M и U_D) совпадают, то при любой ориентации α поплавок будет невозмущаемым, а реакции в опорах поплавок равны нулю. Следовательно равным нулю будет и момент трения в опорах. Эта ситуация нарушится при изменении температуры Δt . Объем поплавка V_n очень мало изменится при Δt (следовательно $\rho_n \approx \text{const}$), а плотность жидкости $\rho_{ж}$ изменится. Все компенсируется за счет поправки длины поплавок, т.е. в результате

Всё компенсируется за счёт Упрощения
2. Подготовок документов подлежит сворачиванию

$\rho_{ж} = \rho_{ж0} (1 - \alpha_{ж0} \Delta t^\circ)$, где $\rho_{ж0}$ — плотность при температуре нулевой плавучести поправка, α — температурный коэффициент объемного расширения жидкости $\alpha_{ж0} \approx 0,1\% / \text{град}^\circ$. 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 недопустимого давления при нагреве. В то же время он должен обладать достаточной жесткостью, чтобы обеспечивать срабатывание 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 подравнивании жидкости исключается образование в ней пузырьков паров, взаимодействующих с поплавком и создающих возмущающие моменты.

- * Мудкость зависит от толщины
- * Мудкость зависит от качества под давлением силы факта.
- * Поплавок может быть цилиндрическим, сферическим
- * Цена в воздухе

Берём только Ньютоновские

Прекрасно работают при $\alpha > 0$

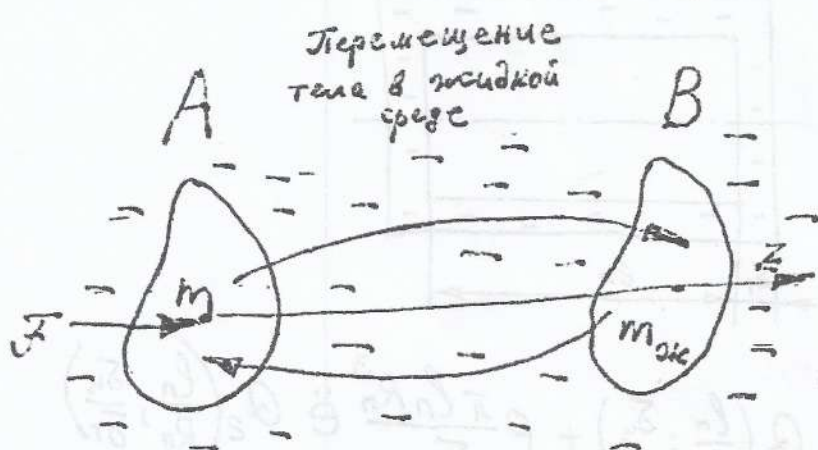
Присоединенная масса жидкости

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

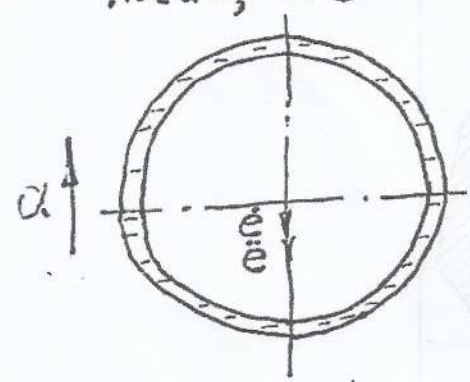
\ddot{z} - ускорение и то и другое
 F - вы. сила, вызывающая движение

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

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

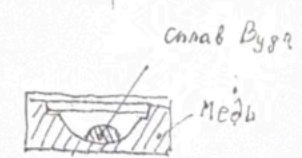
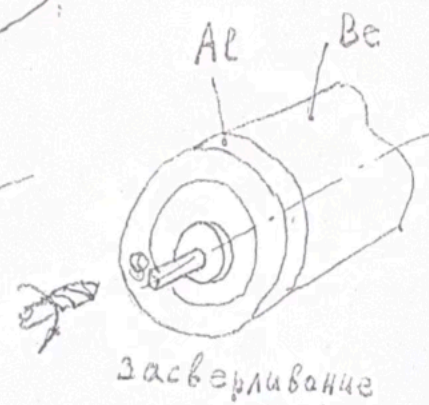
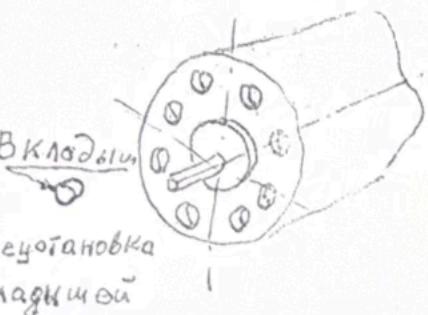
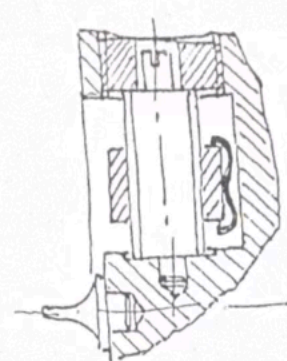
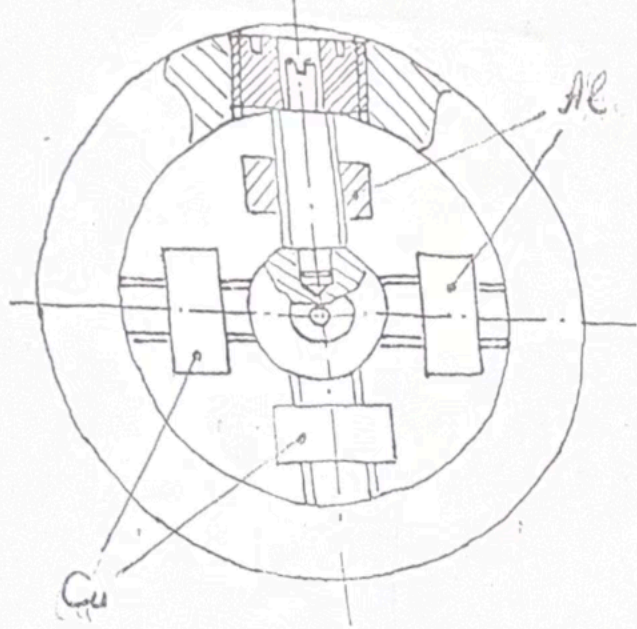
Физически при движении
поплавок на расстояние e перемещается
масса вытесненной поплавкой жидкости $m_{ж}$
Но из-за того, что течение происходит
через длинную тонкую щель с ускорением $\ddot{e}_{ж}$
Требуется приложить к поплавку очень
большую силу. При этом происходит
редукция ускорения, а не массы,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

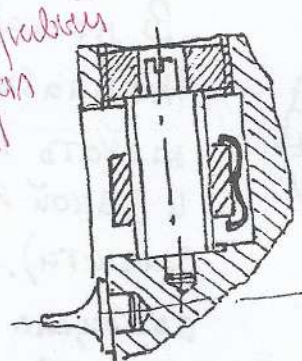
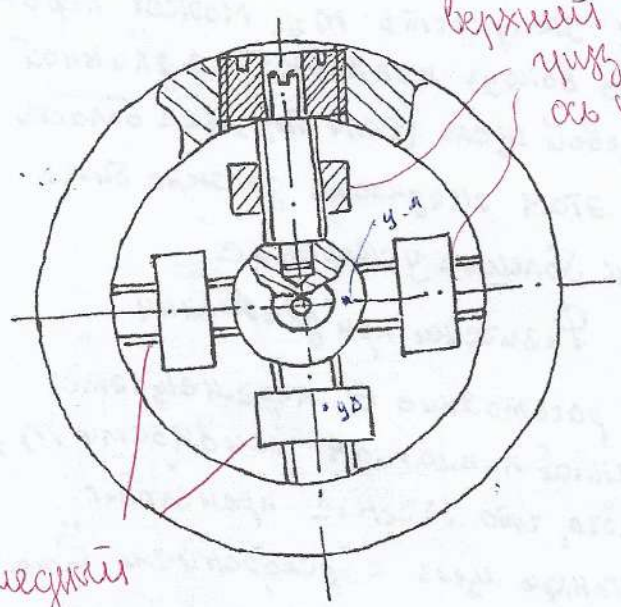


Балансировочная
 ампула

из-за инерции
 Т-Торнадо

Вид сбоку

Верхний и правый
 цузы вынес
 ось из Al



медный

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 несиметр, то изменится из-д.
 Можно сместить медный грузик, это и обеспечивает перемещение из-м.

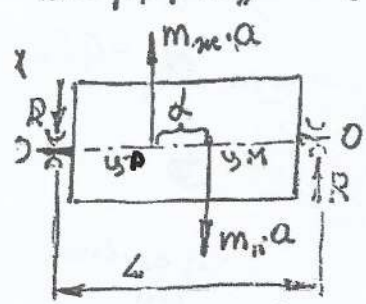
Один грузик делается
 смещать центр масс, из-д

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

Объемная балансировка прибора

Экзбалансировка - несовпадение Ц.М., Ц.Д. и оси поворота ОО, обеспечиваемой центрирующими элементами (опорами поправки).

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

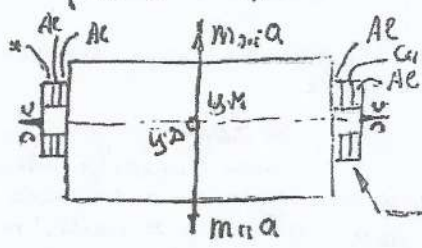


Реакции в опорах будут иметь место и при нулевой поправке ($m_п = m_ж = m$)

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

Для обеспечения $d=0$ необходимо: 1) Правильно распределить массу в поправке

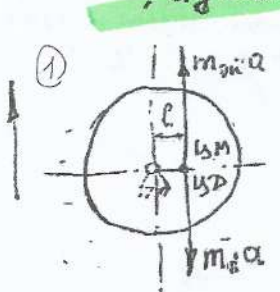
2) Устранять остаточный дифференциал, перемещая балансирующие грузы (иногда подрезают слой олова, наплавленного на торцевые элементы поправки)



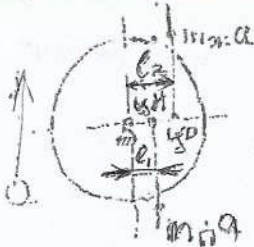
Внутри поправки ГМ, справа ротор ДМ, слева ротор ДУ. Ротор можно сдвинуть влево/вправо, чтобы Ц.М. и Ц.Д. совпали, тогда моментов не будет.

$R=0$ 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, чтобы ни правая, ни левая не выскочили

Радиальная разбалансировка поправки.



$M_{разб} = 0$ 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 поправки"

Прибор после сборки отдадут на заказку тикую тью, заканчивают из, земеляют тикую тью, перемещают

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

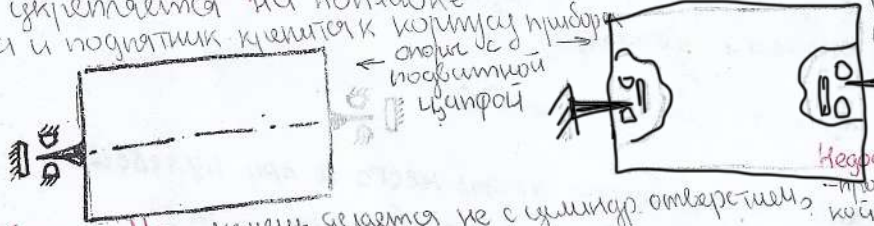
① когда Ц.М. и Ц.Д. совпадают, то сдвигение поправки прецизируется, $F_{арх}$ = весу поправки. Момент разбалансировки отсутствует, пока сохраняется неизмен t° .
 Как выявить момент разбалансировки? Радиальной: балансировка в 2-х разных тикостях (баланси ровочные тикосты).
 + поправочные приборы работают $t^\circ \sim 0,5 - 60^\circ$ (при отриц. t° тикость цуетет)

Цанфа неподвижна, она закреплена в корпусе, шпилька поворачивается на торцах удерживая втулку каменной и подпятник

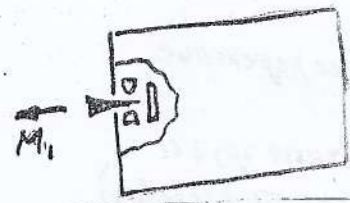
Схемы подвески каменных опор

Момент откатки компенсируется, момент от втулки = 0

- Цанфа закрепляется на полавке
- Втулка и подпятник крепятся к корпусу прибора



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



Подпятник
идеальный крп
Алс = 0
R проходит
через центр
шпильки



Подпятник
близкий
(розетка)
R не проходит
через центр втулки
Алс = 0

Недостаток:

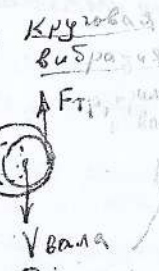
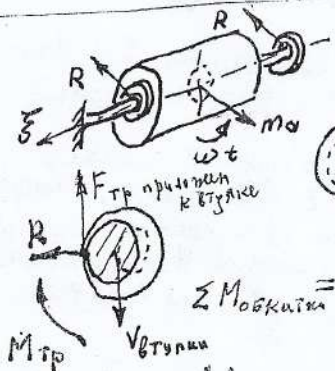
- проблема с полем крп
- крп центри
- трудность зажима цанги
- цанга из МТМ (правл. момент)
- тателля

кардинг вольфрама



$d_{ср} = 0,5 \text{ мм}$

Втулка без оливажа
идеальный крп.
(розетки нет).
Алс = 0



Как ориентир сил реакции? ($M_{тр} = 0$)
реакция в опоре должна быть перпендикулярна поверхности цанги, реакция проходит через центр цанги, плеча нет

- + на полавке нечему ломаться
- нет МТМ 41-тов или узле
- чистая цилиндрич., это хорошо, но когда начинают скручивать, появ. розетки

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

Момент трения в цилиндрич. опоре

коэф. трения стали

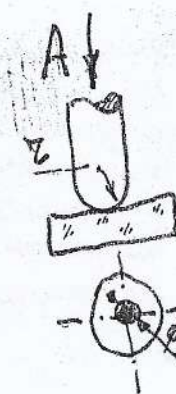
$M_{тр} = \frac{4}{\pi} \mu R \frac{d_z}{2}$

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

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

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

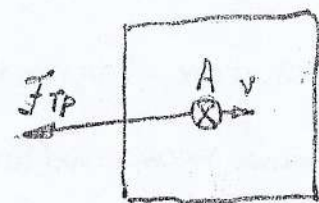
r - радиус кривизны контакта камня с порожком



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

$v \rightarrow 0 \Rightarrow F_{тр} = 0$

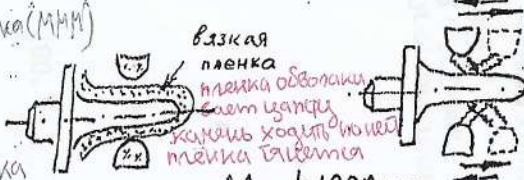
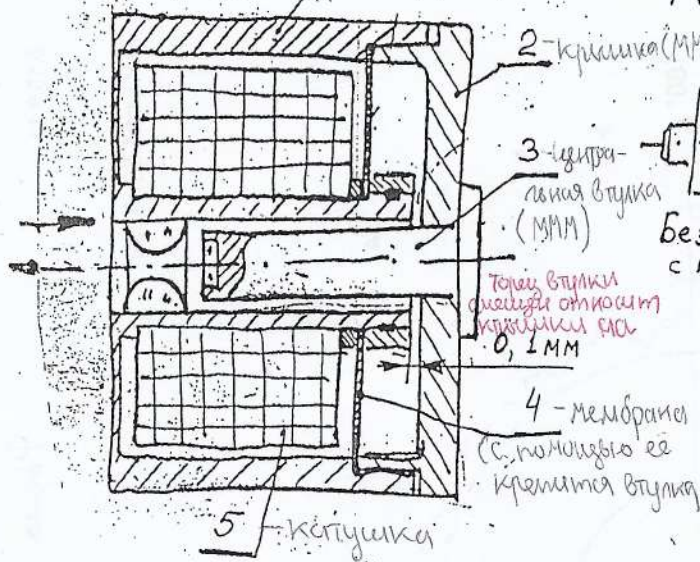
Зависит от v , $v = 0 \Rightarrow M_{тр} = 0$

Видеопора

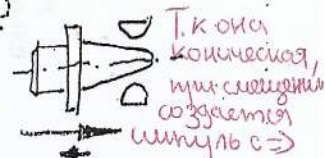
мощность ~ 0,05 Вт.

1 - корпус (МММ)

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



В ГП используется изгиб втулки, а в виде корпуса эти втулки взаимодействуют с втулкой ИП постоянно

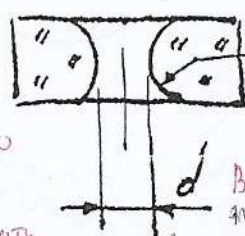
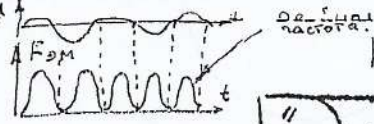
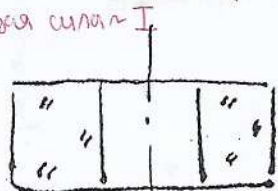


Коническая втулка (или импульсный резистор)

⇒ Помеховик взаимодействует так далее

Амплитуда движения втулки 1...10 мкм

Возникающая сила ~ I

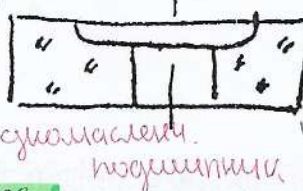
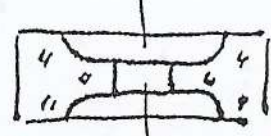


Принцип действия

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

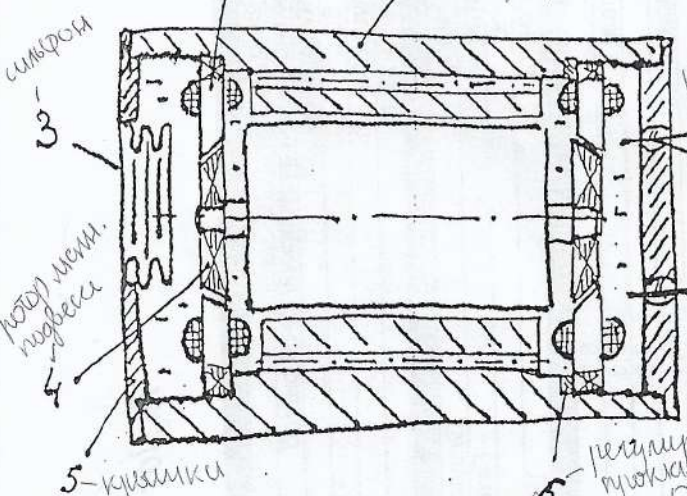
Вот что, что есть МП в зазоре возникает электрический ток в зазоре. Они притягивают втулку корпус к крючико. Зазор 100 мкм. Мембрана удерживает втулку деформируется. Сила, отклоняющая втулку возвращает к исходному положению. I меняет направление, ↑ возникает ЭМ сила.

Катушки совершают возгор - производят движение. Пропадает трение, которое мешает поворачивать. Уменьшается МТР



Магнитный подвес

2-статор магн. подвеса
1-корпус (МММ)



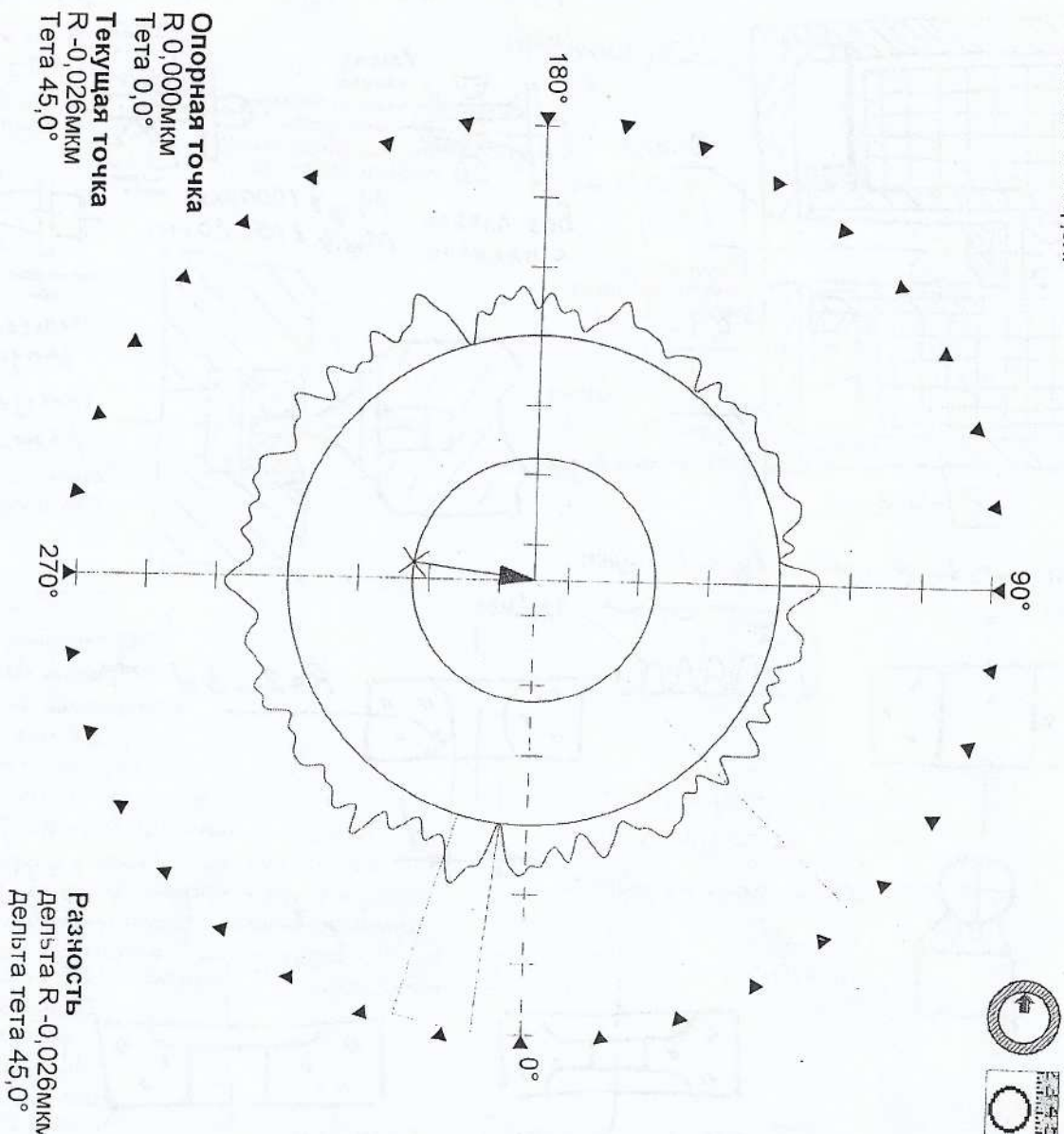
Нет заклинивания при перекосах.

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

- Нагревается штифт → жидкость расширяется
- Если давление жидкости может быть такое, что втулка протекает. Чтобы этого не было, втулку поворачивают для отвердения (обводки катушки)
- Между штифтом и статором 0,1 мм → делают прецизионную сборку штифта

5.13.8.11

Масштаб 50нм/дел.

Форма поверхности во время сглаживания
(резенка).

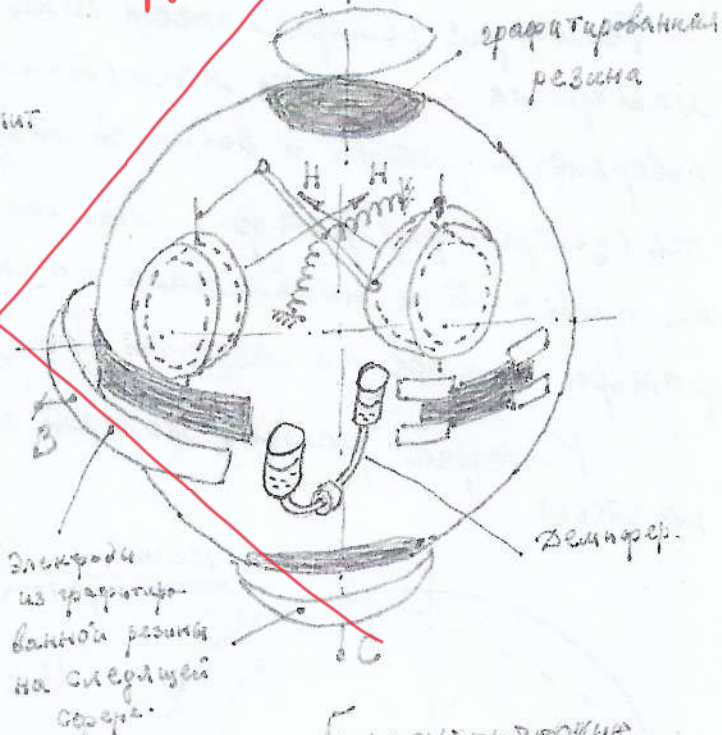
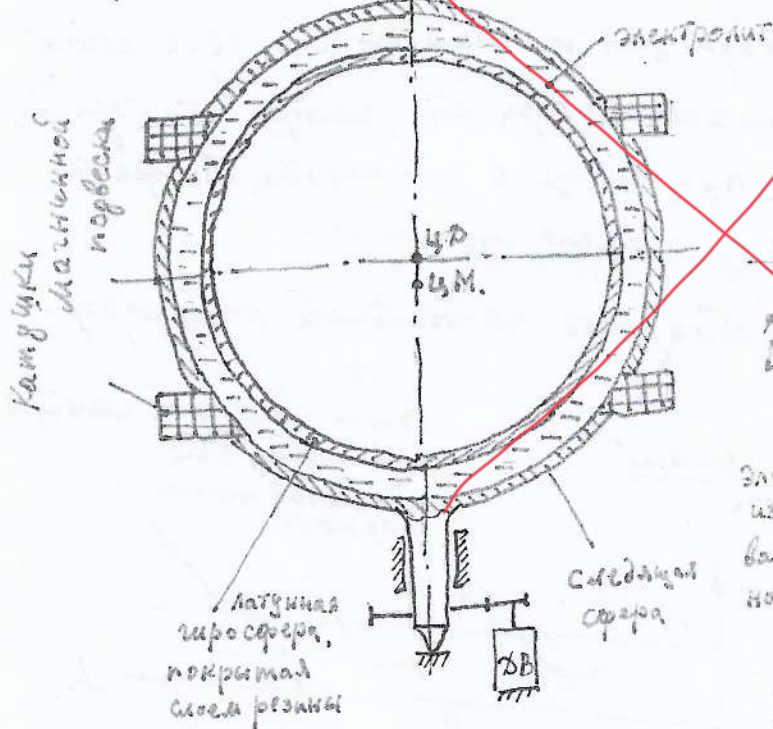
Круглость	
камень 80 0	
RON/Окружность M1/Гауссовский 15-50 нм/06	
06.12.2010 14:28:06	
камень 80 0	
360°/Admin/t365	
06.12.2010 14:27:12	
Спецификация	
Опорный тип	Окружность M1
Тип фильтра	Гауссовский
15-50 нм/06	
Начало отсчета	
Шпиндель	
Параметры	
RONP	0.00 мкм
RONP полож	353.5 °
RONV	0.05 мкм
RONV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

Taylor Hobson
PRECISION

Магнитные поезда

не будет (C)

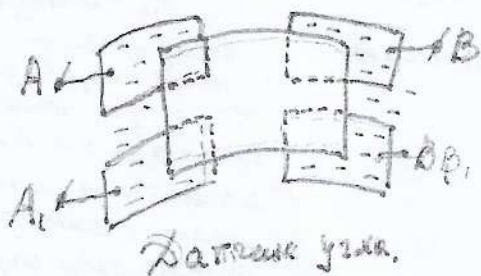
Гирокомпас Анютинца.



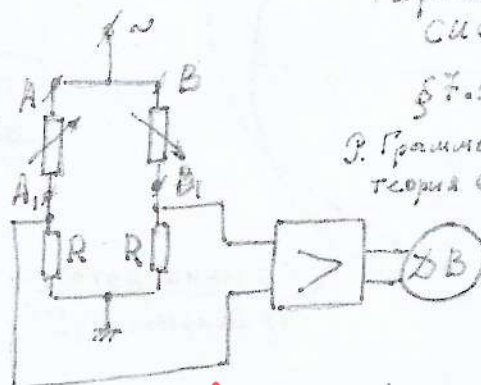
Гирокосмические системы 2. II

Б.Л. под ред. Лисового ДС

В. Граммель Гирокосм и теория его применений



Датчик угла.



Будет

Из центра дуга Билса

Наземный гирокомпас

Взят электромагнит с катушками и магнитный шарик.

Луч света засвечивал резистор, меняя ток, а он координировался на датчике. Если шарик сильно проминался, то переключалось освещение R, I.

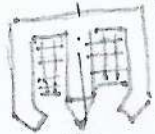
Шарик разбивался (ГП вместо шарика). Получился маятник компаса.

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

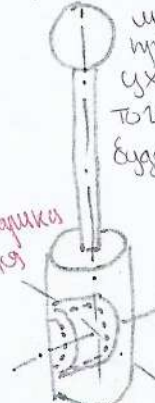
Наземный компас должен иметь источник питания. Как это обеспечивается? Есть спец. токопровод трансформаторный, котор. создает I в катушки. Питает его и раскручивает. Есть ошибки, связанные с шариком.



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



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 прецессию, но мере прецессии И уходит из м-ти меридиана, тогда из-за вращения Земли будет спускаться...



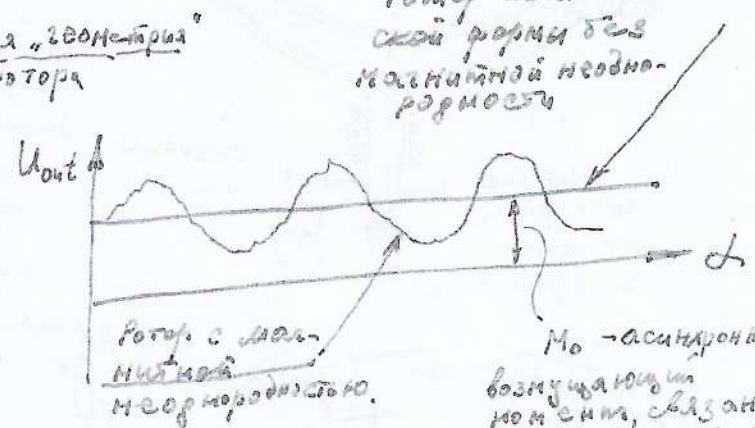
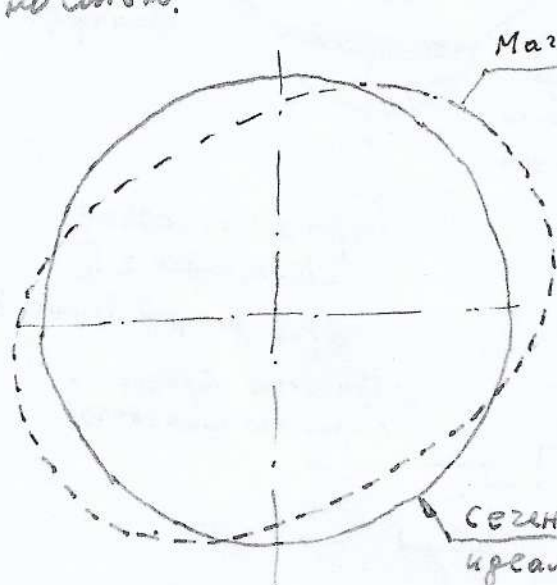
ГП прецессирует в левую сторону, потихоньку зопухнет колебания, И снова на север

8

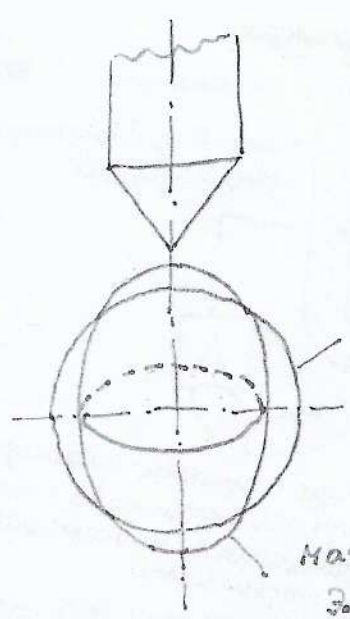
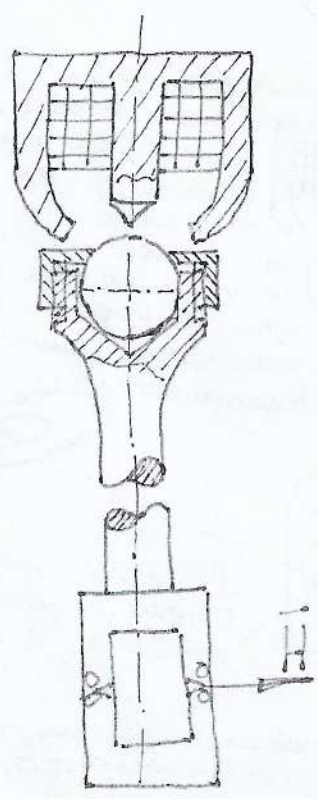
Неоднородность магнитного материала ротора.

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. Дефекты ротора так же не создают возмущающего момента.

Материал ротора может обладать магнитной неоднородностью.



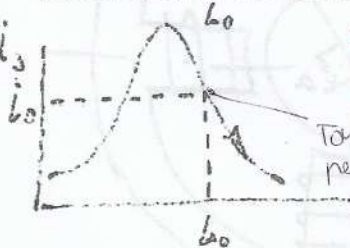
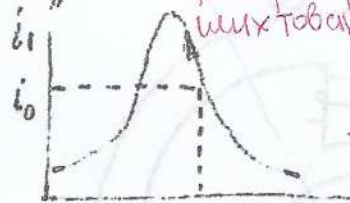
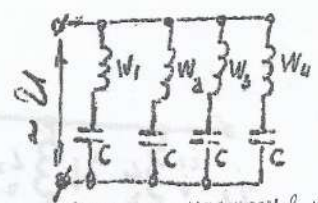
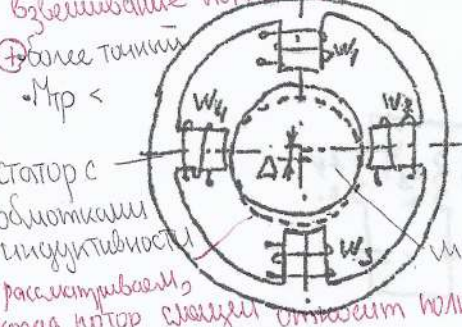
Мо - асинхронный возмущающий момент, связанный например, с наличием вращающегося вектора магнитного поля статора (различия емкостей создает сдвиг фаз тока в обмотках статора). Моменту компенсировать или алгоритмически способом уберечь!!!



Геометрическая форма - шар
Магнитная форма - эллипсоид.

Для минимизации возмущающего момента необходимо совмещать шатунную 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.

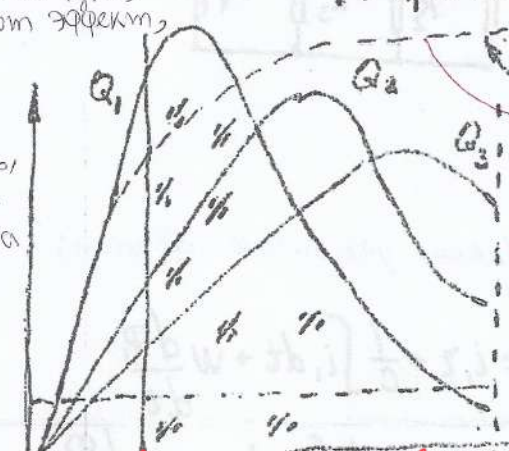
$L = L_0$ if $\Delta = 0; \delta = \delta_0$

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

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

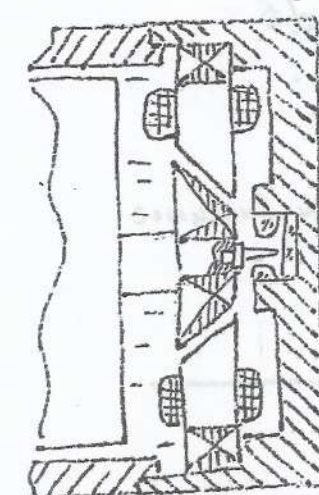
$F = K_{MB}(Q-2) \cdot \frac{x}{1 + K_1 x^2 + K_2 x^4}; x = \frac{\Delta}{\delta_0}$

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



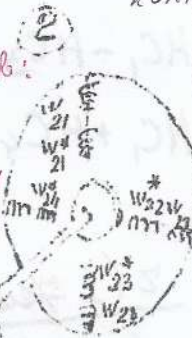
$\frac{L}{C}$ (парал. маг. подвес)
нулевая линия относится к параллельному магнитному подвесу
 $Q_1 > Q_2 > Q_3$
- график зависимости F от x

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:

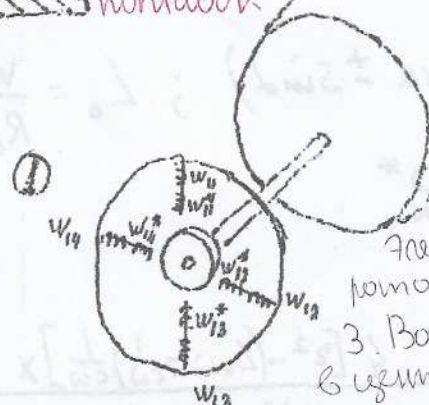
- зазор min 20 мкм
- если добротность маленькая, то подвес быстрее всплывает
- центрирующая сила уменьшения, поэтому стараться не отклонять поправку



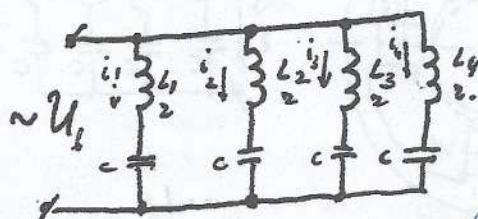
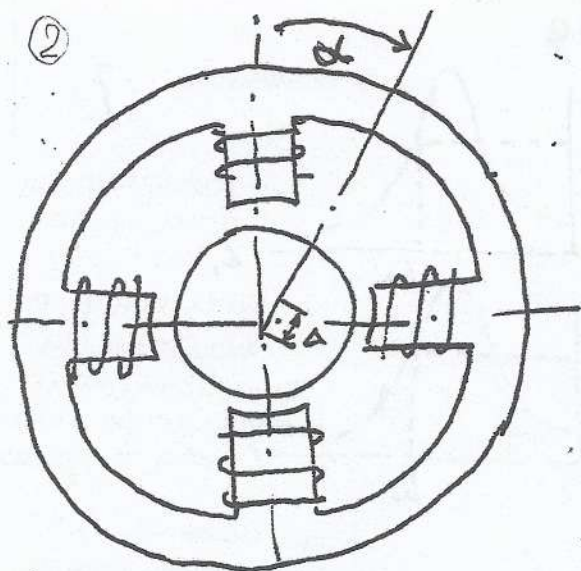
На все полюсы намотаны обмоточные катушки, поперек относительно с этими катушками сдвигается емкость

Как будет работать подвес?

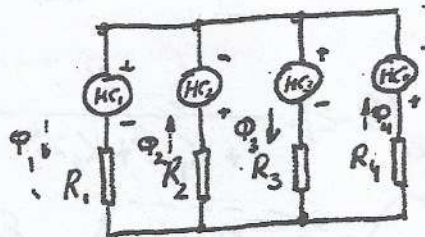
Ротор опустится вниз, к полюсу W_3 . L обмотки \uparrow . $C \uparrow L, I \downarrow, W_1 L \downarrow$, т.к. зазор \uparrow , $I \uparrow$. Возмущение тока поразит 3-ю силу. Т.к. находится за резонансной частотой хар-ки. $I \uparrow$ в 1 контуре, появляется большая электромагнитная сила, которая притягивает 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



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

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

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

$$H_{C1} = W i_1; H_{C2} = W i_2 \dots$$

$$\begin{cases} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 - \Phi_4 = 0 \\ \Phi_1 R_1 + \Phi_2 R_2 = H_{C1} + H_{C2} \\ \Phi_1 R_1 - \Phi_3 R_3 = H_{C1} - H_{C3} \\ \Phi_1 R_1 + \Phi_4 R_4 = H_{C1} + H_{C4} \end{cases}$$

уравнения для питающей цепи:

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

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

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

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

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

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

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

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

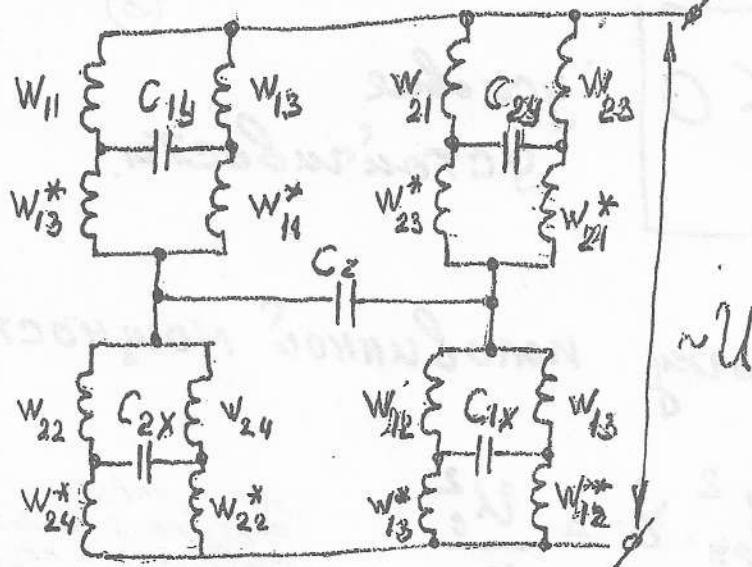
$$F_y = \underbrace{\left(\frac{\omega U}{Z R_0} \right)^2}_{\text{крутизна}} \frac{Q-2}{2 \mu \cdot S} x$$

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)

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

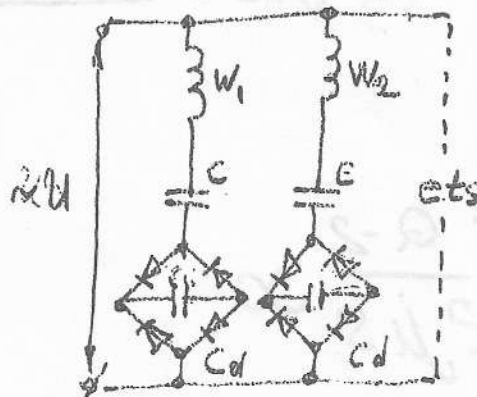
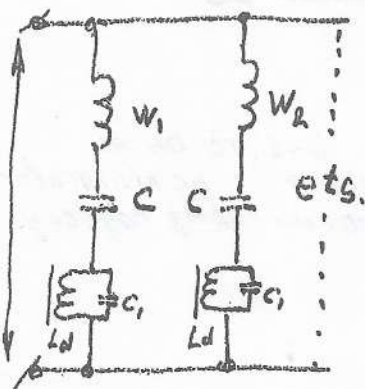
$$U_{Cz} = K \Delta z$$

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.

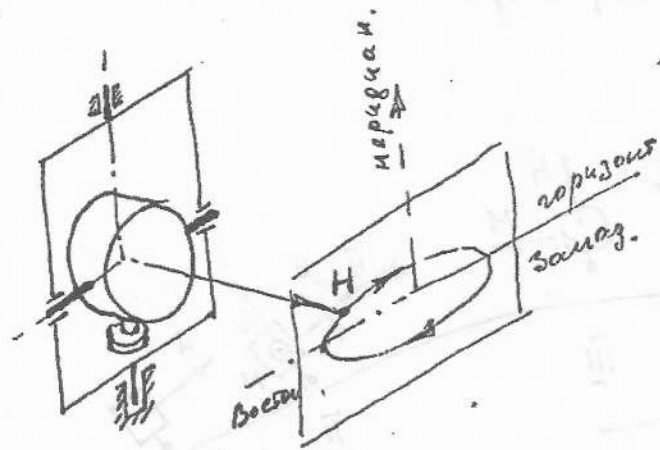


Рис 36.

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

Рассмотрим принцип работы маятникового гироскопа.

Пусть над некоторой точкой земной поверхности гироскоп установлен так, что ось H находится в горизонтальной плоскости и направлена к полюсу (рис. 37 положение I). В этом положении маятник останется вертикально и не будет отклоняться. За счет вращения Земли через некоторое время гироскоп перейдет из положения I в положение II. При этом ось H кинетического момента за счет свойств гироскопа сохранит положение H неизменным расположением по отношению к горизонту и на гироскоп действовать маятник, равный $G \sin \beta$, где G и β — вес и угол маятника, β —

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

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

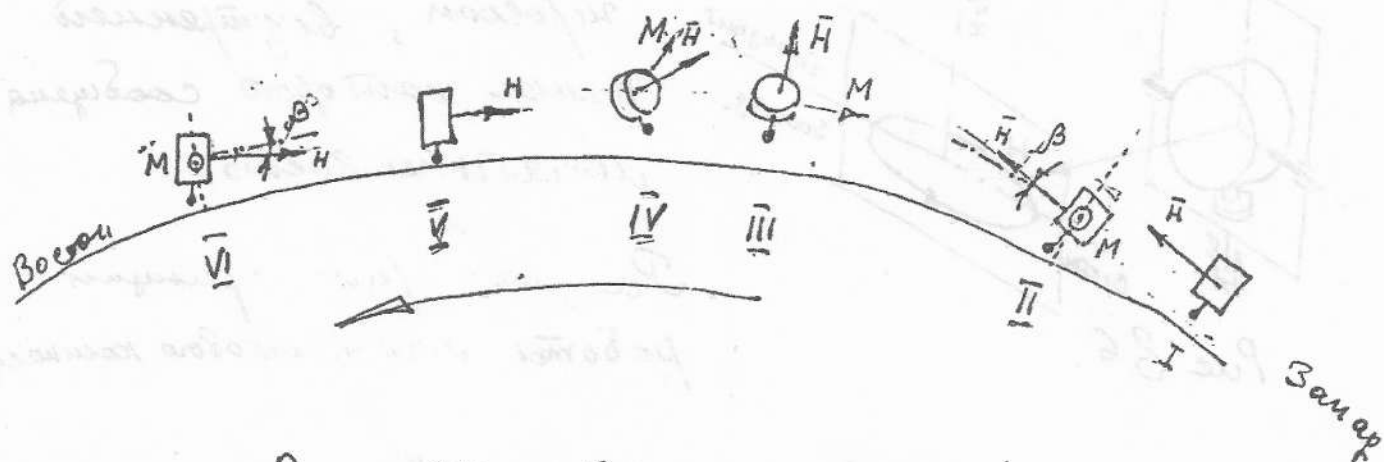


Рис. 37 Вид на широкон со стороны Северного полюса

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 совмещения с вектором H и угол β будет уменьшаться (положение II). Такое движение будет продолжаться до совмещения H с Западным направлением (Положение I), при котором β и маятниковый момент станут равными нулю.

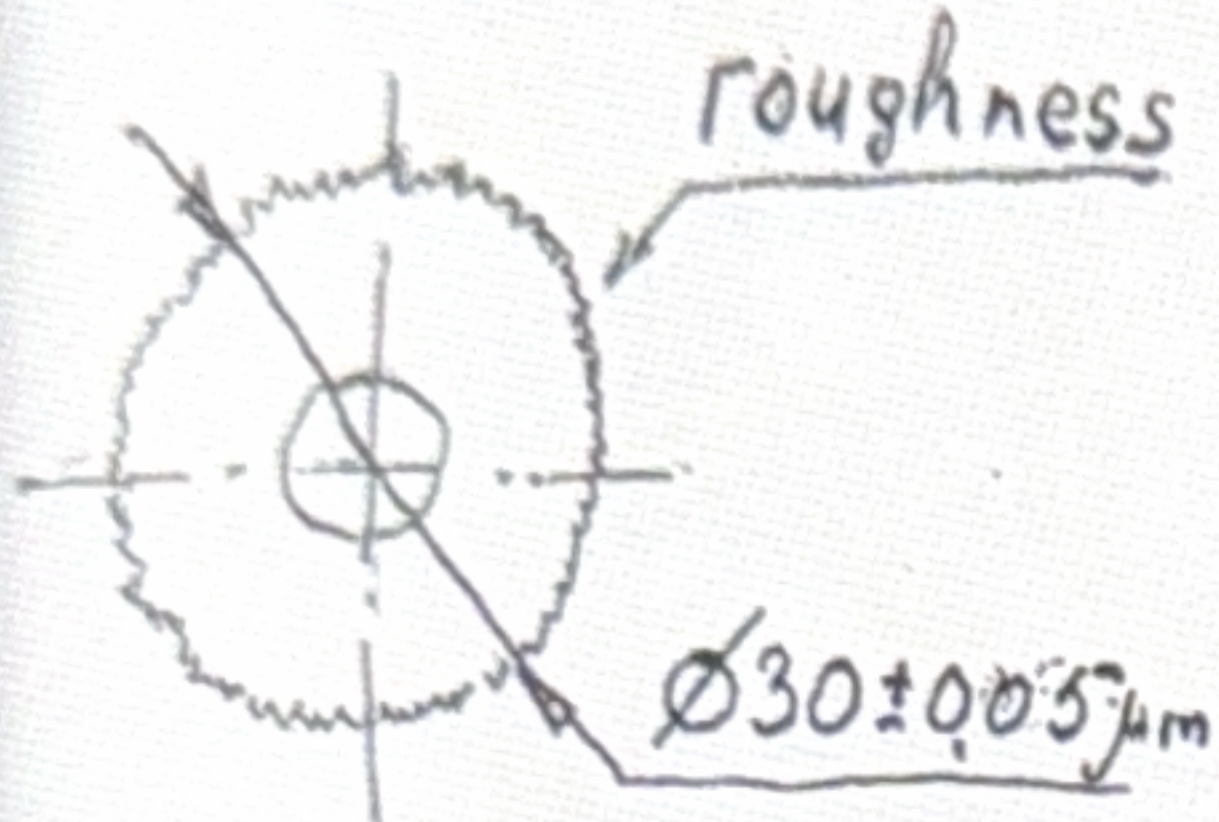
В следующий момент ^(положение II) вектор

Elastic revolting moment of Magnetic bearing

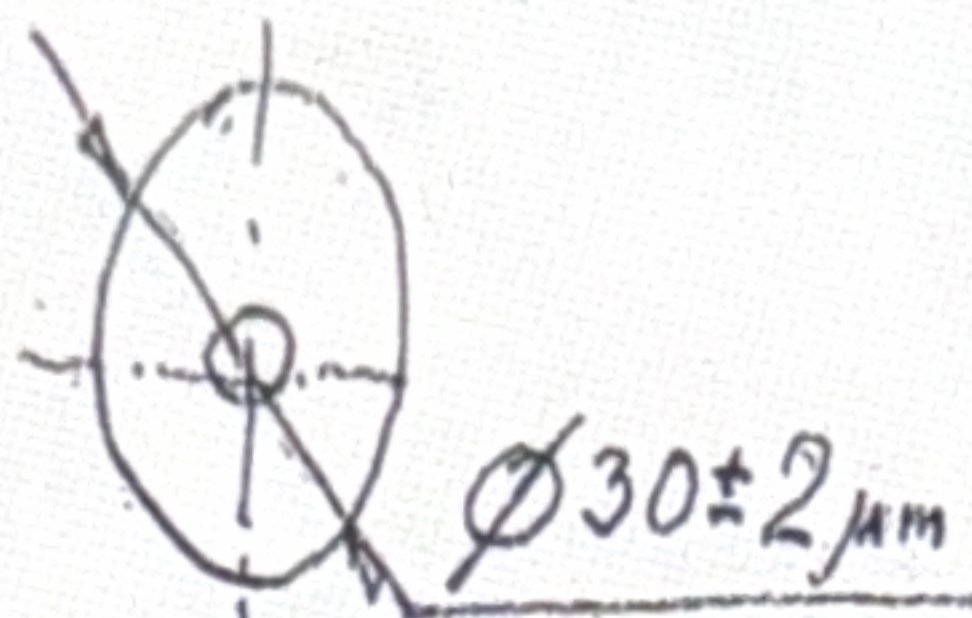
(4)

High frequency part

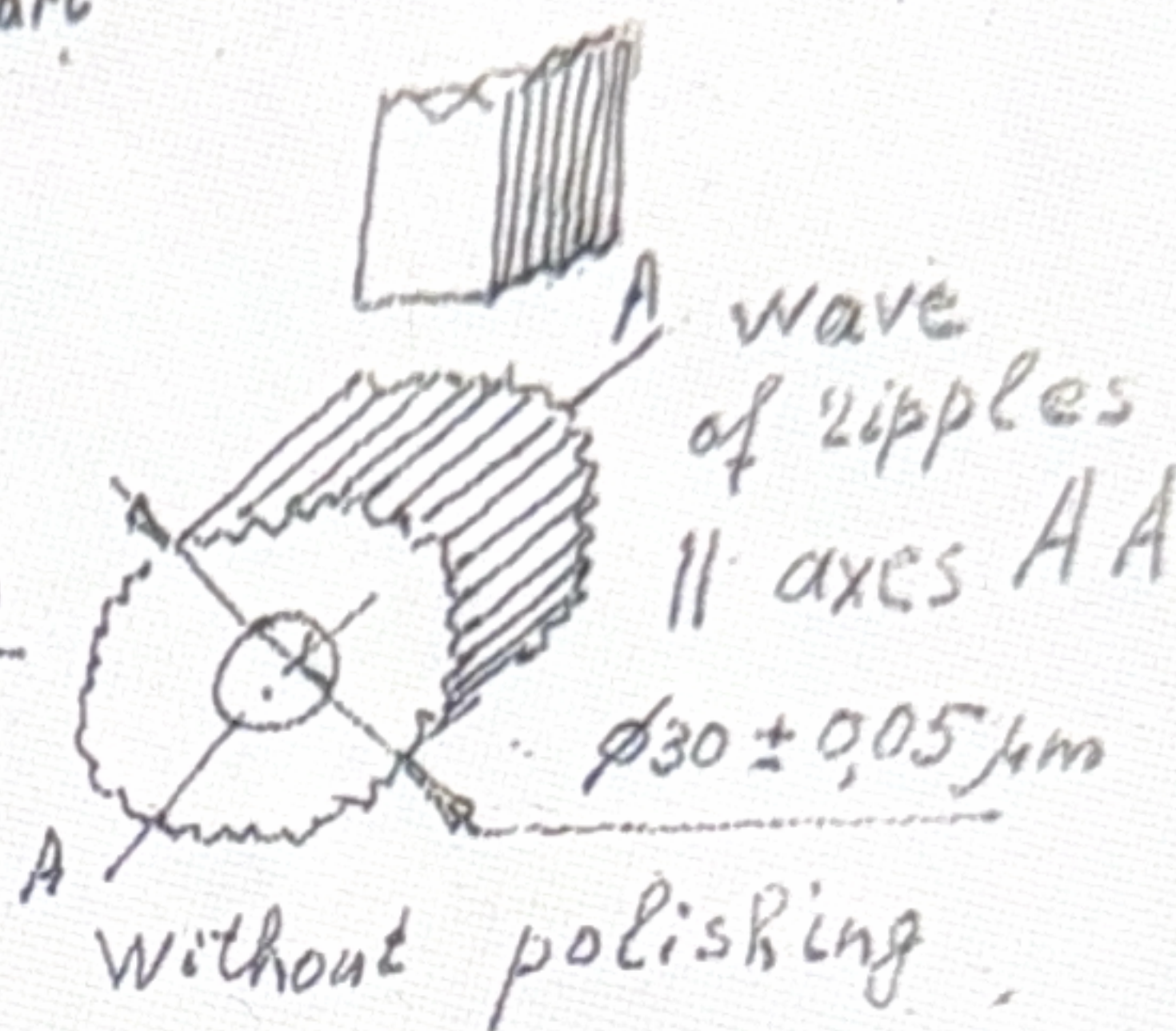
Rotor



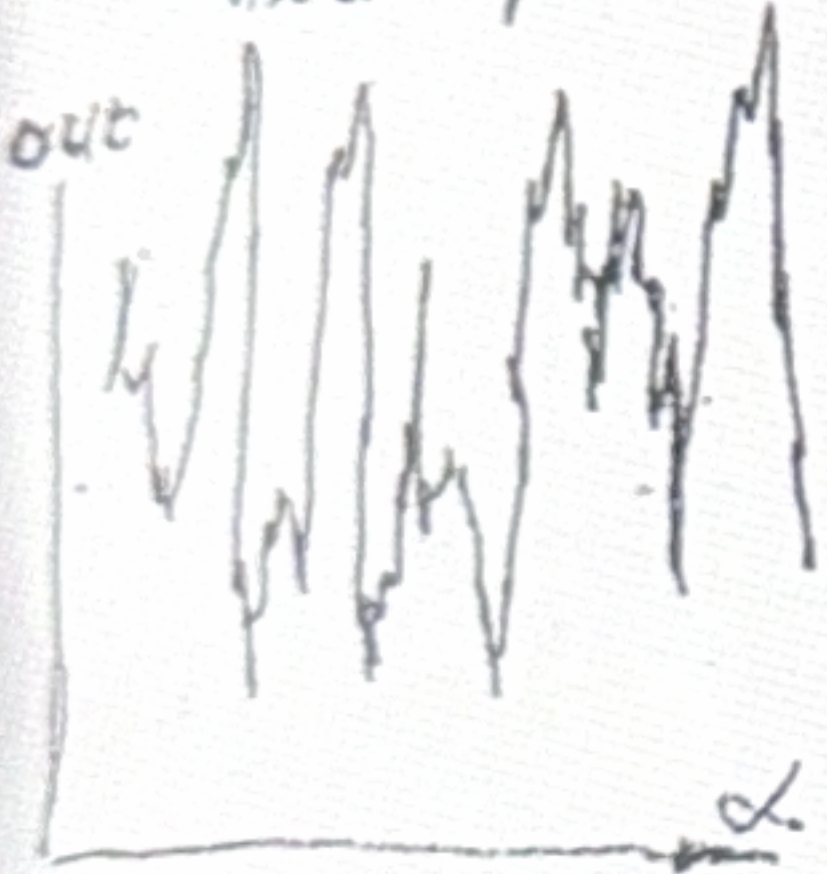
Low frequency part



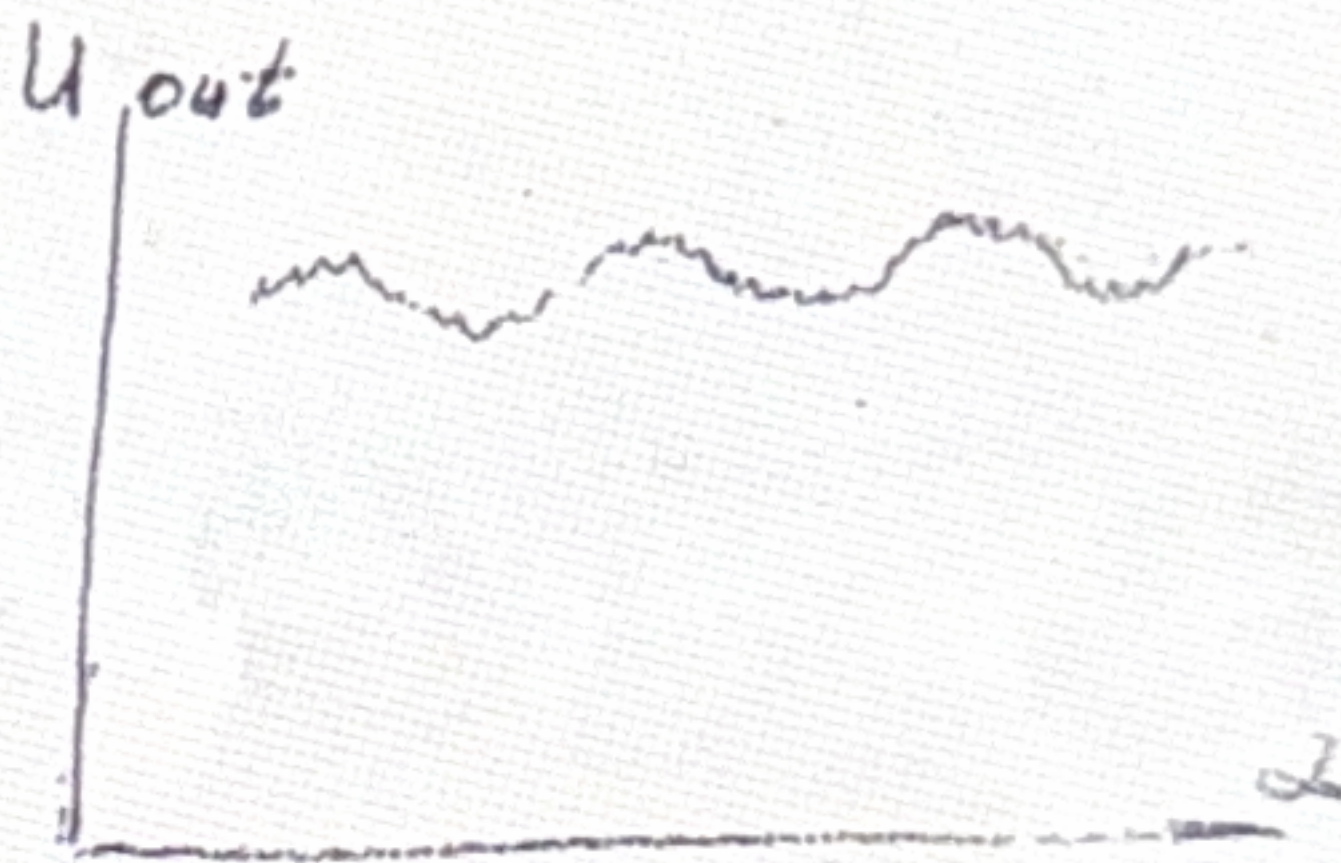
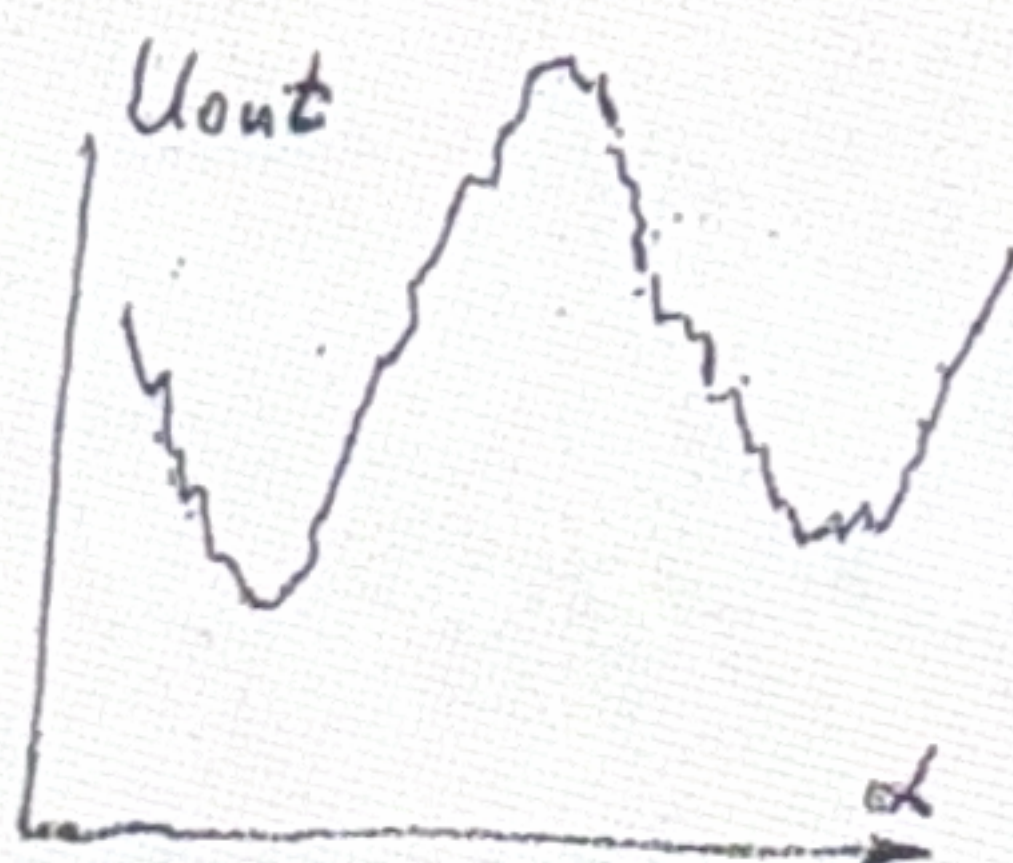
Slanted edge of pole



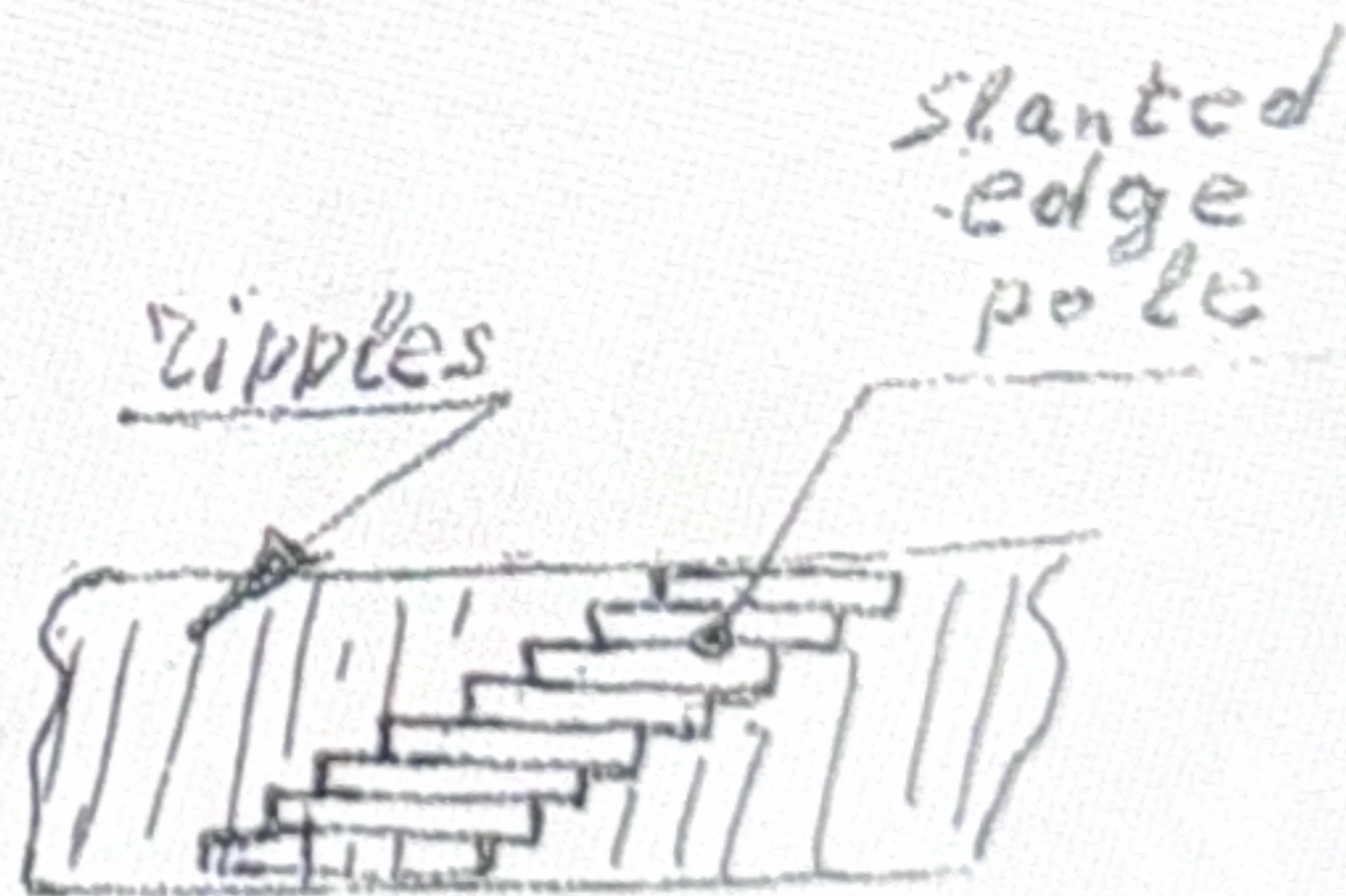
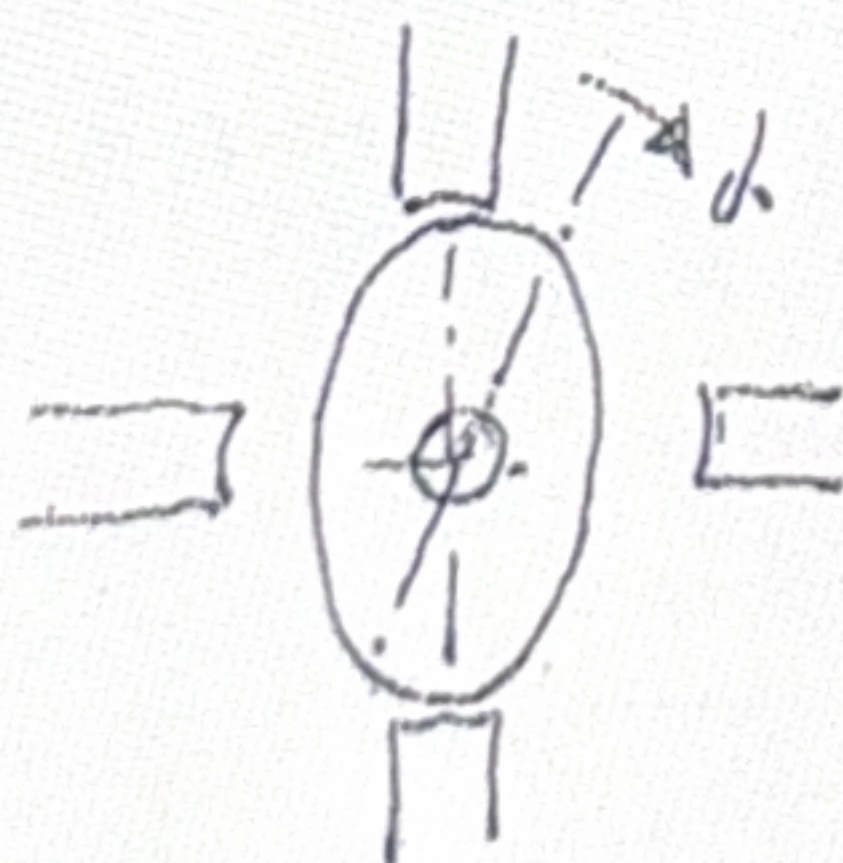
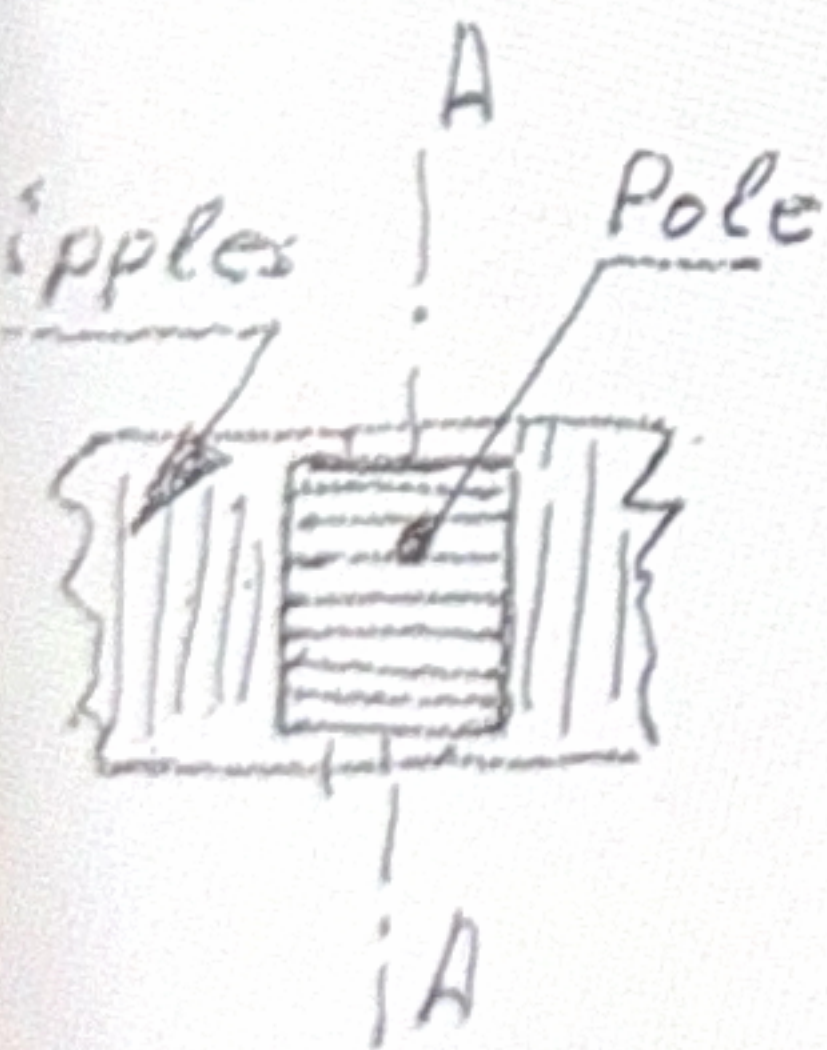
without polishing



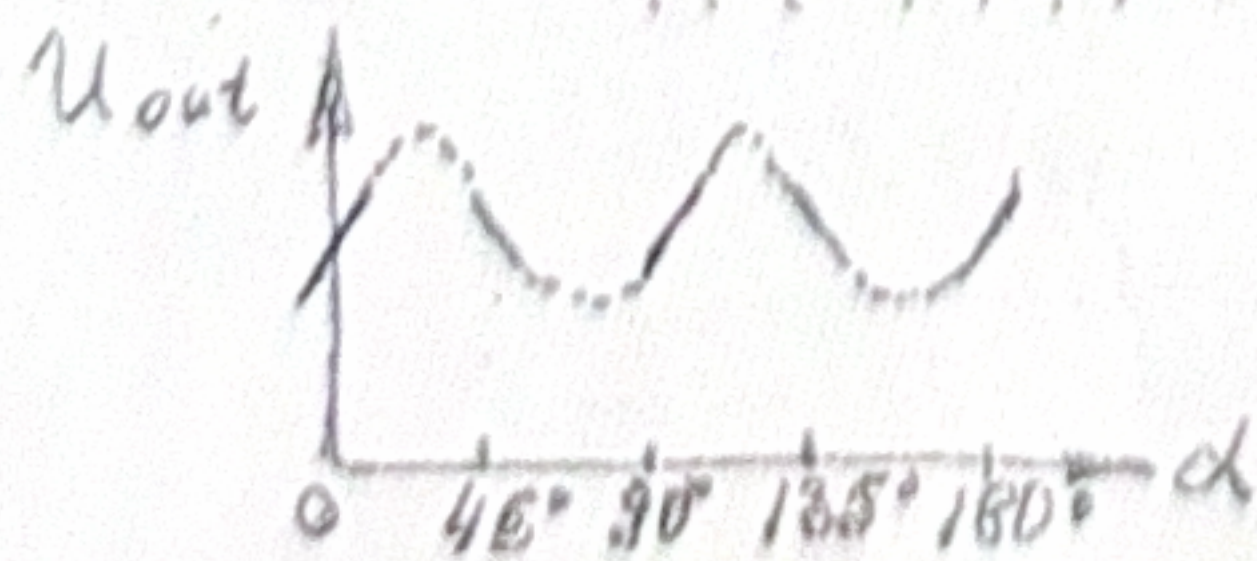
after polishing



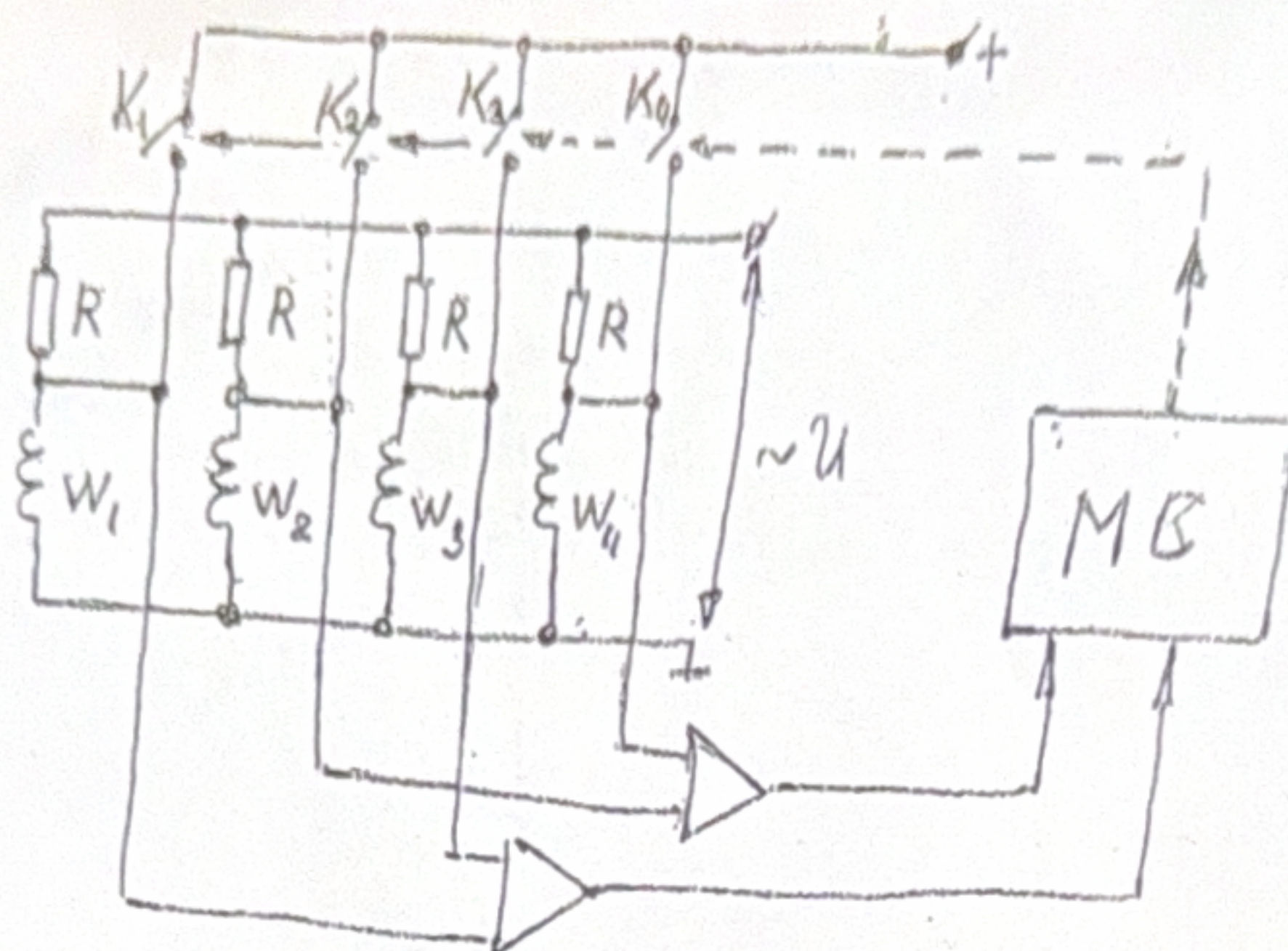
Rotor-ellipse



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



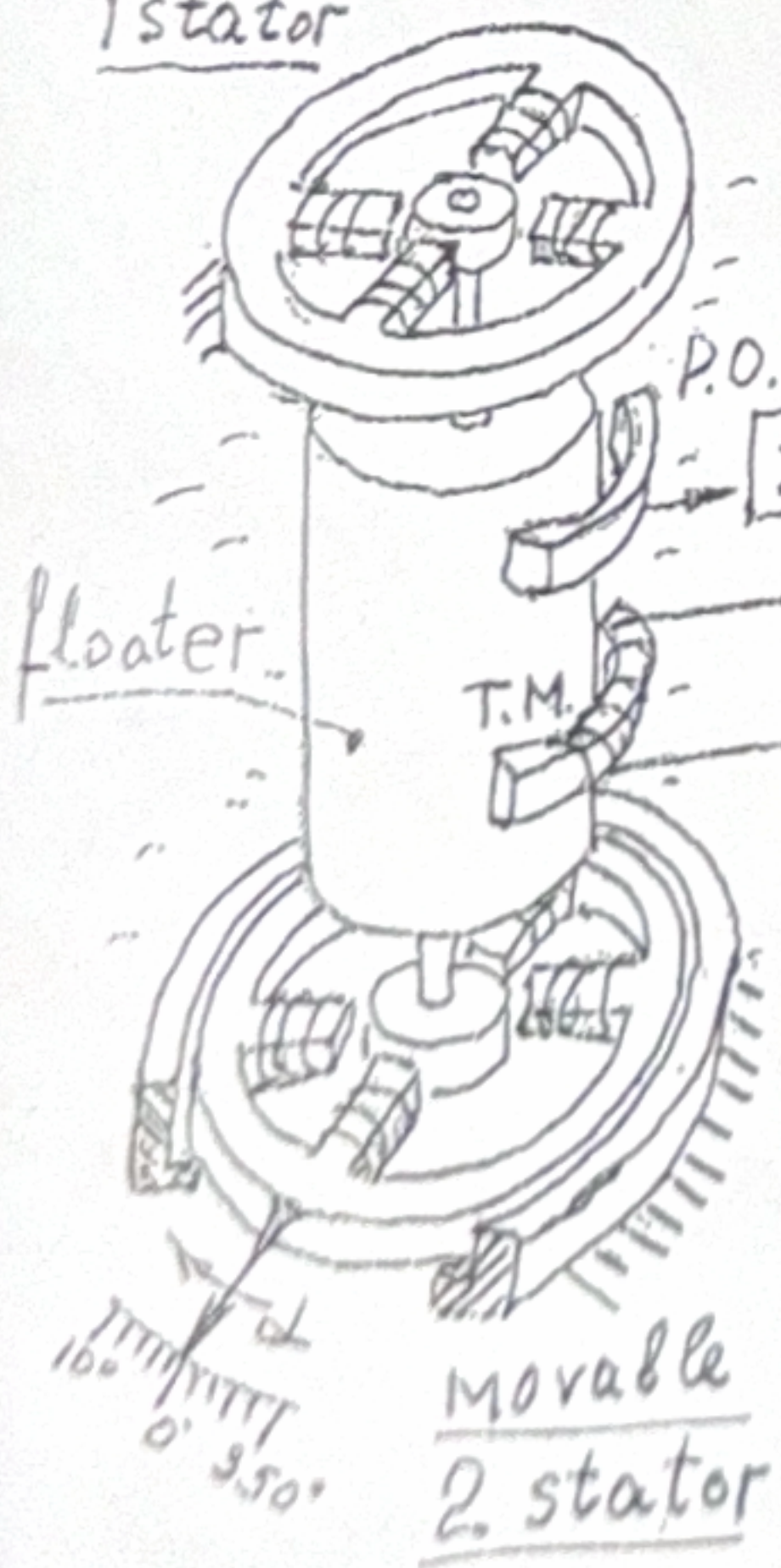
Active Magnetic Bearing



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

TEST OF MAGNETIC BEARING

fixated
stator

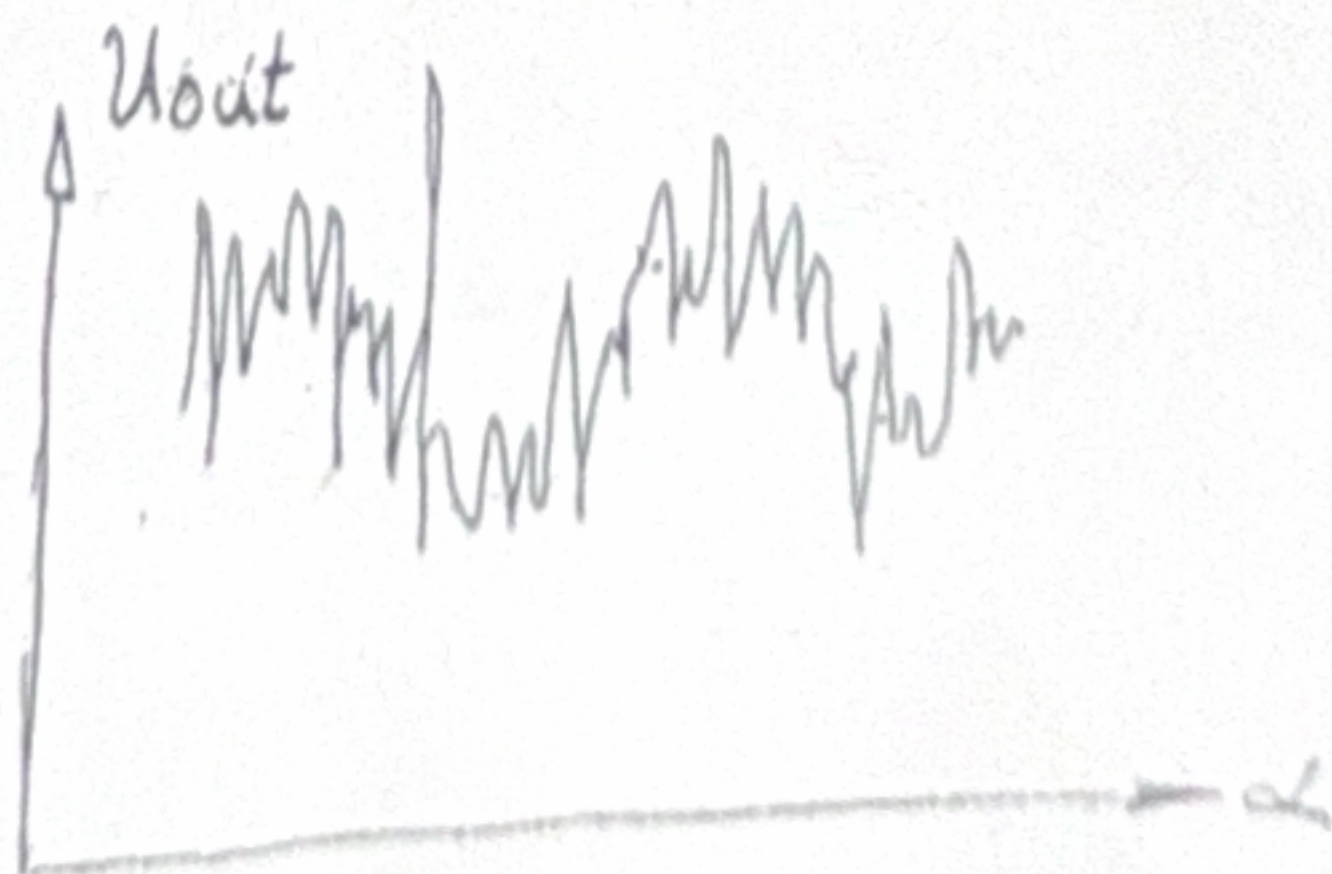


$M_1; M_2(\alpha)$ - revolting moments
of 1 and 2 magnetic bearing

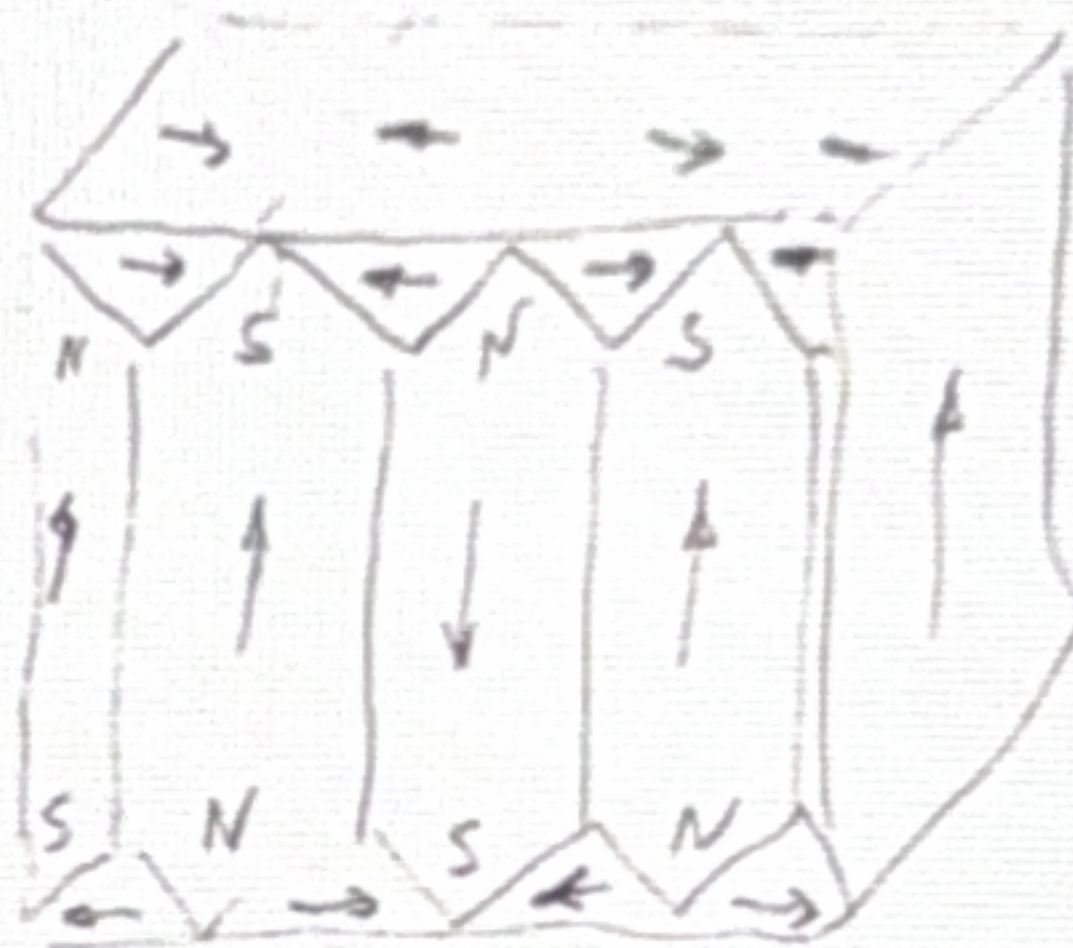
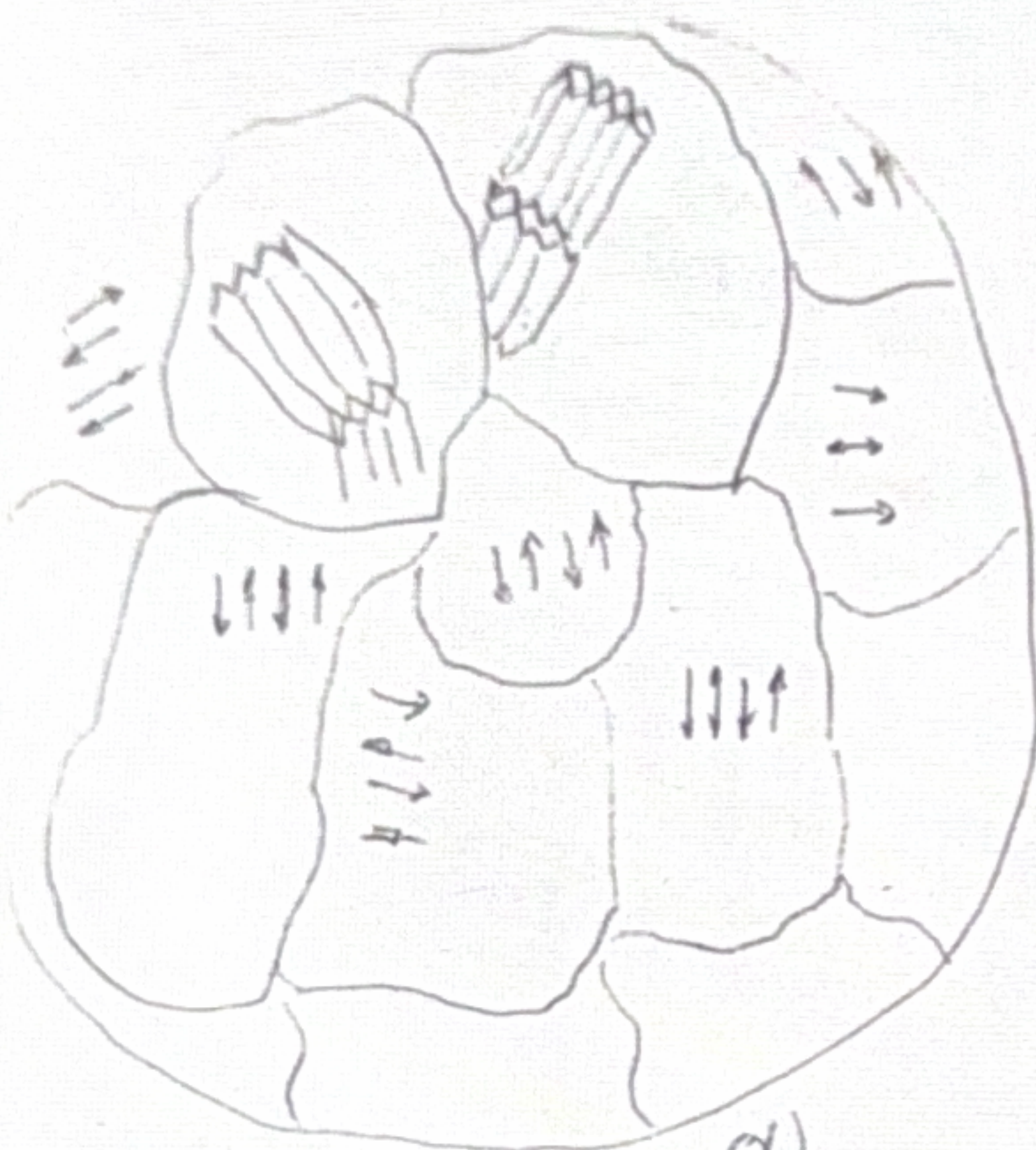
$$J_{TM} K_{TM} = M_1 + M_2(\alpha)$$

$$M_1 = const$$

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



(18a)



a)

b)

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

В

A

Углы насыщения

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

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

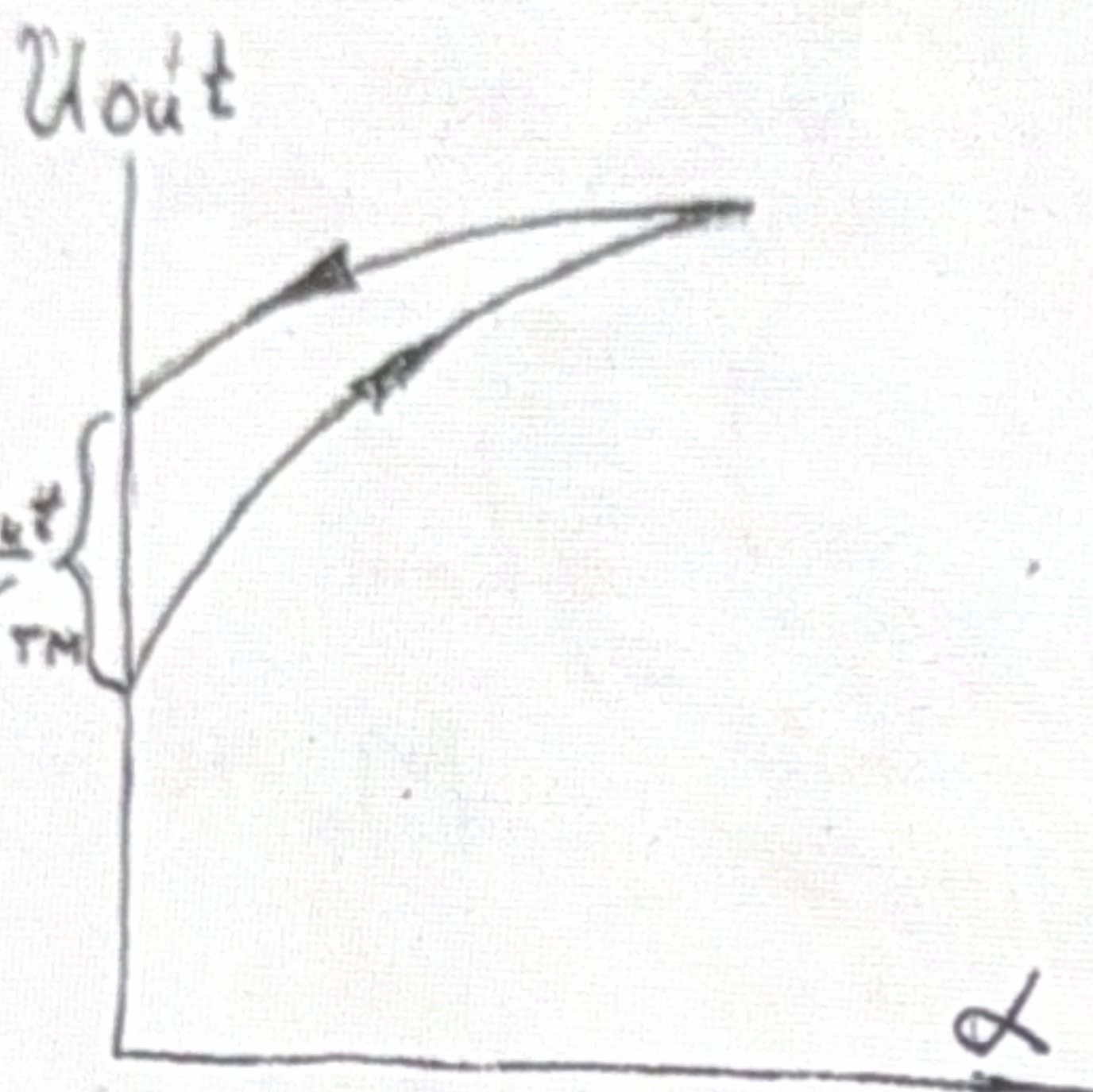
(Зерна с доменами, не совпадающими с направлением намагничивающего поля)

Углы перемагничивания, связанные с перемещением длинных

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

Рис 18 Углы перемагничивания структура магнитного 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

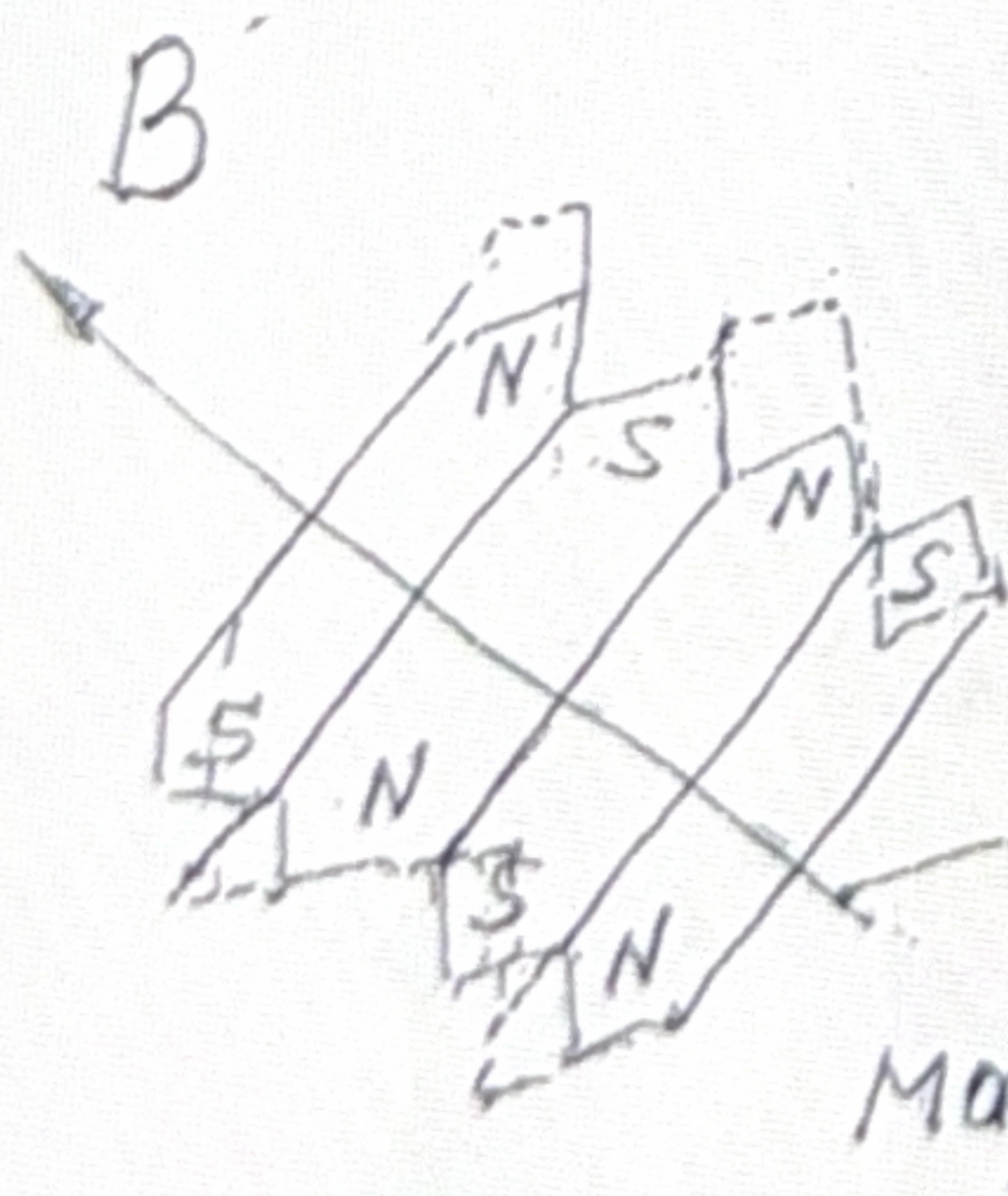
case 1

axes light magnetisation



after magnetisation
axes light magnetisation
don't change

case 2



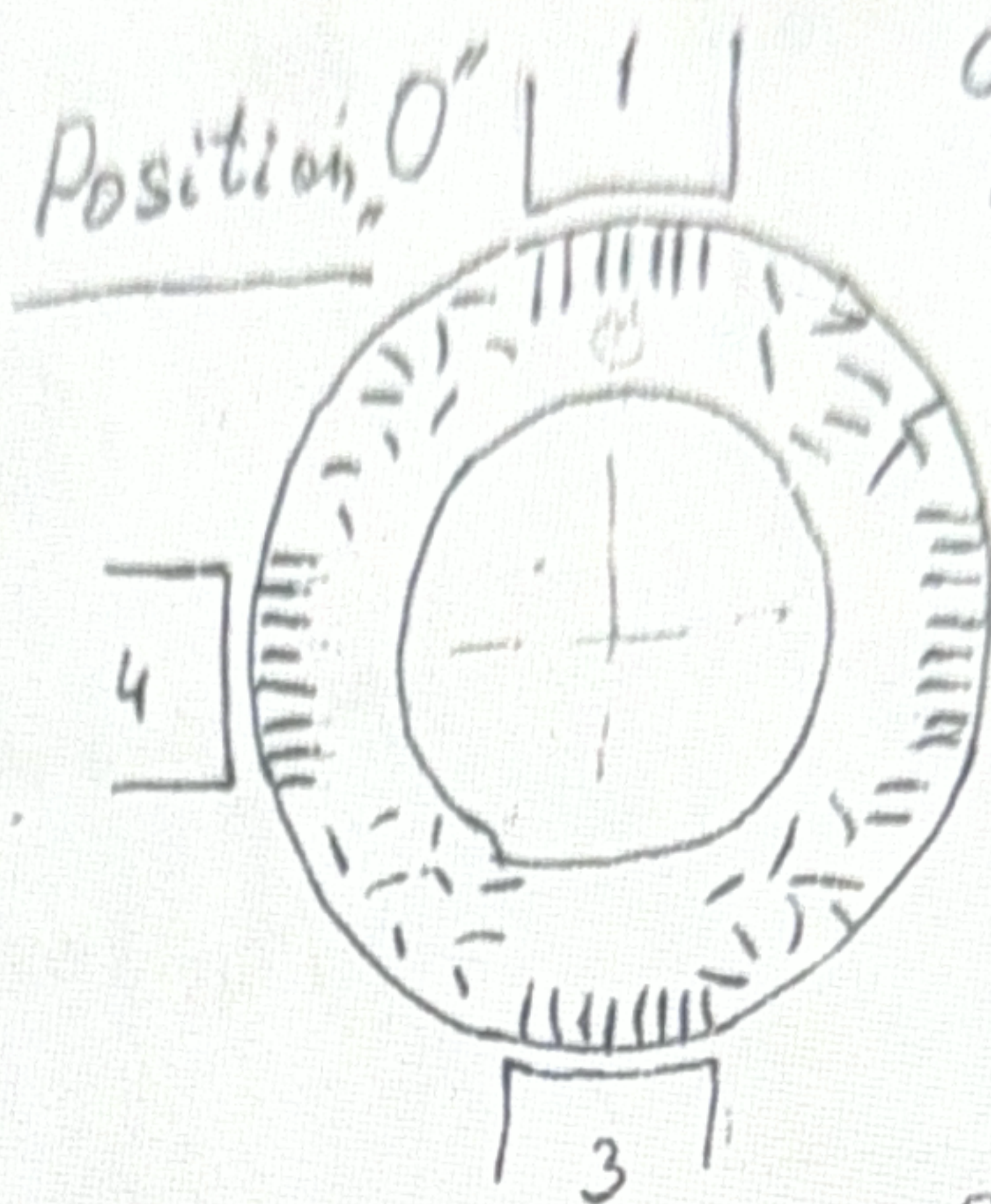
axes
hard
magnetization



after magnetisation
axes light
magnetisation
changed

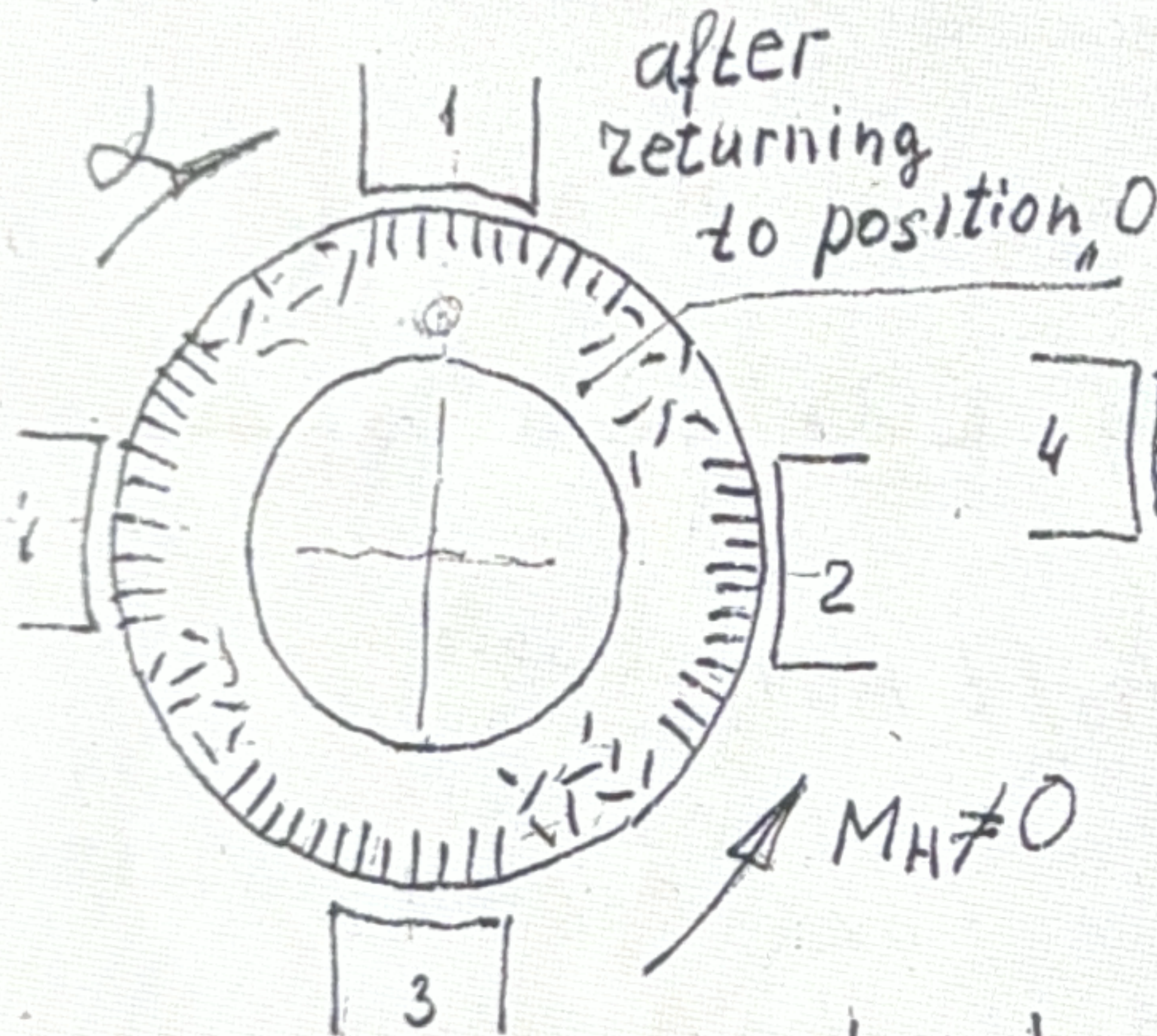


Structure of rotor after heat treatment



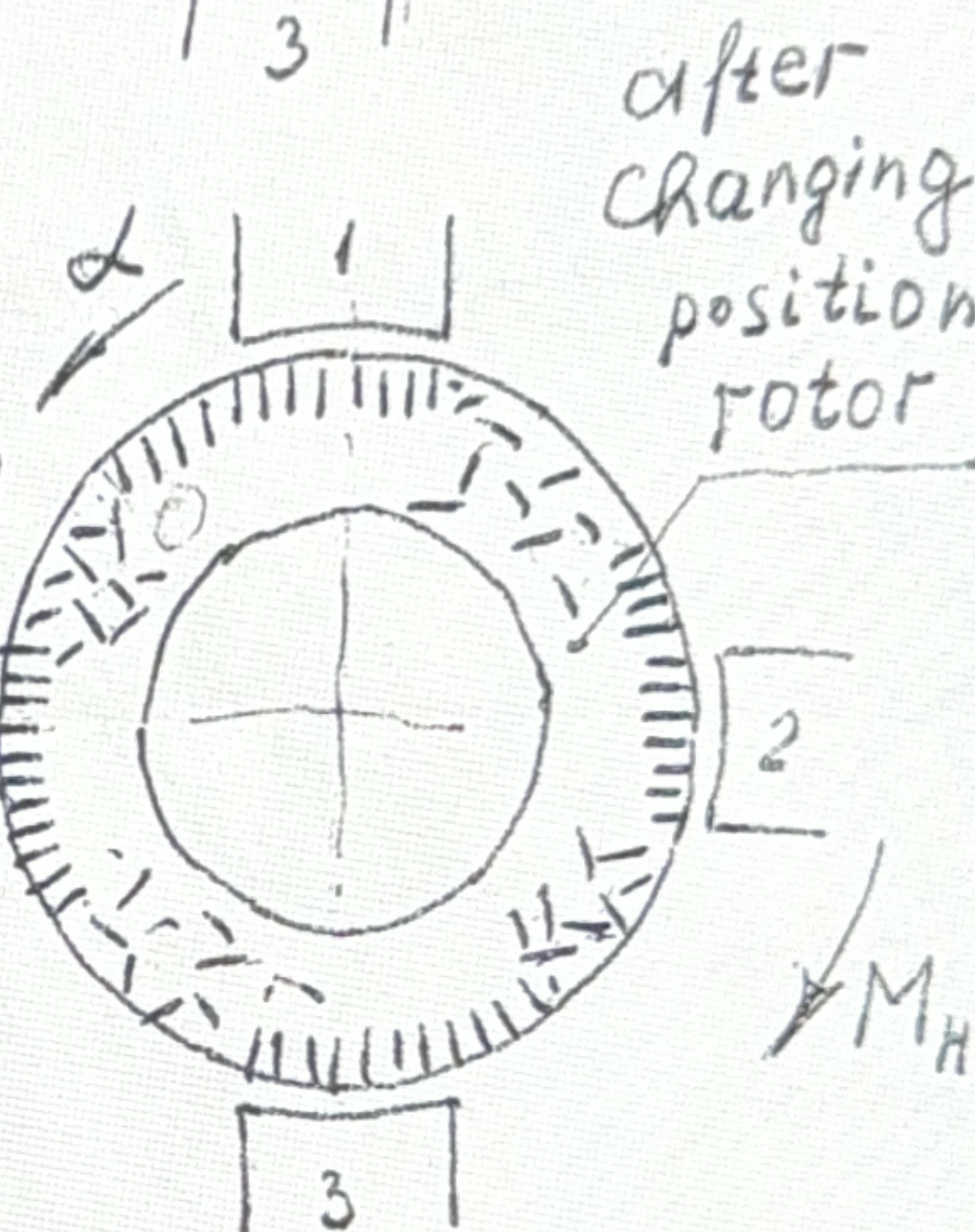
after magnetisation flux of magnetic bearing

$$M_H = 0$$



after returning to position 0

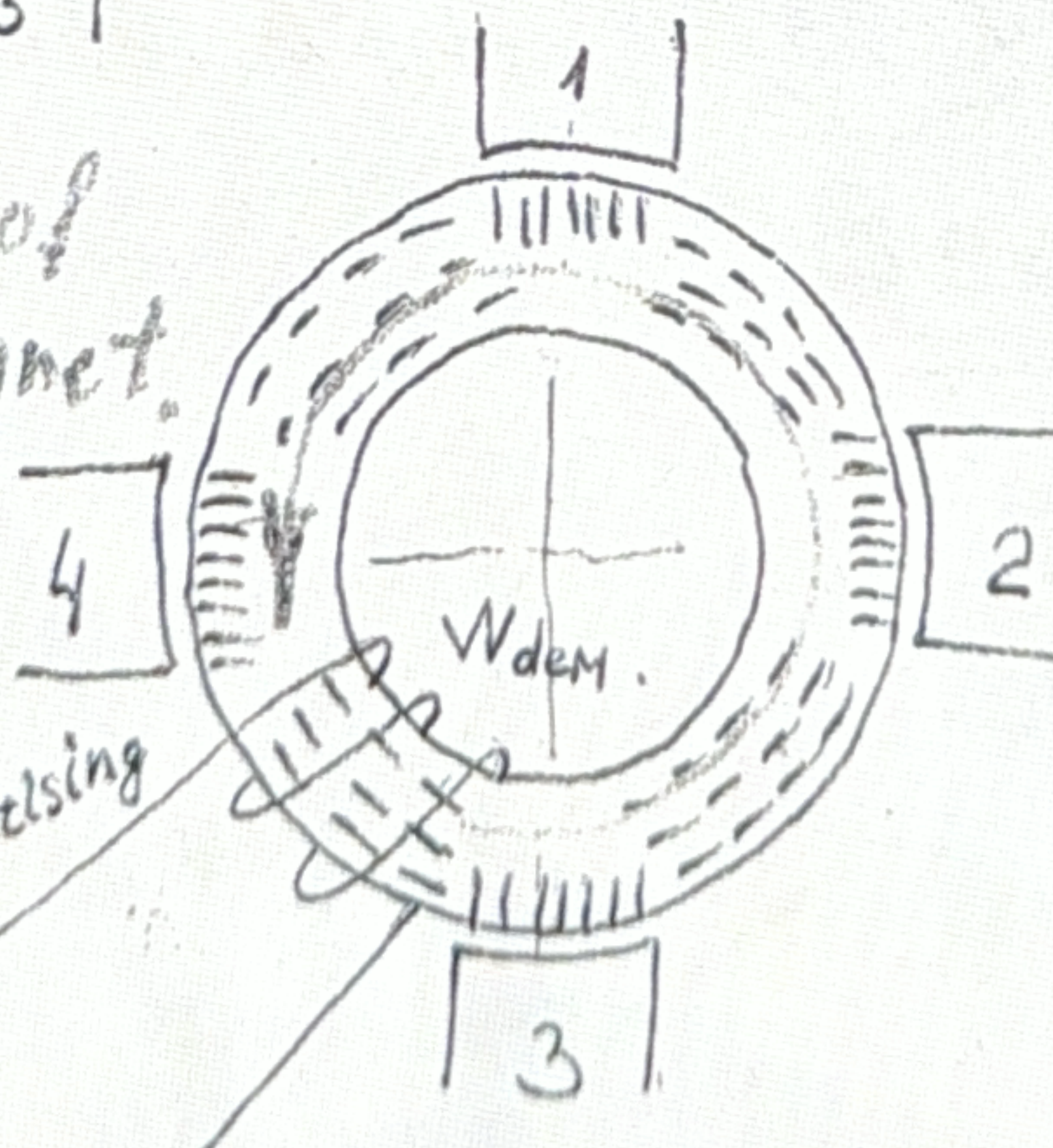
$$M_H \neq 0$$



after changing position rotor

$$M_H \neq 0$$

Flux of demagnet.



Magnetic bearing with demagnetising coil.

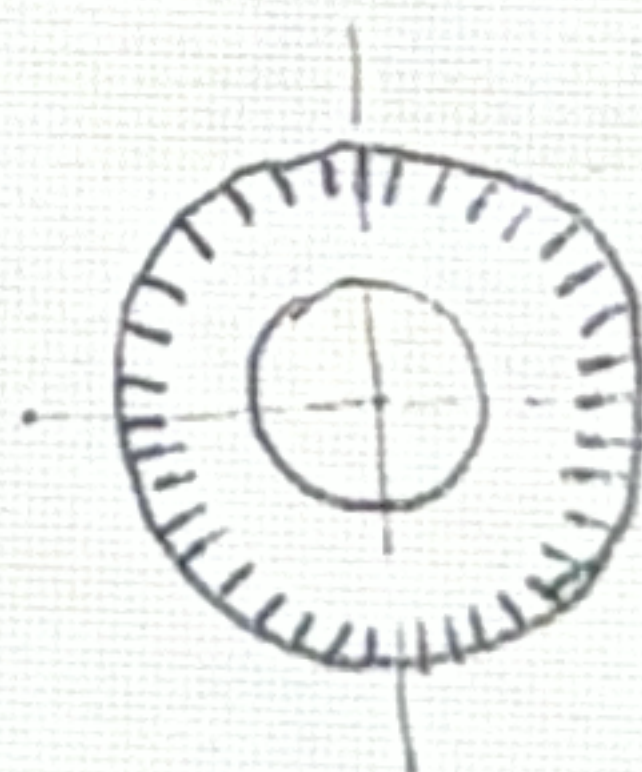
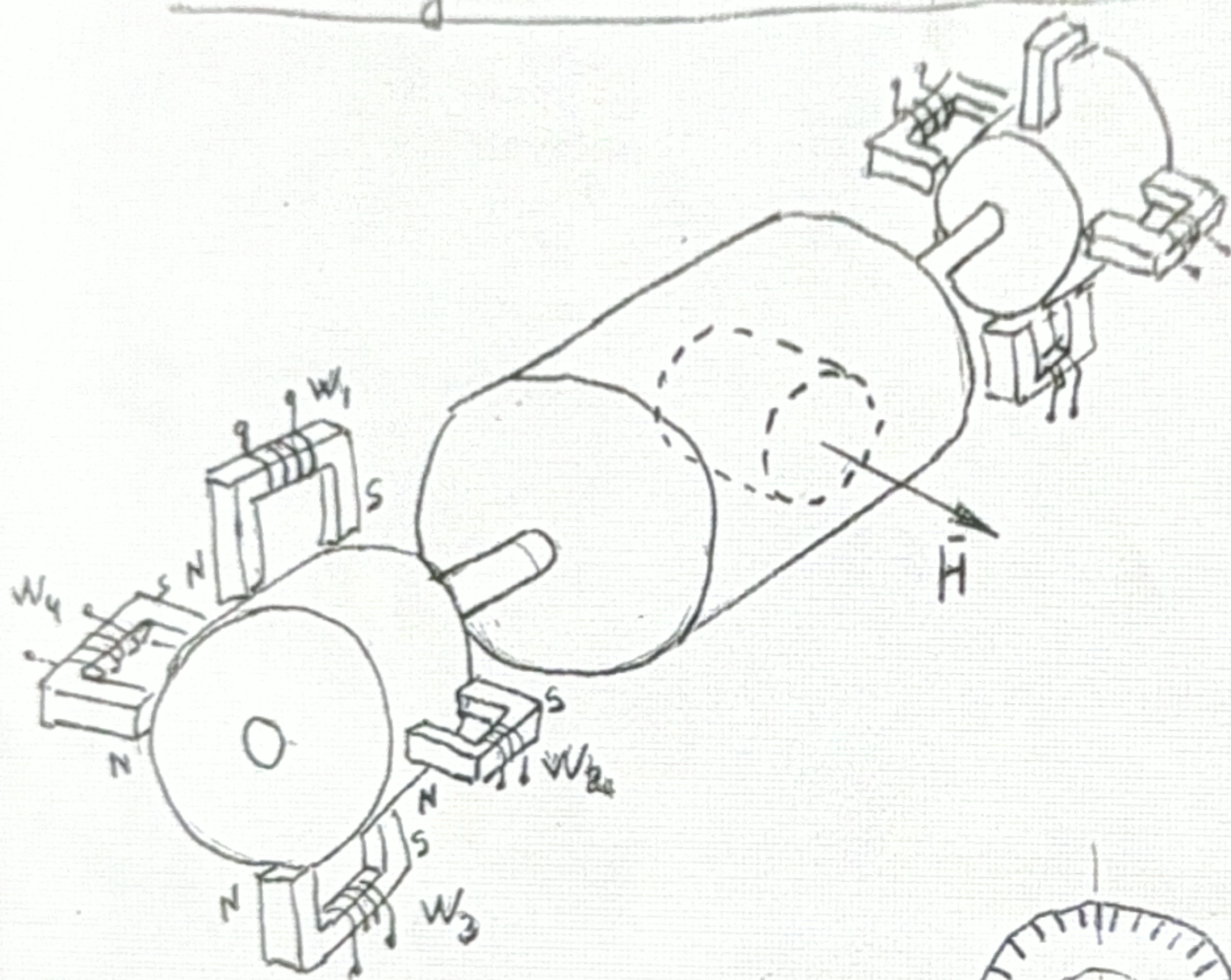
~ current of demagnetising

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

$$M_H = 0$$

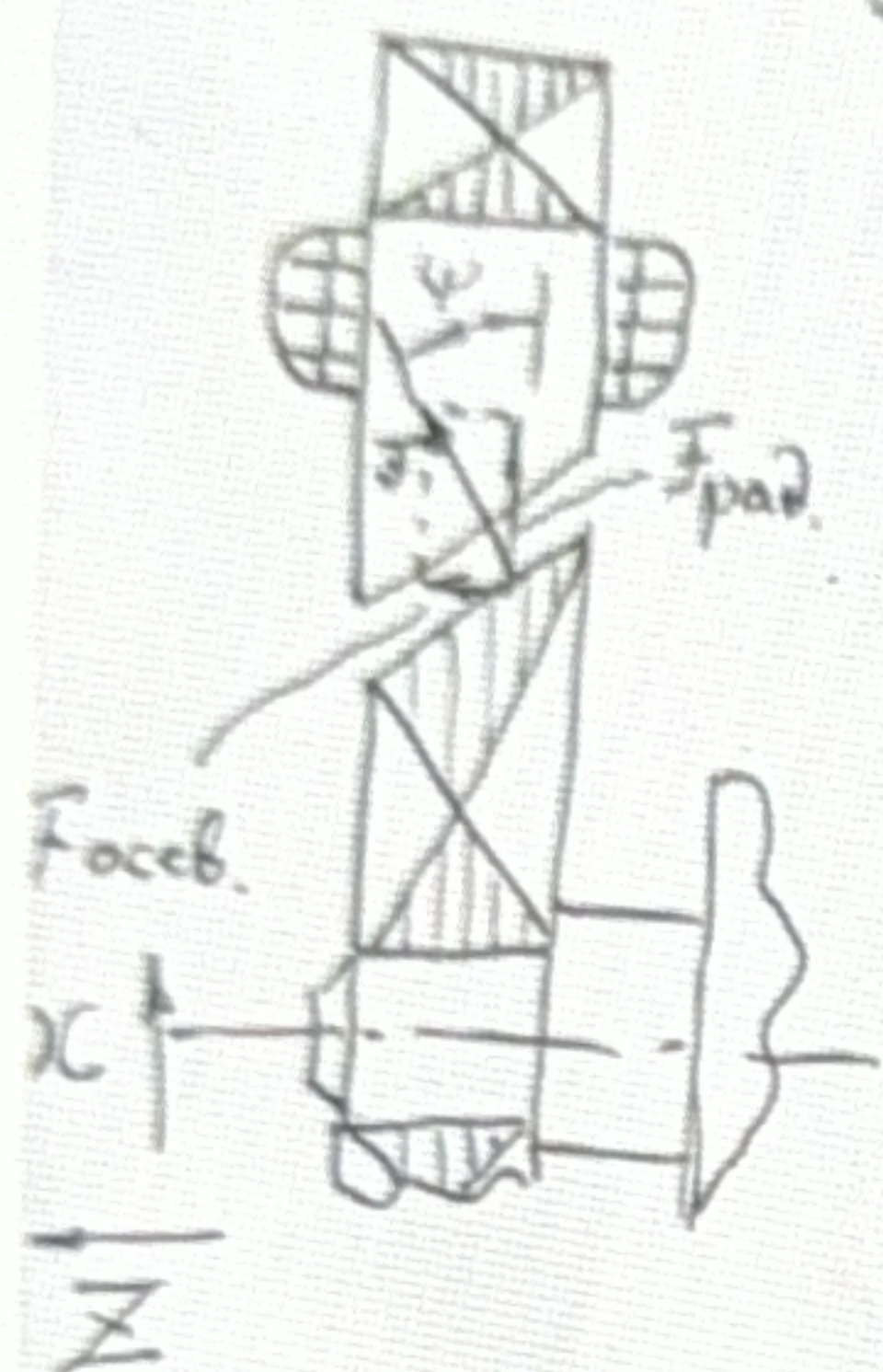
Construction of magnetic bearing without $M_{Hysteresis}$.

(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 $\psi \approx 35^\circ$

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

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