

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

С 126

13-88-496 *e*

В.П.Саванеев

**ДИНАМИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ
РАЗМАГНИЧИВАНИЯ МАГНИТОПРОВОДОВ
КОМПАРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА**

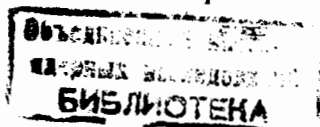
1988

В магнитных компараторах (МК) постоянного тока, разрабатываемых в ЛЯП ОИЯИ, в качестве преобразователей сигнала разбаланса используются импульсные магнитные модуляторы (ИММ) ^{1/1/}. Особенность работы этих устройств - однополярное импульсное возбуждение с большими уровнями напряженностей магнитных полей в тороидальных сердечниках (\sim кА/м). При выборе параметров, проектировании и оптимизации МК с ИММ необходимо располагать данными о частных и полных циклах динамической петли гистерезиса материала магнитопроводов при однополярном импульсном возбуждении. Справочные данные ^{1/2/} носят общий характер и поэтому не позволяют использовать их для расчета и оптимизации устройства. Отсюда возникает необходимость получения динамических характеристик при условиях, в которых работает МК с ИММ. Эти характеристики в дальнейшем позволяют дать практические рекомендации по выбору основных параметров: частоты и уровня возбуждения величины нагрузочных сопротивлений на обмотках.

На рис. 1а приведена схема МК с ИММ, на рис. 1б показана приближенная картина частных циклов перемагничивания магнитопроводов М1 и М2 при воздействии сигналов управления $H_{изм}$ и возбуждения H_B . Для исследований выбран МК с ИММ, описанный в ^{1/3/}, имеющий магнитные сердечники из ленточного пермаллоя 79 НМ, толщиной 0,05 ($D = 50$ мм, $\alpha = 40$ мм, $h = 5$ мм, $W_1 = W_2 = W_{B1} = W_{B2} = 500$, $W_K = 2000$).

Вольт-секундную площадь импульсов на обмотках W_1 и W_2 МК можно представить в виде $S_{e,t}^1 = -\Delta B_1 \cdot S_1 \cdot W_1$ и $S_{e,t}^2 = -\Delta B_2 \cdot S_2 \cdot W_2$, где $\Delta B_1 = \mathcal{F}(H_{изм})$, $\Delta B_2 = \mathcal{F}(H_{изм})$, $H_{изм}$ - напряженность магнитного поля, воздействующая на сердечники, S_1 и S_2 - сечения магнитопроводов М1 и М2, W_1 и W_2 - число витков. Выходная статическая характеристика МК определяется разностью характеристик

$$\Delta B_1 = \mathcal{F}(H_{изм}) \text{ и } \Delta B_2 = \mathcal{F}(H_{изм}). \text{ Зависимость } \Delta B = \mathcal{F}(H_{изм})$$



известна /4,5/ под названием динамической кривой размагничивания (ДКР). Имея снятую экспериментально ДКР, можно с достаточной для практики точностью определить выходную статическую характеристику МК с ИММ. ДКР, снятая при условиях, в которых работает устройство, считается также и основной динамической характеристикой магнитного сердечника. Для снятия ДКР использовалась методика измерения, изложенная в /6/. Все характеристики сняты для одного магнитопровода МГ, рис. 1а. Возбуждение МК осуществлялось полусинусоидальной формой тока.

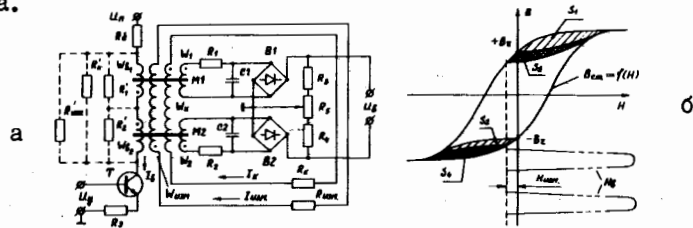


Рис. 1. Схема МК с ИММ для проведения измерений - а, б - приближенная картина частных циклов перемагничивания магнитопровода при воздействии сигналов управления $H_{изм}$ и возбуждения H_B .

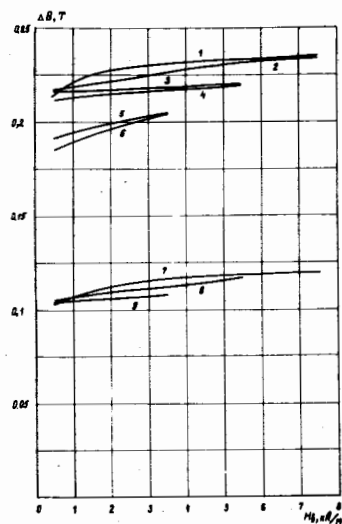


Рис. 2. Перепад индукции в магнитном сердечнике ΔB в зависимости от напряженности магнитного поля возбуждения H_B, mA , для различных значений частоты, напряжения питания возбуждения и параметров нагрузки на обмотках. $f = 500$ Гц, кривые 1,3,5,7,8,9; $f = 1000$ Гц, кривые 2,4,6; $U_H = 25$ В, кривые 5,6,9; $U_H = 50$ В, кривые 3,4,8; $U_H = 100$ В, кривые 1,2,7; $R_1 = R_2 = R_K = \infty$, кривые 1,2,3,4,5,6; $R_1 = R_2 = R_K = 1$, кривые 7,8,9.

Выходное напряжение с обмоток W_1 и W_2 регистрировалось вольтметром среднего значения. Изменение нагрузочных сопротивлений моделировалось изменением номиналов резисторов $R_1, R_2, R_K, R_{изм}$, подключенных к обмоткам $W_1, W_2, W_{изм}, W_K$, конденсаторы $C1$ и $C2$ при этом закорачивались.

На рис. 2 изображены кривые перепада индукции ΔB в магнитном сердечнике в зависимости от величины напряженности магнитного поля возбуждения H_B при различных значениях частоты, напряжения питания схемы возбуждения и параметров нагрузочных сопротивлений на обмотках МК. Анализ зависимостей показывает, что с увеличением частоты возбуждения МК и уменьшением напряжения питания U_H "истинное насыщение" /7/ магнитного сердечника наступает при более высоких значениях напряженности магнитного поля возбуждения (кривые 1+6). При наличии нагрузочных сопротивлений на обмотках МК перепад индукции ΔB становится меньше вследствие размагничивающего влияния обмоток с нагрузочными сопротивлениями (кривые 7+9).

Выбор величины напряжения питания связан с выполнением требования получения необходимого уровня ампер-витков возбуждения для выполнения соотношения $I_B \cdot W_B > I_{изм} \cdot W_{изм}$ (1) и формирования тем самым необходимой выходной характеристики МК. Оценить величину напряжения питания можно по выражению $U_H \geq W_B \cdot S \cdot \Delta B / t_u$ (2), где W_B - число витков обмотки возбуждения, S - сечение магнитопровода, ΔB - перепад индукции в магнитном сердечнике, t_u - время перемагничивания.

Кривые 1-9 позволяют рекомендовать "нижний" порог возбуждения МК с ИММ (сердечники 79 мм, лента 0,05 мм) в пределах 1+1,5 кА/м. На этом участке зависимость $\Delta B = f(H_B)$ имеет постоянную крутизну и близка к "истинному намагничиванию". Напряжение U_H должно быть достаточным для выполнения соотношения (1).

На рис. 3 приведены ДКР, снятые при $H_B, mA = 3539$ А/м, для различных частот возбуждения, а - кривые в области малых полей размагничивания, $H_{изм} \leq 50$ А/м, б - кривые в области больших полей,

$H_{изм} > 500$ А/м. Зависимости показывают, что с ростом частоты возбуждения ухудшается промагничивание сердечника и падает крутизна ДКР, при более высоких частотах уровень насыщения достигается позднее, ход кривых ДКР на участках больших полей размагничивания сильно зависит от частоты возбуждения, при более высокой частоте возбуждения спад кривой осуществляется раньше, но идет медленнее. Максимальный перепад индукции в сердечнике составляет $\sim 1,64$ Т, что хорошо согласуется с данными об "истинном намагничивании" материала 79 НМ (0,05 мм), приводимыми в [7].

Частота возбуждения связана также с гистерезисным уходом нуля МК. Проверить равномерность промагничивания ленты магнитного сердечника можно по выражению [8]: $\alpha \leq 1,7f^{-0,5}$ мм, где α — толщина ленты, f — частота возбуждения. Отсюда находим, что для $\alpha = 0,05$ мм $f \leq 1100$ Гц.

Если исходить из условия сохранения приемлемой крутизны выходной характеристики МК (рис. 3) и условия минимизации гистерезисного ухода нуля-пункта, то можно рекомендовать частоты возбуждения порядка 500+1000 Гц.

При работе МК обмотки с нагрузочными сопротивлениями оказывают размагничивающее действие. Для того чтобы определить, насколько необходимо увеличить м.д.с. возбуждения, необходимо проанализировать влияние на процесс перемагничивания обмоток W_1, W_2, W_K . $W_{изм}$, нагруженных условно на резисторы $R_1, R_2, R_K, R_{изм}$ (рис. 1).

Рассмотрим два возможных случая. В первом случае — режим измерения тока — на сердечники М1 и М2 действует небольшая м.д.с. разбаланса $I_{изм} \cdot W_{изм} - I_K \cdot W_K \approx 0$, не выходящая за пределы линейной части выходной характеристики.

В этом случае при перемагничивании сердечников М1 и М2 их магнитное состояние меняется по частным циклам динамической петли гистерезиса. Вследствие встречного включения обмоток W_{B1} и W_{B2}

напряжение на обмотках $W_{изм}$ и W_K не наводится. В обмотках W_1 и W_2 наводится напряжение в течение коротких промежутков времени изменения индукции от B_2 до B_3 . В этом случае на процесс перемагничивания влияют сопротивления R_1 и R_2 , включенные на выходе обмоток W_1 и W_2 .

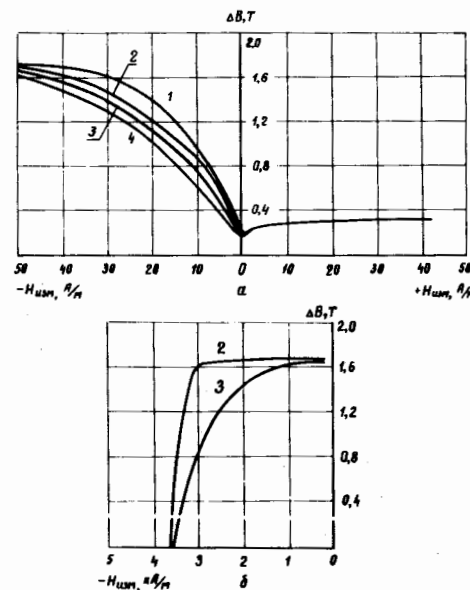


Рис. 3. Динамические кривые размагничивания тороидальных сердечников из пермаллоя 79 НМ — 0,05 при различных частотах. а — область малых полей размагничивания $H_{изм} < 50$ А/м. б — большие поля размагничивания $H_{изм} \geq 500$ А/м. 1 — 200 Гц, 2 — 500 Гц, 3 — 1000 Гц, 4 — 2000 Гц при $R_1 = R_2 = R_K = \infty$, $H_{в.мах} = 3539$ А/м.

В общем случае они пересчитываются по известному соотношению $R'_i = (\frac{W_B}{W_i})^2 \cdot R_i$ (3) в сопротивления, включенные параллельно обмоткам возбуждения W_{B1} и W_{B2} (рис. 1). При $W_B = W_1 = W_2 = W_i$, $R'_i = R_i$, если $R_1 = R_2 \geq 1k$ и $U_{п} = 50+100$ В, это соответству-

ет дополнительному току в 25+50 мА, что составляет от уровня возбуждения $I_{Bmax} = 1A$ значение $\leq 5\%$. Ход кривых ДКР для этого случая и области малых полей приведен на рис. 4а, кривая 2, в области больших полей размагничивания - рис. 4б, кривая 2. Наличие сопротивлений на обмотках W_1 и W_2 вызывает уменьшение крутизны ДКР. Условие $R_1 = R_2 \gg 1k$ выполняется всегда, т.к. $R \gg C$ в интеграторах, подключенных к обмоткам W_1 и W_2 .

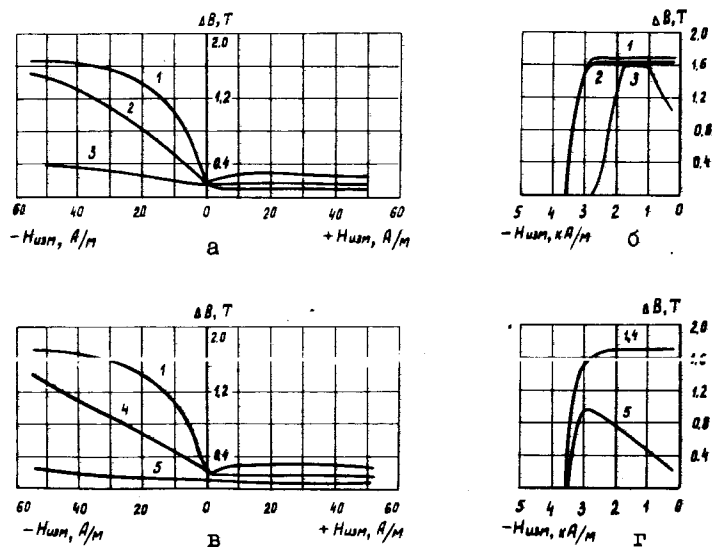


Рис. 4. Динамические кривые размагничивания тороидальных сердечников из пермаллоя 79 Нм - 0,05 при различных параметрах нагрузочных сопротивлений на обмотках, а и в - область малых полей размагничивания, $H_{изм} \leq 50$ А/м. Кривая 1 - $R_1 = R_2 = R_K = \infty$. Кривая 2 - $R_1 = R_2 = 1k$, $R_K = \infty$. Кривая 3 - $R_1 = R_2 = \infty$, $R_K = 1k$. Кривая 4 - $R_1 = R_2 = R_K = \infty$ короткозамкнутый виток. Кривая 5 - шунтирование обмоток возбуждения диодом. Графики б и г - область больших полей размагничивания, $H_{изм} \geq 500$ А/м. Все кривые снимались при $f_B = 500$ Гц, $H_{Bmax} = 3539$ А/м.

Второй случай соответствует режиму работы при условии $I_{изм} \cdot W_{изм} - I_K \cdot W_K \neq 0$, но м.д.с. возбуждения достаточна для вывода одного сердечника из состояния насыщения. При этом другой сердечник переводится полем возбуждения в насыщение. Выходные импульсы напряжения появляются в этом случае только с одного канала, обмотки W_1 либо обмотки W_2 . В этом случае необходимо учитывать размагничивающее влияние нагрузочных сопротивлений $R_{изм}$ и R_K , которые шунтируют обмотки W_{B1} и W_{B2} . Действие обмотки $W_{изм}$ с нагрузкой $R_{изм}$ можно оценить по выражению (3) при $W_i = I$, тогда $R'_{изм} = (W_{B1})^2 \cdot R_{изм}$. Если $W_B = 500$, то $R'_{изм} = 25 \times 10^4 R_{изм}$. Действие и влияние обмотки с измеряемым током незначительно. Это влияние моделировалось короткозамкнутым витком ($S \approx \approx 12 \text{ мм}^2$), рис. 4в, кривая 4. В области малых полей короткозамкнутый виток понижает крутизну ДКР примерно на 40%, не оказывая влияния на ход кривых в области больших полей размагничивания.

Действие обмотки W_K с компенсирующим током можно оценить по выражению (3) при $W_i = 2000$ и $W_B = 500$ $R'_K = R_K/16$. Влияние обмотки W_K с нагрузочным сопротивлением R_K отображено кривой 3, рис. 4а и б.

Анализ зависимостей рис. 4 показывает, что основное влияние на характеристику МК с ИММ оказывает обмотка компенсации W_K . Для ослабления этого влияния и получения оптимальной крутизны выходной характеристики можно рекомендовать установку третьего магнитного сердечника между сердечниками М1 и М2 и включение последовательно с обмоткой W_K дополнительного дросселя с воздушным зазором.

Для ограничения перенапряжений, возникающих на обмотках возбуждения, иногда используется демпфирующий диод, включаемый параллельно последовательно соединенным обмоткам W_{B1} и W_{B2} . Полярность включения диода обратна полярности источника питания U_H (рис. 1). На рис. 4 в и г, кривая 5, изображена ДКР для такого случая. В этом случае можно отметить существенное падение крутизны и деформацию ДКР.

Учет вышеперечисленных рекомендаций позволил улучшить выходные параметры измерителя постоянного тока 600 А, в частности, крутизна преобразования возросла с 0,1 до ~ 1 В/А, долговременная стабильность работы с ± 2 мА на виток до $\pm 1,5$ мА на виток.

Литература

1. Л.Н.Ахманова, В.М.Лачинов и др. ОИЯИ, ІЗ-81-806, Дубна, 1981.
2. Прецизионные сплавы. Справочник. Под ред. Б.В.Молотилова. М., Металлургия, 1983.
3. В.П.Саванеев. ОИЯИ, ІЗ-85-844, Дубна, 1985.
4. Р.А.Липман, Н.Б.Негнєвицкий. Магнитные усилители постоянного тока с самонасыщением. М., МЭИ, 1966.
5. Р.А.Липман, Н.Б.Негнєвицкий. Быстродействующие магнитные и магнитно-полупроводниковые усилители. М-Л, ГЭИ, 1960.
6. Буль Б.К. и др. Основы теории электрических аппаратов. Высшая школа, М., 1970.
7. М.И.Белый, Ю.В.Чежегов. Магнитомягкие материалы при симметричном перемагничивании. Издательство Саратовского университета, 1978, стр. 93.
8. М.А.Розенблат. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. Наука, М., 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июля 1988 года.

Саванеев В.П. 13-88-496
Динамические кривые размагничивания магнитопроводов
компаратора постоянного тока

Рассмотрены динамические кривые размагничивания магнитопроводов (79 НМ, толщиной 0,05 мм) компаратора постоянного тока 600 А. Анализ динамических кривых позволил выбрать частоту возбуждения компаратора в пределах 500–1000 Гц, нижний уровень возбуждения в пределах 1–1,5 кА/м. Предложено для разрыва цепи обмотки компенсации устанавливать дополнительный магнитопровод либо включать последовательно с обмоткой компенсации дроссель с воздушным зазором. Рекомендации позволили увеличить крутизну выходного сигнала с 0,1 до 1 В/А, улучшить долговременную стабильность до $\pm 1,5$ мА на виток.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Savaneev V.P. 13-88-496
Dynamic Curves of Magnetic Circuit Demagnetization
of Direct Current Comparator

Dynamic curves of demagnetization of magnetic circuits (19 НМ, 0.05 mm thick) of 600 A direct comparator are considered. Analysis of dynamic curves permitted to choose the comparator excitation frequency within 500–1000 Hz, low level of excitation within the 1–1.5 kA/M limits. In order to break the circuit of compensation winding the installation of additional magnetic circuit or switching on in series with compensation winding of a throttle with air gap is proposed. The recommendations permitted to increase the transconductance of output signal from 0.1 upto 1 V/A, to improve permanent stability upto ± 1.5 mA per turn.

The investigation performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988