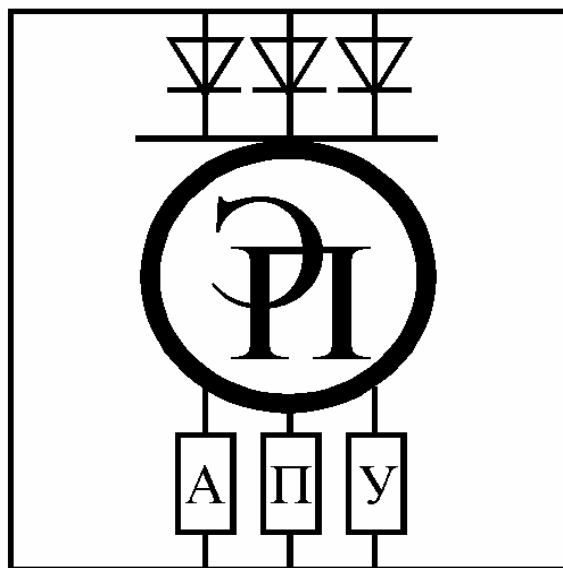


Министерство образования Республики Беларусь
Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования

БЕЛОРУССКО – РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Электропривод и АПУ"



Элементы автоматизированного электропривода

Методические материалы к проведению лабораторных и практических занятий

Цикл 1

Работа № 5

Исследование характеристик магнитного усилителя

Могилев, 2010

УДК 621.13

Составитель: Парфенович О.Н.
Третьяков А.С.

Методические материалы к проведению лабораторных и практических занятий. Цикл 1. Работа №5. Исследование характеристик магнитного усилителя. - Могилев: БРУ, 2010. – 16 с.

Данное пособие предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 1 – 53.01.05 "Автоматизированные электроприводы". В нем изложены необходимые сведения для выполнения лабораторных и практических работ по изучению характеристик магнитного усилителя.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение принципа действия и экспериментальное снятие основных статических характеристик магнитного усилителя (МУ).

2 ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1 Изучить теоретический материал, объясняющий принцип действия МУ, основные статические и динамические характеристики МУ, а также математическое описание этих характеристик.

2.2 Снять следующие статические характеристики МУ:

2.2.1 Характеристики управления МУ (в двух квадрантах):

$$U_{\text{вых}} = f(I_y, U_y) \quad 1. \text{ при } I_p = 0.1 \cdot I_{pн} = \text{const} \quad (1)$$

$$2. \text{ при } I_p = 0.5 \cdot I_{pн} = \text{const} \quad (2)$$

$$I_p = f(I_y, U_y) \quad 3. \text{ при } R_n = R_{нн} = \text{const} \quad (3)$$

$$U_{\text{вых}} = f(I_y, U_y) \quad 4. \text{ при } R_n = 0.5 \cdot R_{нн} = \text{const} \quad (4)$$

Здесь $U_{\text{вых}}$ - напряжение на активной нагрузке (на выходе) МУ;

I_y, U_y - соответственно, ток и напряжение в обмотке управления;

$I_p, I_{pн}$ - соответственно, ток нагрузки и ток номинальный МУ;

$R_n, R_{нн}$ - соответственно, сопротивление нагрузки и номинальное сопротивление нагрузки МУ, которое определяется:

$$R_{нн} = \frac{U_{\text{вых.max}}}{I_{pн}} \quad (5)$$

2.2.2 По результатам эксперимента определить K_i, K_u, K_p , соответственно: коэффициенты передачи (усиления) по току, напряжению, мощности.

2.2.3 Проверить, как работает МУ при изменении I_y, U_y , если $I_p = 0$.

Объяснить особенности работы МУ в этом случае.

2.2.4 Внешние характеристики МУ.

$$U_{\text{вых}} = f(I_p) \quad 1. \text{ при } U_{\text{вых}} = U_{\text{выхн}}, I_y, U_y = \text{const} \quad (6)$$

$$2. \text{ при } U_{\text{вых}} = 0.5 \cdot U_{\text{выхн}}, I_y, U_y = \text{const} \quad (7)$$

2.2.5 Построить графики характеристик управления и внешних характеристик. По внешней характеристике определить статизм МУ для тока нагрузки при $I_p = 0.5 \cdot I_{pн}$.

2.3 Дать математическое определение и графическое описание динамических характеристик МУ.

3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

Схема МУ нарисована на стенде и на рис. 1.

3.1 Предварительно, регулятором напряжения UZ1 и переменным резистором R_1 с помощью обмотки смещения W_{oc} необходимо вывести МУ в режим минимального напряжения $U_{вых}$ для $R_n = R_{нн}$ при отсутствии тока управления I_y .

3.2 Изменяя регулятором UZ2 ток I_y и напряжение U_y на обмотке управления W_y , снять правую часть характеристики управления.

Поменять полярность на обмотке управления W_y . Вновь, изменяя I_y , U_y , снять левую часть характеристики управления.

Таким образом, снимаются характеристики (1) - (4).

При снятии характеристик $I_p = f(I_y, U_y)$ для $I_p = 0.5 \cdot I_{pn}$ следует с помощью изменения напряжения на UZ2 поддерживать ток I_p постоянным. Данные для характеристик (1) - (4) занести в таблицу 1.

Таблица 1- Характеристики управления магнитного усилителя

I_y				
U_y				
I_p				
$U_{вых}$				
R_n				

Построить графики характеристик (1) - (4).

По таблице и по графикам определить максимальные значения K_i , K_u , K_p .

3.3 Установить с помощью регулятора U2 напряжение на нагрузке R_n , $U_{вых} = U_{выхн}$ и, меняя (уменьшая) R_n , снять внешнюю характеристику (6) магнитного усилителя. Данные записать в таблицу 2.

Установить $U_{вых} = 0.5 \cdot U_{выхн}$ и снять внешнюю характеристику (7) МУ. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Внешние характеристики магнитного усилителя

$U_{вых}$				
I_p				
I_y				
U_y				

Построить графики характеристик (6), (7). По таблице и по графикам определить статизм внешних характеристик МУ для тока $I_p = 0.5 \cdot I_{pn}$.

3.4 На основании анализа теоретического материала определить звено САР магнитного усилителя, нарисовать графики амплитудно-частотной, фазочастотной характеристик МУ и передаточную функцию звена САР магнитного усилителя.

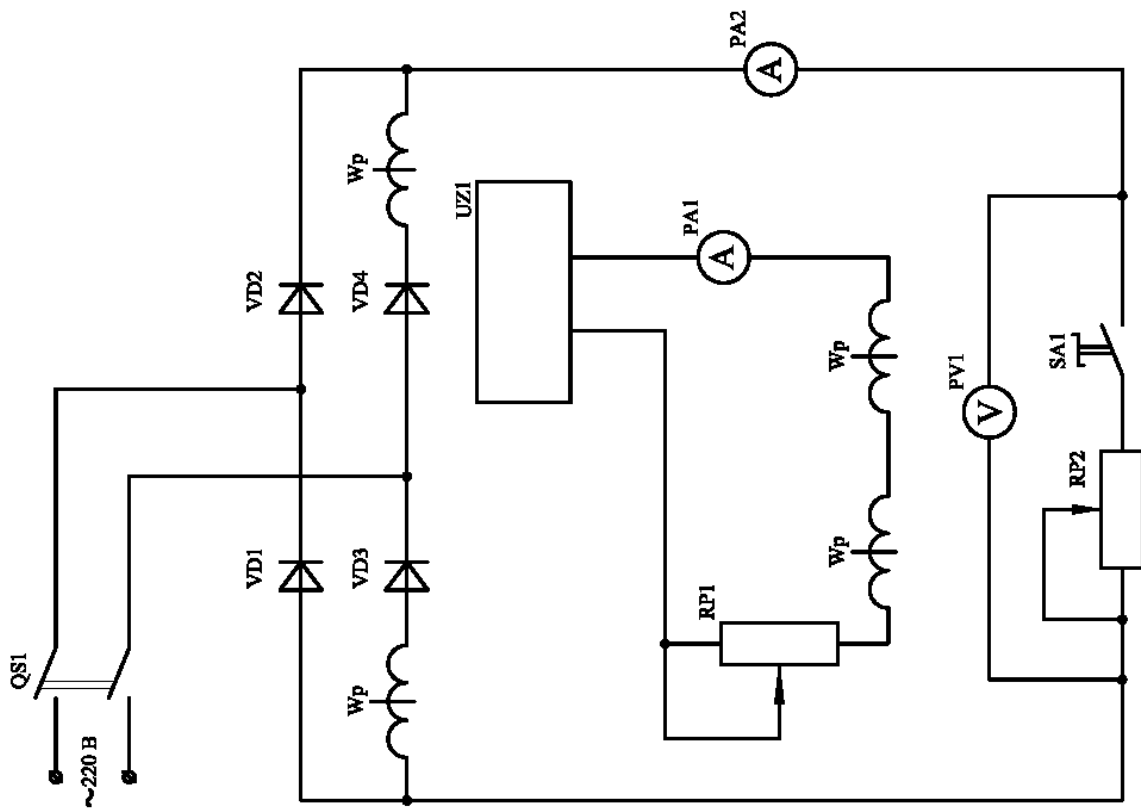
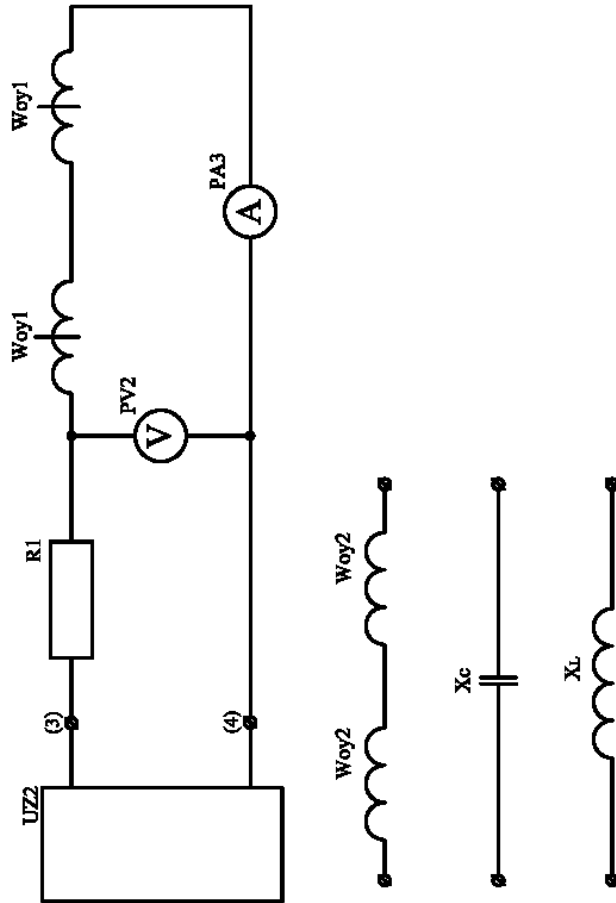


Рисунок 1 - Схема лабораторной установки



4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В магнитных усилителях используется свойство катушки с ферромагнитным сердечником изменять индуктивное сопротивление при подмагничивании сердечника постоянным током.

Магнитные усилители применяются как в точных измерительных устройствах мощностью в несколько долей ватта, так и в схемах автоматического управления крупными производственными агрегатами (мощностью до 10 кВт и больше).

Магнитные усилители используются для управления и регулирования величины тока, напряжения, полного сопротивления, мощности, частоты вращения, частоты, температуры и пр.

4.1. Принцип действия МУ

Простейшая схема, объясняющая принцип действия МУ, показана на рисунке 2

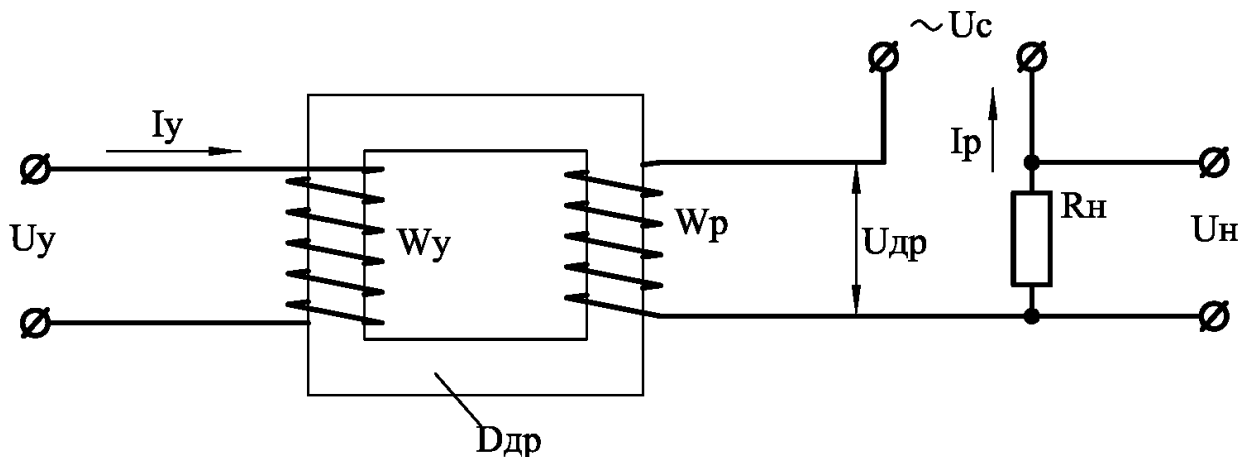
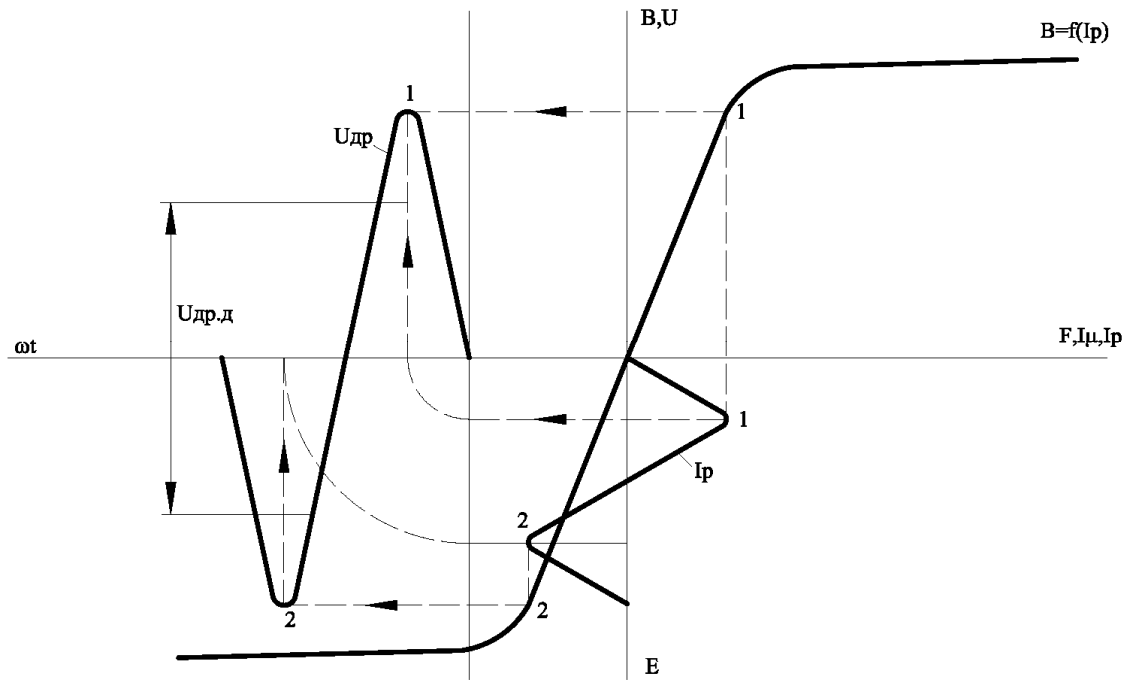


Рисунок 2 - Принцип действия магнитного усилителя

Если $I_y = 0$, то график электромагнитных процессов, происходящих в дросселе D_p , имеет вид, показанный на рис.3.

По рис.2 видно, что при токе нагрузки $I_p = I_\mu$ - малому току намагничивания дросселя $D_{др}$ - напряжение $U_c = U_{др} + U_n$. При этом $U_{вых} = U_n = I_\mu \cdot R_n = U_{мин}$, а $U_{др} \cong U_c$. Ток

$$I_p = I_\mu = \frac{U_c}{Z_{др} + R_n}; \quad Z_{др} \gg R_n \quad (8)$$



$U_{др.р}$ - действующее значение напряжения на дросселе

Рисунок 3 - Графики электромагнитных процессов в дросселе D_p при $I_y = 0$

Если постоянным током I_y подмагнитить сердечник дросселя, то график электромагнитных процессов в дросселе D_{op} будет иметь вид, показанный на рис.4.

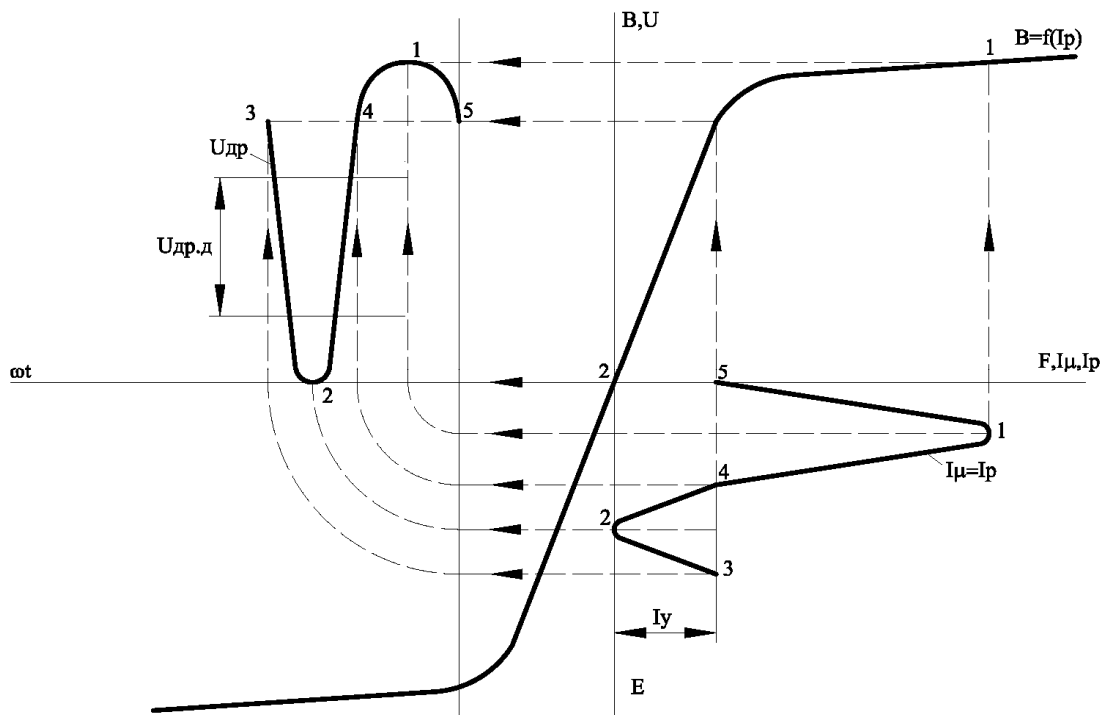


Рисунок 4 - Графики электромагнитных процессов при подмагничивании сердечника дросселя D_{op} постоянным током I_y

На рисунке 4 видно, что при подмагничивании сердечника постоянным током $U_{др.д}$ уменьшается, увеличивается ток I_p , возрастает напряжение $U_n = I_n \cdot R_n$. При значительном намагничивании дросселя постоянным током I_y электромагнитные процессы имеют вид, представленный на рисунке 5.

На рисунке видно, что $U_{др} \ll U_c$, а ток I_p - большой и в этом случае:

$$U_n = U_c - U_{др} = I_p \cdot R_n \cong U_c \quad (9)$$

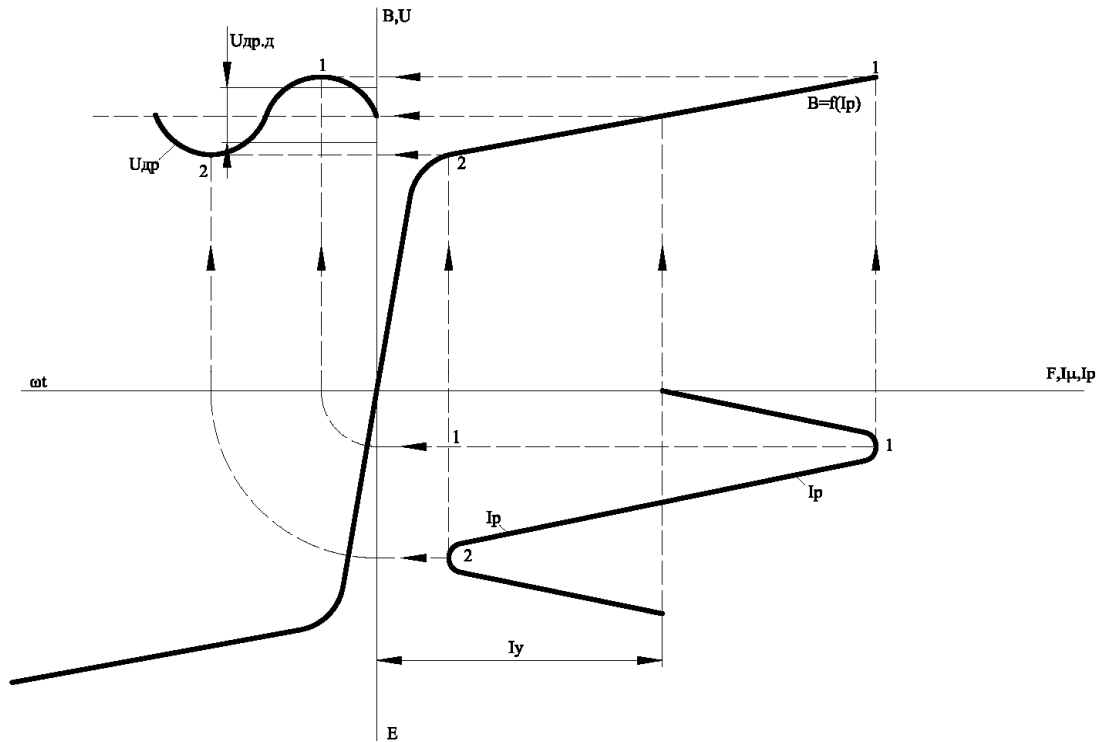


Рисунок 5 - Графики электромагнитных процессов при значительном намагничивании сердечника дросселя постоянным током I_y

В общем случае характеристика управления рассматриваемого дросселя имеет вид, представленный на рисунке 6

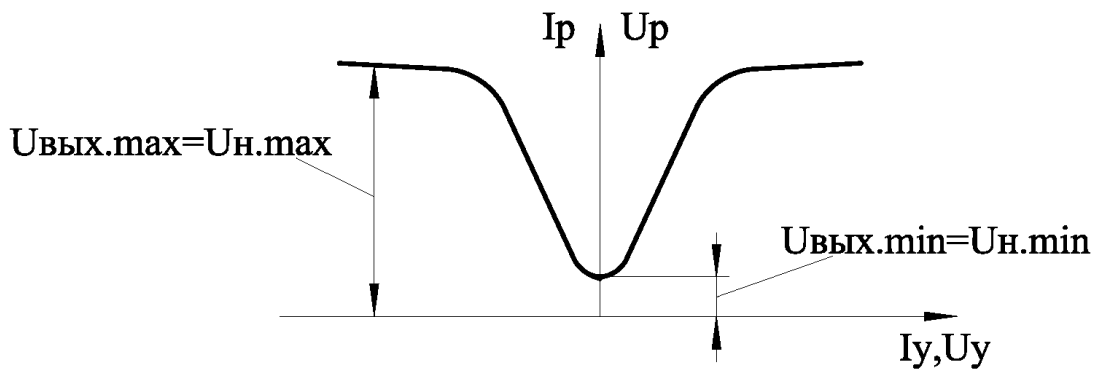


Рисунок 6 - Характеристика управления $D_{др}$

Исполнение МУ в варианте схемы рисунка 2 не нашло применения, так как в обмотке управления W_y наводится от рабочей обмотки значительная переменная ЭДС ($W_y \gg W_p$), которая, замыкаясь через источник напряжения U_y , создает большие токи, насыщающие сердечник и лишаящие МУ управляющих свойств. Поэтому МУ, имеющие практическое применение, выполняются в вариантах, представленных на рисунке 7.

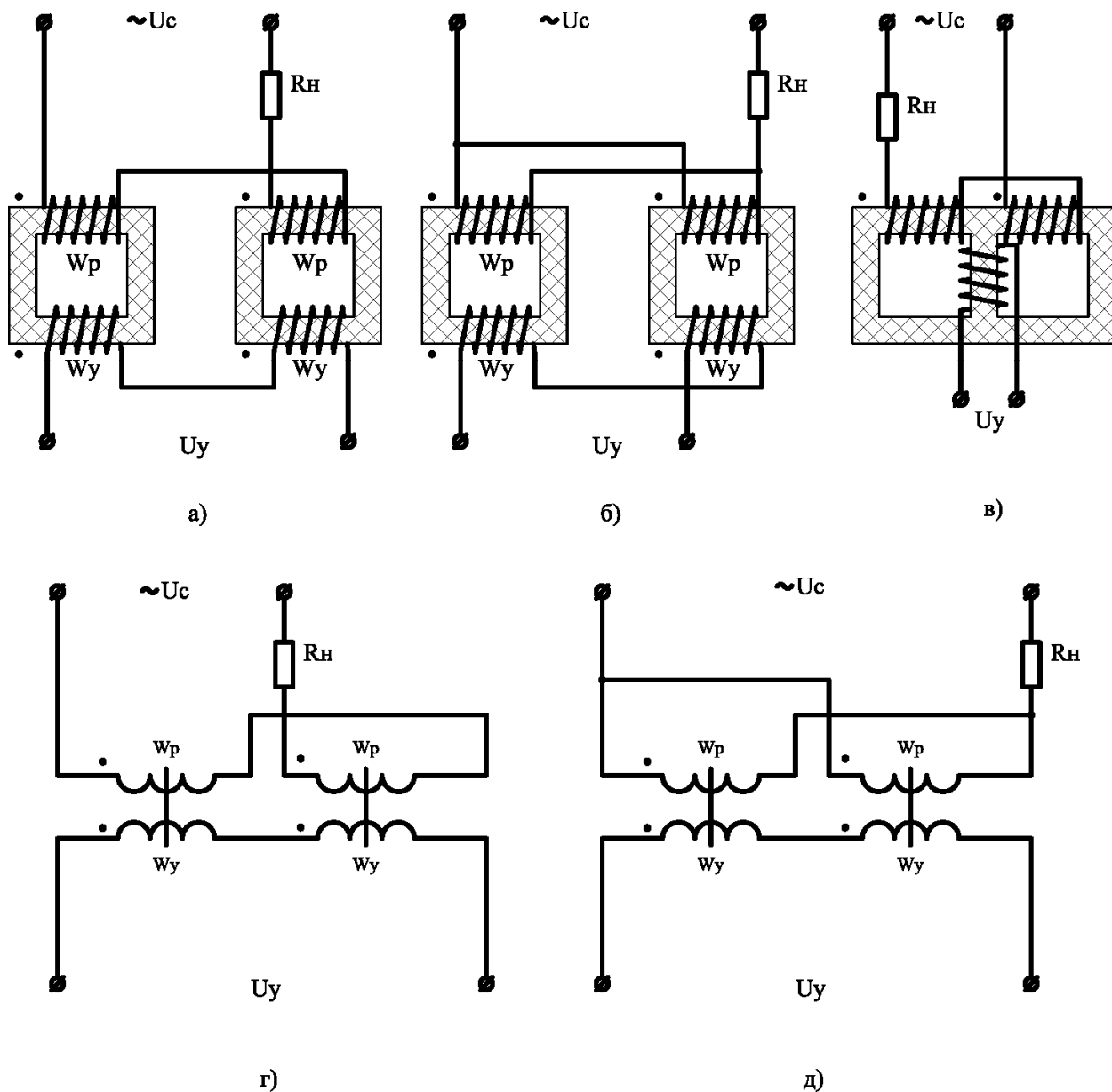


Рисунок 7 - практические схемы включения магнитного усилителя.

Варианты рисунка 7, а) и 7, б) содержат по два сердечника со своими рабочими обмотками и обмотками управления. Рабочие, или управляющие, обмотки дросселей соединяются между собой встречно, и наводимые в

обмотках управления переменные ЭДС от нечетных гармоник магнитного поля взаимно компенсируются.

При последовательном соединении рабочих обмоток четные гармоники складываются, но их амплитуда обычно значительно меньше амплитуды первой (основной) гармоники и их действие легко ослабляется балластным сопротивлением.

При параллельном соединении рабочих обмоток переменная ЭДС в обмотках управления компенсируется полностью: нечетные гармоники встречным включением обмоток управления, а четные тем, что они, в свою очередь, наводят в короткозамкнутом контуре рабочих обмоток токи, создающие Н.С., компенсирующие вызывающую их причину. Недостаток параллельного соединения - инерционность короткозамкнутого контура.

В трехстержневом варианте (рис. 7, в.) переменный поток не попадает в средний стержень, на котором расположена обмотка управления.

Схемы (рис. 7 г, д) обычно используются для графического обозначения МУ в технической документации и литературе

4.2. Статические характеристики МУ

Основной характеристикой МУ является характеристика управления

$$\begin{aligned} I_p &= f(I_y) - \text{для МУ - регулятора тока,} \\ U_{\text{вых}} &= f(I_y) - \text{для МУ - регулятора напряжения.} \end{aligned}$$

Эта характеристика показана на рисунке 6.

На основании закона полного тока для трансформаторов:

$$\Delta I_y \cdot W_y = \Delta I_p \cdot W_p \quad (10)$$

Отсюда – коэффициент усиления МУ по току:

$$K_i = \frac{\Delta I_p}{\Delta I_y} = \frac{W_y}{W_p} \quad (11)$$

по напряжению:

$$K_u = \frac{\Delta U_n}{\Delta U_y} = \frac{\Delta I_p \cdot R_n}{\Delta I_y \cdot R_y} = \frac{W_y \cdot R_n}{W_p \cdot R_y} \quad (12)$$

по мощности:

$$K_p = \frac{\Delta P_p}{\Delta P_y} = \frac{\Delta I_p^2 \cdot R_n}{\Delta I_y^2 \cdot R_y} = \frac{W_y^2 \cdot R_n}{W_p^2 \cdot R_y} = K_i \cdot K_u \quad (13)$$

В реальных МУ $K_p = 10 \div 100$.

Для увеличения коэффициентов усиления МУ применяют положительную обратную связь (ОС) по току нагрузки. Эта связь называется внешней, когда сигнал ОС подается на отдельную обмотку управления (рисунок 8, а), и внутренней - при использовании для цепей ОС рабочих обмоток, включаемых в цепь переменного тока через выпрямитель (рисунок 8, б).

Для усилителей с внешней ОС по току можно записать:

$$\Delta I_n \cdot W_p = \Delta I_y \cdot W_y + \Delta I_{oc} \cdot W_{oc}, \quad (14)$$

где $\Delta I_{oc} = \beta \cdot I_n$ - ток в обмотке ОС, равный части тока нагрузки,

$$\beta = \frac{R_{uu}}{R_{uu} + R_{oc}}, \quad (15)$$

($\beta < 1$) - может быть получен шунтированием обмотки ОС;

W_{oc} - число витков обмотки ОС.

На основании (4)

$$K_i = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y} = \frac{W_y}{W_p - \beta \cdot W_{oc}} = \frac{W_y}{W_p \cdot (1 - K_{oc})} \quad (16)$$

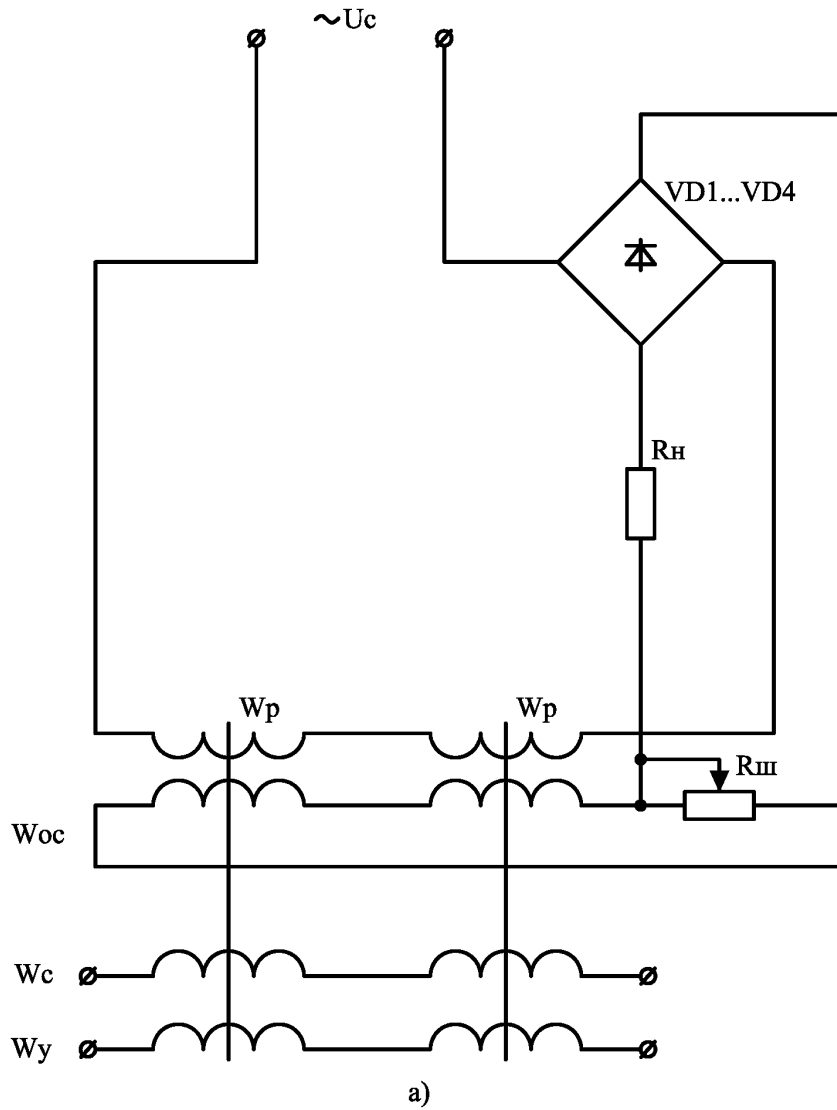
где $K_{oc} = \frac{\beta \cdot W_{oc}}{W_p}$ - коэффициент передачи канала ОС.

$$K_p = K_i \cdot K_u = \frac{W_y^2 \cdot R_n}{W_p^2 \cdot R_y \cdot (1 - K_{oc})} \quad (17)$$

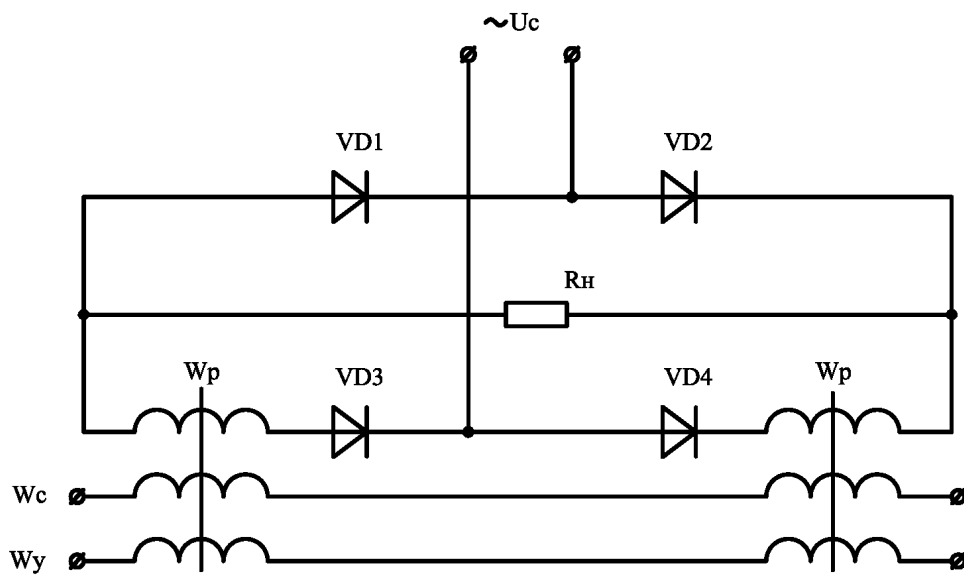
Характеристика управления МУ с ОС несимметрична относительно оси ординат, имеет вид кривой 2 (рисунок 9).

Усиление МУ возрастает по мере приближения K_{oc} к единице и при $K_{oc} = 1$ становится бесконечно большим (кривая 3), при $K_{oc} > 1$ усилитель начинает работать в релейном режиме (кривая 4) и в этом случае МУ может быть использован в качестве бесконтактного реле.

В МУ с положительной обратной связью, ток I_p возрастает уже при $I_y = 0$ (кривая 1, рисунок 10), что создает неудобства при управлении. В связи с этим в усилителях предусматривают смещение характеристик вдоль оси абсцисс, для того, чтобы получить минимум тока I_p при $I_y = 0$ (кривая 2, рисунок 10). Для этой цели служит обмотка смещения МУ.



a)



б)

Рисунок 8 - Включение обратной связи в магнитном усилителе

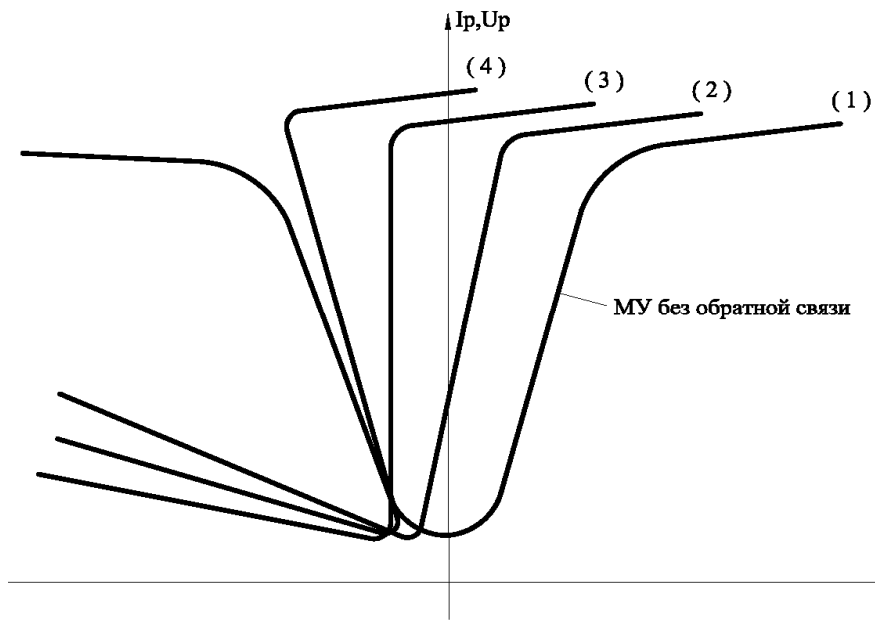


Рисунок 9 - Характеристики управления МУ с положительной обратной связью

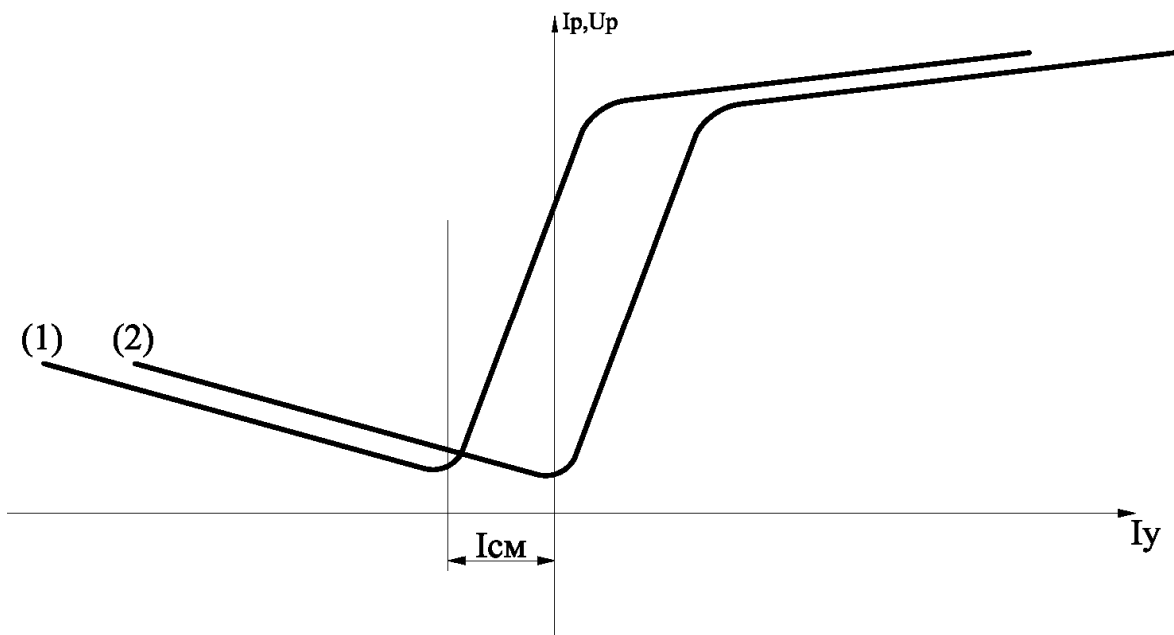


Рисунок 10 - Характеристика управления МУ с включенной обмоткой смещения

Внешние характеристики МУ описываются формулами:

$$U_n = U_c - U_{op} = U_c - K_i \cdot I_y \cdot Z_{op} = K_i \cdot I_y \cdot Z_n, \quad (18)$$

где $Z_{op} = f(I_y)$.

Внешние характеристики показаны на рисунке 11.

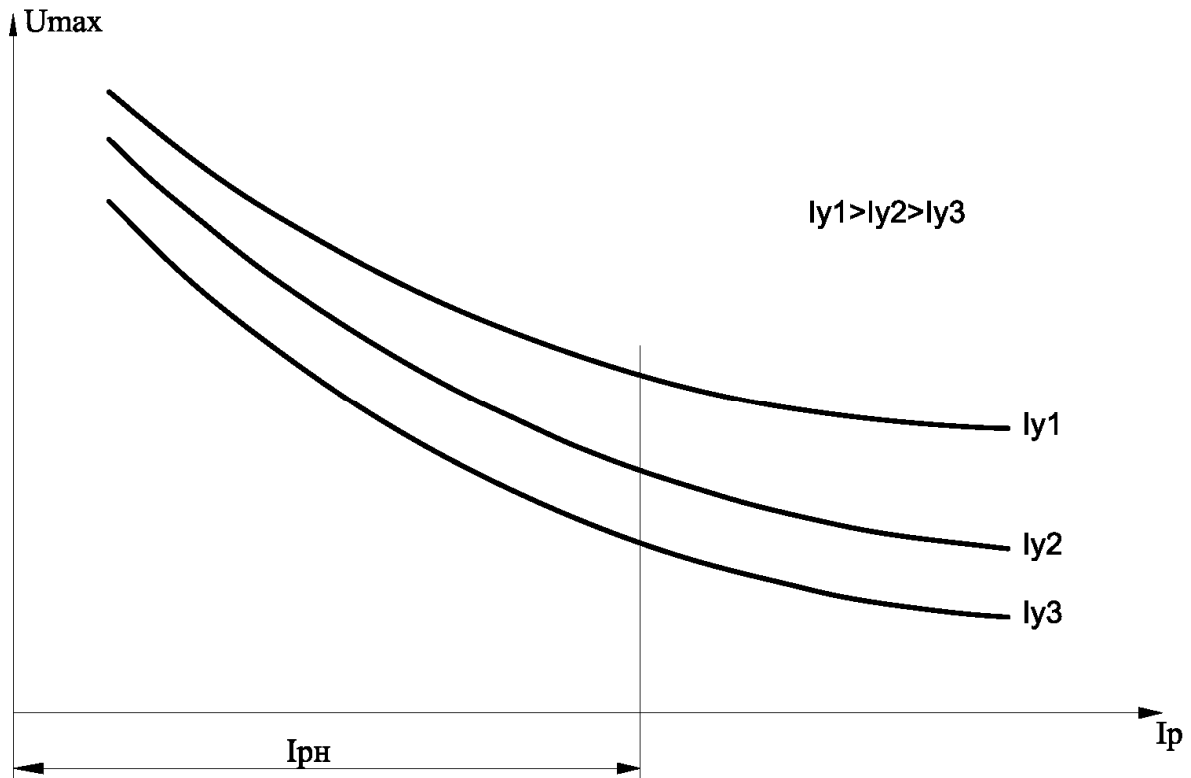


Рисунок 11 - внешние характеристики магнитного усилителя

4.3 Динамические характеристики МУ

Динамические свойства МУ определяются в основном инерционностью цепей управления.

Магнитные усилители, как правило, представляются апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией:

$$W_{\text{му}}(p) = \frac{U_n(p)}{U_y(p)} = \frac{K_y}{1 + T_{\text{му}} \cdot p} \quad (19)$$

где $T_{\text{му}}$ для МУ без обратной связи:

$$T_{\text{му}} = \frac{W_y^2 \cdot R_n}{4 \cdot f \cdot W_p^2 \cdot R_y \cdot \eta} = \frac{K_p}{4 \cdot f \cdot \eta} \quad (20)$$

для МУ с внешней обратной связью:

$$T_{\text{му}} = \frac{W_y^2 \cdot R_n \cdot (W_y + W_{oc} \cdot K_i)}{4 \cdot f \cdot W_p^2 \cdot R_y \cdot \eta} = \frac{W_y^2 \cdot R_n}{4 \cdot f \cdot W_p^2 \cdot R_y \cdot \eta \cdot (1 - K_{oc})} \quad (21)$$

для МУ с внутренней ОС (с самонасыщением).

$$T_{my} = \frac{K_{oc} \cdot W_y}{2 \cdot f \cdot W_p \cdot R_y \cdot \eta} = \frac{W_y \cdot K_u}{2 \cdot f \cdot W_p \cdot R_y \cdot \eta} \quad (22)$$

При наличии нескольких обмоток управления, включая и обмотку смещения:

$$T_{my} = \sum_1^i T_{yi} \frac{R_{yi}}{R_i}, \quad (23)$$

где T_{yi} - постоянная времени i -ой обмотки, определяемая по формулам (10) - (12);

R_{yi} , R_i - сопротивление обмотки и полное сопротивление цепи обмотки с учетом добавочных резисторов.

Структурная схема МУ показана на рис.12.

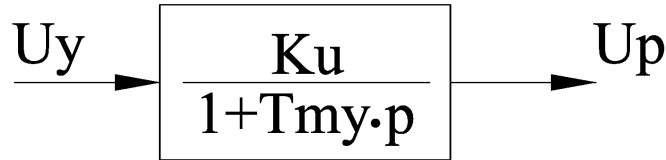


Рисунок 12 – Структурная схема МУ

В промышленной эксплуатации находятся МУ на тороидальных сердечниках серии ТУМ на 50 Гц, напряжением $U_c = (36 \div 220)$ В; $I_p = (0,15 \div 0,55)$ А; ТУМ АК на 400 Гц; серии УМ 1П - однофазные, серии УМЗП – трехфазные: $P_H = (0,07 \div 25)$ кВт; $U_c = (63 \div 380)$ В.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1 Принцип действия МУ.

5.2 Назначение двух сердечников и двух рабочих обмоток МУ.

5.3 Назначение обмотки смещения МУ.

5.4 Каким образом можно вывести МУ на релейный режим работы.

5.5 Как работает внутренняя положительная обратная связь МУ?

Нарисовать схему.

5.6 Как работает внешняя положительная обратная связь МУ? Нарисовать схему.

5.7 Как изменятся динамические свойства МУ при последовательном и параллельном соединении двух рабочих обмоток?

5.8 Как изменятся динамические свойства МУ при шунтировании обмотки управления резистором?

5.9 Как изменяются динамические свойства МУ при включении в управление нескольких обмоток управления?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Справочник по средствам автоматики/ под ред. И.В.Антика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с: ил.

2 Аттуро Т. Магнитные усилители. – М.: - л. Энергетическое издательство, 1983. – 287 с: ил.

3 Геблер М. Магнитные усилители. – М.: - «Сов. радио», 1961 – 450 с: ил.

4 Розенблат М.А. Магнитные усилители. М.: – Госэнергоиздат, 1955. – 138 с: ил.

5 Розман Я.Б. Применение амагнитных усилителей в электроприводах постоянного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 78 с: ил.