

Х. Ю. ОРУ

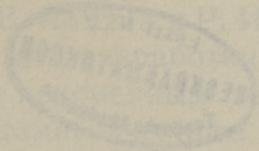
**О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ИМЕЮЩИХ
ЗНАЧЕНИЕ ПРИ НАМАГНИЧИВАНИИ
ТЕЛА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ТАЛЛИН, 1958

Х. Ю. ОРУ

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ИМЕЮЩИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ НАМАГНИЧИВАНИИ ТЕЛА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ТАЛЛИН, 1958



ТОВАРИЩЕСТВО НАУЧНИХ РАБОТНИКОВ
ТАЛЛИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1958

Х. Ю. О. В.

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ЗАВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ НАМАТЧИКОВ
ТЕЛА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

~~P37 842~~

Ep. 2318



ТАЛЛИНСКОЕ ОБЩЕСТВО РАБОТНИКОВ НАУКИ
1958

ВВЕДЕНИЕ

В магнитной дефектоскопии при контроле на остаточной намагниченности нужно получить определенную, достаточно интенсивную остаточную намагниченность в исследуемом ферромагнитном теле. Несомненно, что наиболее простым способом создания состояния остаточной намагниченности в телах является воздействие на них достаточно сильного постоянного магнитного поля, создаваемого посредством постоянного электрического тока. Однако, в практических условиях сравнительно сильный постоянный ток является не всегда доступным, но переменный ток всегда имеется на любом предприятии и кроме того, получение мощных токов, которые часто понадобятся в магнитной дефектоскопии, не представляет затруднений.

Хотя в практике часто используются такие дефектоскопы, в которых остаточная намагниченность создается техническим переменным током, мало опубликовано исследований относительно того, какие факторы и в какой мере могут устранить получение недостаточной величины остаточной намагниченности в отдельных телах при различных случаях их намагничивания посредством таких дефектоскопов. Так как подобные случаи при магнитном контроле тел оставляли бы возможность недовыявления некоторой части изделий с опасными дефектами, то таких случаев следует избегать.

Из опубликованных малочисленных исследований на этом поприще отмечаем работу А. В. Альтма и Р. И. Януса [Л. 1], в которой намечены пути для разработки теории устройств, питаемых техническим переменным током и служащих получению остаточно-намагниченного состояния в ферромагнитных телах. Во второй работе названных авторов [Л. 2] экспериментально исследуется ход намагничивающего тока при рабочем процессе устройства,

питаемого техническим переменным током через трансформатор, целью которого является повышение силы намагничивающего тока; при этом прерыватель тока был включен в первичную цепь трансформатора.

Весьма важный в практическом отношении переход вторичного тока трансформатора через нуль при размыкании первичного тока изучен в работах [Л. 1, 2, 3]. Интересным по идее является работа Н. М. Родигина [Л. 4], где для включения и выключения переменного тока в точно определенные моменты автор предлагает применять тиратронно-игнитронную схему. Однако, имея большие преимущества перед обыкновенным способом пользования переменного тока, предложенный метод все-же имеет и некоторые недостатки.

Целью настоящего исследования является выяснение влияния дуги размыкания на форму кривой тока и на величину получаемой остаточной намагниченности. Влияние дуги размыкания на форму кривой тока имеет двоякий характер:

- 1) ток достигает нулевого значения перед достижением фазы 180° (или 360°);
- 2) если разрыв контактов начался раньше, чем ток достиг своего максимума, происходит уменьшение амплитуды тока.

Кроме этих явлений в работе рассматривается еще вопрос о влиянии фазы э. д. с. источника переменного тока в момент включения тока на получаемую остаточную намагниченность.

1. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для размыкания тока в цепи первичной обмотки трансформатора был сконструирован специальный разрыватель. Одним из контактов разрывателя являлась маленькая медная пластинка, прикрепленная к деревянной основе. Другой имел форму полусферы диаметром 5 мм, был укреплен на конце рычага и удерживался в прижатом положении натяжением соответствующей пружины; второй конец рычага находился в нижней части промежутка между двумя параллельными вертикальными столбами, в пазах которых могла свободно скользить тяжелая

пластинка. Пластинка, падая с некоторой высоты и дойдя до конца рычага, отводила его вниз и этим, с вполне определенной, почти постоянной скоростью размыкала контакты. Заставляя эту пластинку падать с различной высоты на конец рычага, можно было менять скорость раздвижения контактов прерывателя.

В некоторых случаях использовался и прерыватель другого типа, имевший то преимущество, что позволял начинать процесс прерывания тока при определенных фазах первичного тока. Приспособление представляло собой массивный диск, насаженный на вал синхронного мотора. На край диска укреплялся зубец, который при вращении диска ударял о контакт и размыкал ток в момент, соответствующий определенной фазе. Фазу момента размыкания можно было менять поворотом статора мотора. Недостатком прерывателя являлось то обстоятельство, что он позволял прерывать ток только с относительно большой скоростью — от 5 м/сек и больше.

Для определения фазы тока в момент начала размыкания оказалось необходимым, чтобы на осциллограммах получились изображения хода изучаемого вторичного тока трансформатора, а также ход напряжения между контактами. С этой целью был применен двухлучевой катодный осциллограф. К осциллографу было присоединено приспособление, позволяющее автоматически в соответствующие моменты включать и выключать катодный луч. Для получения амплитуды тока при стационарном режиме катодный луч за краткий промежуток перед началом раздвижения контактов включался, а выключался в некоторый промежуток времени после разрыва цепи.

В ходе испытаний выяснилась возможность пользоваться и однолучевым катодным осциллографом, хотя при этом на осциллограммах изображался только ход изучаемого тока. Момент начала раздвижения контактов определялся теперь следующим образом.

Фотоаппарат устанавливался перед экраном осциллографа в затемненном помещении. Затем были открыты створки аппарата. Катодный луч включался не совсем, а частично, оставаясь таким образом очень слабым. Повторно скользя по экрану, он давал на фотопленке слабую кривую,

изображавшую ход изучаемого тока при стационарном режиме. Затем при помощи соответствующей установки в соответствующий момент катодный луч автоматически включался полностью и осуществлялся процесс размыкания. Таким образом на полученных осциллограммах накладывались друг на друга две кривых тока: кривая тока при стационарном режиме и кривая в процессе размыкания. Обнаружилось, что до раздвижения контактов разрывателя обе кривые совпадали, но с момента раздвижения контактов стали друг от друга расходиться (рис. 1). При-

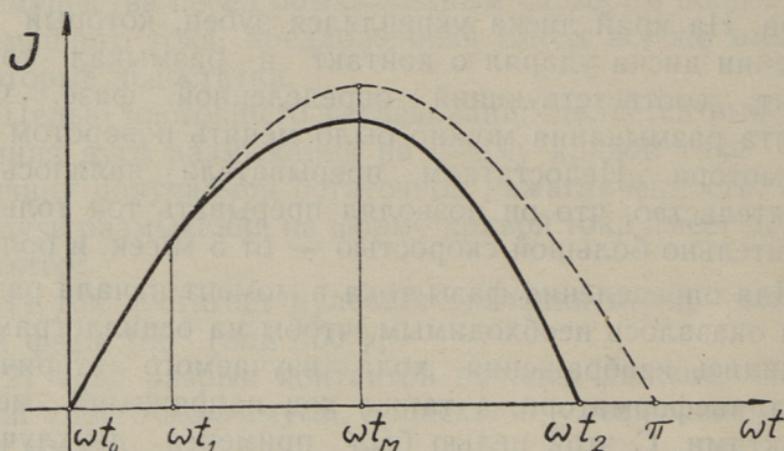


Рис. 1

чиной этого было то, что с начала раздвижения контактов разрывателя возникла электрическая дуга, израсходовавшая некоторую часть энергии [Л. 5, 6].

При исследовании применялись трансформаторы с разными параметрами [Л. 3]. Номинальные мощности колебались в пределах 4—5 ква. Номинальное напряжение первичной обмотки у всех трансформаторов было 220 в, напряжение вторичной обмотки колебалось от 2 до 110 в. Средние (по поперечному сечению) амплитуды индукции в сердечниках составляли 9000—11 000 гаусс. Сила намагничивающих токов исчислялась от 10 до 2000 ампер. Для получения хода силы тока в цепь было включено активное сопротивление, падение напряжения на котором пропорционально силе тока.

Намагничивающим током являлся вторичный ток трансформатора. Прерыватель включался в первичную цепь трансформатора.

В первой стадии работы обследовалась только геометрическая форма кривых токов (уменьшение амплитуды, а также полупериоды последней полуволны тока). Во второй стадии изучалась зависимость остаточной намагниченности от силы тока, скорости раздвижения контактов, фазы тока в момент начала раздвижения контактов и др.

2. ПОГАСАНИЕ ПОСЛЕДНЕЙ ПОЛУВОЛНЫ ТОКА ПЕРЕД ДОСТИЖЕНИЕМ ФАЗЫ 180°

Вопросом, подвергнувшимся изучению в начальный период исследования, было то, каким образом искажается форма кривой тока дугой размыкания. Одним проявлением этого искажения является то, что при процессе выключения как первичный, так и вторичный токи достигают нулевого значения гораздо раньше, чем при стационарном режиме, где это происходит при фазе, равной 180° . (В дальнейшем фазу размыкания и будем рассматривать как фазу в промежутке от 0° до 180° , так как в промежутке от 180° до 360° процессы протекают совершенно аналогично).

Большинство опытов размыкания тока было произведено при трех скоростях раздвижения контактов: $v = 190, 67$ и $0,6$ см/сек. При измерениях осциллограмм (число которых в общей сложности достигло 800) оказалось, что чем в более ранней фазе тока α (т. е. чем ближе к нулевому значению фазы) начинается процесс выключения, тем раньше (до достижения фазы 180°) гаснет дуга, т. е. с уменьшением величины $\alpha = \omega(t_1 - t_0)$ величина $\beta = 180^\circ - \omega(t_2 - t_0)$ увеличивается (t_0 — момент времени ближайшего предшествовавшего прохождения первичного тока i_1 через нуль, t_1 — момент начала раздвижения контактов, t_2 — момент полного прекращения тока i_1 , ω — угловая частота) (рис. 1).

Необходимо отметить, что при всех проведенных опытах дуга горела только в течение одного полупериода. Повторных зажиганий дуги при прохождении тока i_1 через

нуль не происходило. Отметим, что это произошло в полном согласии и с наблюдениями О. Б. Брона [Л. 5].

Иллюстрациями вышесказанному приведем некоторые примеры:

а) скорость раздвижения контактов $v = 190$ см/сек, сила тока $I_1 = 10,5$ а. Когда дуга загоралась при фазе $\omega (t_1 - t_0) = 24^\circ$, она гасла уже при фазе $\omega (t_2 - t_0) = 160^\circ$; когда же момент зажигания дуги попадал на фазу 167° , горение дуги продолжалось до фазы 177° ;

б) скорость раздвижения контактов малая: $v = 0,6$ см/сек. Когда дуга зажигалась при фазе 23° , то она горела до фазы 173° , но в случае, если она зажигалась при фазе 150° , ее горение длилось до фазы 178° . Отсюда видно, что на ранних фазах начало прерывания, т. е. при малых значениях величины $\omega (t_1 - t_0)$ скорость раздвижения контактов имеет большое влияние на фазу угасания дуги, т. е. на величину $\omega (t_2 - t_0)$; однако, при начале прерывания в поздних фазах [$\omega (t_1 - t_0) \approx 180^\circ$] скорость раздвижения контактов существенного влияния на момент погасания дуги не имеет.

Зависимость величины $180^\circ - \omega (t_2 - t_0)$ от $\omega (t_1 - t_0)$ оказывается в первом приближении почти линейной, — соответствующие кривые имеют вид спадающих прямых. Если сравнить наклон этих спадающих линий при разных скоростях раздвижения контактов, то можно заметить следующую закономерность: чем выше скорость размыкания контактов выключателя, тем больше наклон этих линий.

Искажения кривых первичного и вторичного тока по своему характеру и форме весьма одинаковы.

3. УМЕНЬШЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ПОСЛЕДНЕЙ ПОЛУВОЛНЫ ТОКА, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ДУГОЙ РАЗМЫКАНИЯ

Кроме вышерассмотренного явления дуга размыкания в случае, если она загорается раньше, чем ток достигает максимума, вызывает уменьшение амплитуды последней полуволны тока (рис. 1). Величиной, характеризующей влияние дуги на амплитуду последней полуволны тока

является $\gamma = \frac{I_{2a}}{I_{2M}}$, где I_{2a} — амплитуда последней полу-

волны вторичного тока, I_{2M} — амплитуда вторичного тока при стационарном режиме. Изучение осциллограмм показало, что на величину $\gamma = \frac{I_{2a}}{I_{2M}}$ в основном влияют три фактора: 1) фаза тока в момент начала размыкания α , 2) скорость раздвижения контактов v и 3) метод намагничивания.

Чем ближе момент начала размыкания к нулевой фазе тока, тем больше уменьшение амплитуды последней полуволны. Уменьшение амплитуды последней полуволны вызывается потерей энергии в дуге [Л. 5, 6]; следовательно, чем больше удлиняющаяся дуга горит до достижения током амплитудного значения, тем значительнее потеря энергии и тем меньше амплитуда последней полуволны. При малых скоростях раздвижения контактов выключателя уменьшение амплитуды последней полуволны меньше, чем при больших скоростях. Это и понятно, так как при малых скоростях раздвижения контактов дуга остается сравнительно короткой, напряжение на дуге небольшое, а следовательно и энергия, выделяющаяся в дуге, мала.

Сравнивая соответствующие величины γ при циркулярном и при продольном намагничивании в соленоидах, можно заметить, что γ при продольном намагничивании несколько меньше, чем соответствующие величины при циркулярном намагничивании. Приведенные факты иллюстрированы в нижеследующей таблице минимальных значений величины γ при разных параметрах процесса размыкания тока.

№	Метод намагничивания	v	U_1	I_1	I_2	γ
1.	Циркулярный	190 $\frac{\text{см}}{\text{сек}}$	220 в	25 а	600 а	89%
2.	„	67 „	„	„	„	91%
3.	„	0,6 „	„	„	„	96%
4.	Продольный	190 „	„	„	45 а	86%
5.	„	67 „	„	„	„	90%
6.	„	0,6 „	„	„	„	95%

Если на графике по оси абсцисс откладывать фазы тока в момент начала выключения α , а на оси ординат

величину $\gamma = \frac{I_{2a}}{I_{2m}}$, то получаем восходящую кривую. Если

же по оси абсцисс откладывать вместо α максимальные длины дуг размыкания l_m , отмечающиеся при разных скоростях раздвижения контактов выключателя первичного тока, то получим нисходящую прямую линию.

Среди полученных длин дуг встречались и такие, где одно и то же значение l_m отметились при разных скоростях раздвижения контактов выключателя первичного тока. Графики показали, что при одинаковых l_m и разных скоростях раздвижения контактов v значения для величины γ получаются приблизительно одинаковыми. Это показывает, что в конечном счете при использованных параметрах размыкания тока величина γ зависит от скорости раздвижения контактов не непосредственно, а косвенно — через l_m .

Было изучено и влияние уменьшения амплитуды последней полуволны намагничивающего тока на получаемую остаточную намагниченность. При этом оказалось необходимым учесть то обстоятельство, что здесь затронут еще и другой фактор — переход вторичного тока трансформатора через нуль. Этот переход выявляется в цепях, где доминирует активное сопротивление.

Зависимость перехода вторичного тока трансформатора через нуль от величины α [Л. 3] следующая: при увеличении α величины переходов увеличиваются. При увеличении α от 0° до фазы, соответствующей амплитудному значению тока, влияние переходов тока через нуль возрастает, а влияние уменьшения амплитуды сокращается до нуля. При значениях α , больших, чем фаза, соответствующая амплитудному значению тока (если в цепи доминирует активное сопротивление) проявляется только влияние перехода тока через нуль.

Иллюстрацией влияния уменьшения амплитуды на остаточную намагниченность приведем следующий пример.

Образец: цилиндрическое тело из углеродистой стали.

$H_c = 11$ эрстед, длина $l = 30$ см, диаметр $d = 1,2$ см. При намагничивании в поле, в котором максимальное зна-

чение напряженности поля $H_m = 100$ эрстед, полученные значения кажущейся остаточной индукции b_r колебались в интервале 151—175 условных единиц, причем выявилось, что с увеличением величины α величина b_r также увеличивалась. Характер такой зависимости можно объяснить влиянием уменьшения амплитуды тока, так как при увеличении α уменьшения амплитуды тока становятся менее значительными. Понятно, что в описанном явлении некоторое значение имели и такие факторы как фактор размагничивания и вихревые токи.

При пользовании магнитным полем, где $H_m = 600$ эрстед, величина b_r при увеличении α уменьшалась от 202 до 183 условных единиц. Характер такой зависимости можно объяснить тем, что здесь уже доминировало влияние перехода тока через нуль.

4. ЗАВИСИМОСТЬ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ОТ ФАЗЫ НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В МОМЕНТ ВКЛЮЧЕНИЯ ТОКА

Если включение и выключение производятся непосредственно в намагничивающей цепи, то, как показали наши опыты, у цилиндрических стержней диаметром более 2 см, остаточная намагниченность зависит от фазы напряжения источника переменного тока в момент включения тока. На более тонких образцах это влияние незаметно. Особенно четко эта зависимость наблюдалась на самом толстом образце из средне-углеродистой стали (0,26% С) диаметром 5 см и длиной 55 см.

В электротехнике переменных токов хорошо известен факт, что при включении переменного тока на индуктивность с ферромагнитным сердечником наблюдаются сильные «толчки» тока и соответственно большие «скачки» магнитного потока, в случае, если момент включения тока падает на нулевую или близкую к ней фазу синусоидальной э. д. с. Наши исследования показали, что если выключение происходит на полуволне того же знака, что и первая «ударная» волна, то получаются сравнительно большие значения остаточной намагниченности (163—168 условных единиц). Если же последняя полуволна, на

которой происходит размыкание, имеет противоположный знак по сравнению с первой ударной волной, то получаются сравнительно малые остаточные намагниченности (77—86 условных единиц), знак которых определяет знак последней полуволны. В опытах получались и промежуточные значения величины b_r , но, как правило, в гораздо меньшем количестве, чем упомянутые экстремальные значения.

С образцом, намагниченным вышеупомянутым толчком тока, проводились следующие опыты. Образец закладывался в соленоид и напряжение на соленоиде при помощи автотрансформатора почти плавно увеличивалось от нуля до 220 в, а затем цепь размыкалась. Оказалось, что остаточная намагниченность сильно зависела от того, каков был знак последней полуволны тока относительно знака первоначального толчка тока при предварительном намагничивании.

Были произведены и такие опыты, где намагничивающий переменный ток был выключен плавным уменьшением тока от максимума до нуля. После этого цилиндр оказался снаружи совершенно размагниченым. Производя снова намагничение цилиндра по режиму: — сперва включение напряжения плавным увеличением от 0 до 220 вольт, а затем внезапное выключение, проявилось опять, что величина получаемой остаточной намагниченности продолжала зависеть от того, каков был знак первоначального толчка магнитного потока при последнем внезапном включении тока. По мнению автора работы это явление можно объяснить эффектом Юровского.

Л. А. Юровский в работе, опубликованной в 1946 г. [Л. 7] показал, что в некоторых случаях в толстом ферро-

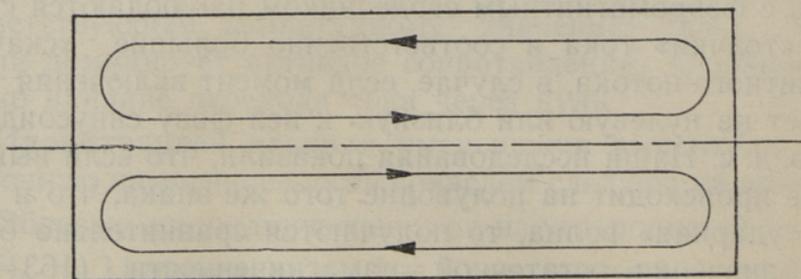


Рис. 2

магнитном цилиндре линии индукции образуют замкнутые кривые, не выходящие наружу (рис. 2.), вследствие чего такой образец внешне проявляется совершенно размагниченным, на самом же деле в его внутренних частях имеется значительная намагниченность. Как известно, для вычисления глубины, на которую проникает импульс маг-

нитного поля $I = \int_0^t (H - H_c) dt$, можно пользоваться

формулой $z = \sqrt{\frac{I}{2\pi\gamma B}}$ где γ — удельная электропровод-

ность. По мнению автора замеченное им явление объясняется по следующему: при включении источника э. д. с. получаемый сильный толчок тока создает и соответственно большой магнитный импульс, который способен проникать в глубь ферромагнитного цилиндра и тем намагничивать его внутренние слои. Следующие за первым толчком тока более слабые полуволны тока создают сравнительно слабые импульсы магнитного поля, которые уже не способны проникать вглубь ферромагнитного цилиндра и тем размагничивать его внутренние слои.

ВЫВОДЫ

1. Величина $\beta = 180^\circ - \omega (t_2 - t_0)$, показывающая, насколько раньше, вследствие наличия дуги размыкания, падает ток до нуля, зависит в основном от фазы тока α в момент разрыва контакта (начало процесса выключения) и от скорости расхождения контактов v . Наибольшие значения величины β получаются в случаях, когда скорость v велика, а фаза момента разрыва контакта α мала. С уменьшением скорости v и с увеличением фазы α (момента разрыва) величина β уменьшается. Искажения в кривых i_1 и i_2 , вызванные дугой размыкания, очень близки по форме.

2. Так как дуга, горящая в первичной цепи, расходует некоторую часть энергии, то в тех случаях, когда дуга возникает до того, как ток достиг максимального значения, наблюдается уменьшение амплитуды последней полуволны вторичного тока. Величина $\gamma = \frac{I_{2a}}{I_{2m}}$, характеризую-

щая уменьшение амплитуды последней полуволны, зависит от фазы тока в момент начала процесса выключения α , а также от скорости раздвижения контактов v . С уменьшением α величина γ уменьшается. Меньшие значения величины γ получаются при больших скоростях раздвижения контактов. Наименьшее полученное значение величины $\gamma = 86\%$.

Отмечалась также слабая зависимость величины γ от метода намагничивания: при одинаковых прочих условиях при соленоидном намагничивании значения величины γ оказываются меньшими, чем при циркулярном намагничивании.

3. Если размыкание тока происходит в цепи намагничивающего тока, то в массивных образцах ($d > 2$ см) наблюдается (при соленоидном намагничивании) зависимость получаемой остаточной намагниченности от фазы напряжения источника переменного тока в момент включения тока. Величина получаемой b_r зависит от того, совпадают ли по знакам первый толчок магнитного потока при включении и поток, вызванный последней полуволной, или они противоположны. В первом случае получаются большие значения b_r , во втором случае заметно меньшие. По мнению автора это явление можно объяснить эффектом Юровского.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Альтма и Р. И. Янус. О наведении остаточной намагниченности переменным током. ЖТФ 1947 г. том XVII, вып. 2.
2. А. В. Альтма и Р. И. Янус. Исследование работы намагничивающего устройства переменного тока. ЖТФ, 1947 г. том XVII, вып. 2.
3. Х. Ю. Ору. О зависимости остаточной намагниченности от фазы размыкания переменного тока. Труды Таллинского политехнического института № 95, 1957 г.
4. Н. М. Родигин. Намагничивание изделия переменным током для дефектоскопии и других целей. ФММ, том IV, вып. 2, 1957 г.
5. О. Б. Брон. Электрическая дуга в аппаратах управления. Госэнергоиздат, 1954 г.
6. Р. Рюдербург. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Издательство Иностранной Лит. 1955 г.
7. Л. А. Юровский. О кажущемся размагничивании. Сборник «Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики». Издательство АН СССР, 1946 г.



Х. Ю. Ору

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ИМЕЮЩИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ
НАМАГНИЧИВАНИИ ТЕЛА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Издательство
Таллинского Политехнического Института

Редактор А. Альтма
Технический редактор А. Тамм
Корректор Ы. Каар

Подписано к печати 23. VI 1958. Бумага $54 \times 84^{1/16}$. Печатных листов 1.
По формату 60×92 печатных листов 0,82. Учетно-издательских
листов 0,62. Тираж 800. Заказ № 469. МВ-04532.

Типография Управления Делами СМ ЭССР, Таллин

Цена 45 коп.