

Ц.46

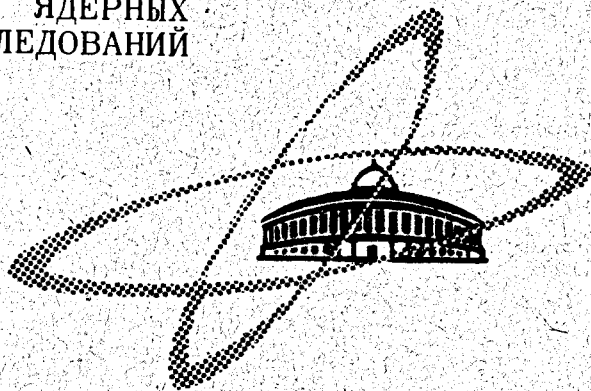
М-152

13/8-69

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 4583



Л.Г.Макаров

ИМПУЛЬСНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ
ТРАНСФОРМАТОР

(Технология изготовления, электрические
характеристики)

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1969

13 - 4583

Л.Г.Макаров

ИМПУЛЬСНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРЕХФАЗНЫЙ
ТРАНСФОРМАТОР

(Технология изготовления, электрические
характеристики)

7998/2 up

Объединенный институт
аэронавтики и космонавтики
Библиотека

А. Технология изготовления

Трансформатор предназначен для питания от сети 380 в зарядной станции, которая заряжает конденсаторную батарею емкостью ≈ 2000 мкф до напряжения 17 кв. Конденсаторная батарея является источником питания высоковольтного соленоида. Схема импульсного питания высоковольтного соленоида описана в /5/. Условия работы системы питания высоковольтного соленоида позволяют использовать трансформатор в импульсном режиме. Импульсный высоковольтный трехфазный трансформатор (ИВТТ) спроектирован и изготовлен как малогабаритный электротехнический аппарат, способный работать с вторичным линейным напряжением до 14,27 кв при номинальной мощности 20 ква.

Промышленность не выпускает трансформаторов с указанными выше характеристиками малых габаритов, позволяющих использовать их в физических экспериментах на ускорителях. Ниже приведены результаты испытания ИВТТ при работе его в импульсном режиме.

При изготовлении ИВТТ использовались железо, бак и выводы от беспаспортного списанного трансформатора.

Общий вид ИВТТ показан на рис. 1.

ИВТТ обладает двумя существенными особенностями. При работе в пределах, близких к короткому замыканию, вторичный ток ИВТТ при разных сопротивлениях вторичной цепи меняется очень мало. Большое магнитное рассеяние ограничивает рост тока в обмотках ИВТТ и позволяет ему справляться с режимом короткого замыкания в начальной части заряда конденсаторной батареи. Второй особенностью ИВТТ является то, что электрическая изоляция обмотки способна выдерживать рабочее нап-



Рис.1. Общий вид ИВТТ.

ряжение до 20 кв и удовлетворительно переносить механические нагрузки импульсного характера.

При изготовлении обмоток ИВТТ для получения высокой электрической и механической прочности использовалось сочетание таких изоляционных материалов как эпоксид и стеклополотно.

Первичная обмотка ИВТТ намотана проводом марки ПБД ϕ 3,86/ σ 3,53 мм в два ряда на стеклоэпоксидные цилиндры.

На рис. 2 показана конструкция катушки первичной обмотки одной фазы.

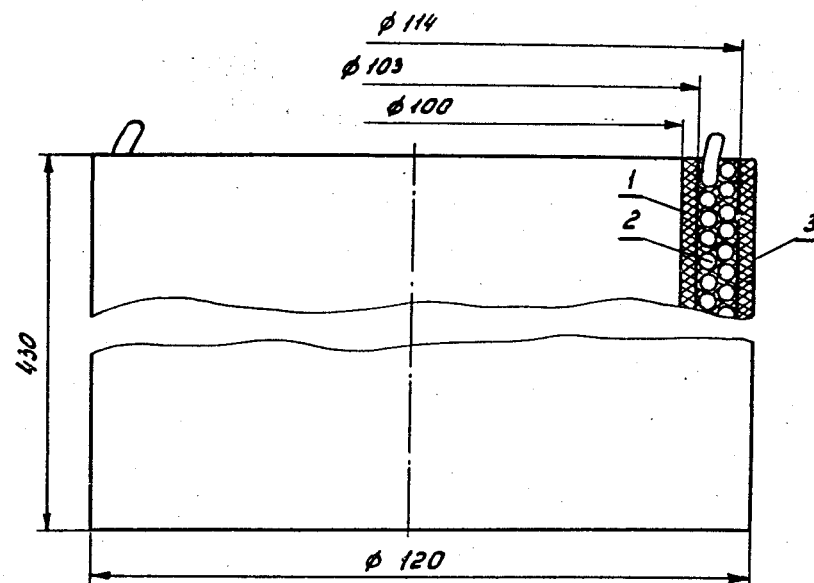


Рис.2. Конструкция катушки первичной обмотки одной фазы. 1 - стеклоэпоксидный цилиндр, 2 - обмоточные провода, 3 - наружный бандаж из стеклоэпоксида.

Во время намотки первичной обмотки хлопчатобумажная изоляция обмоточного провода обильно пропитывалась эпоксидной смолой.

Верхний ряд обмотки и торцы покрыты стеклополотном с эпоксидом. Толщина наружного бандаж - 3 мм. После термической обработки и снятия катушек с болванок-форм, они сохраняют форму цилиндра с большой электрической и механической прочностью.

Вторичная обмотка ИВТТ изготовлена из катушек, которые намотаны проводом марки ПЭВ2 - ϕ 0,86 / ϕ 0,83 мм. Катушки намотаны на изготовленные стеклоэпоксидные каркасы шпулечного вида. На рис. 3 показана конструкция катушки вторичной обмотки.

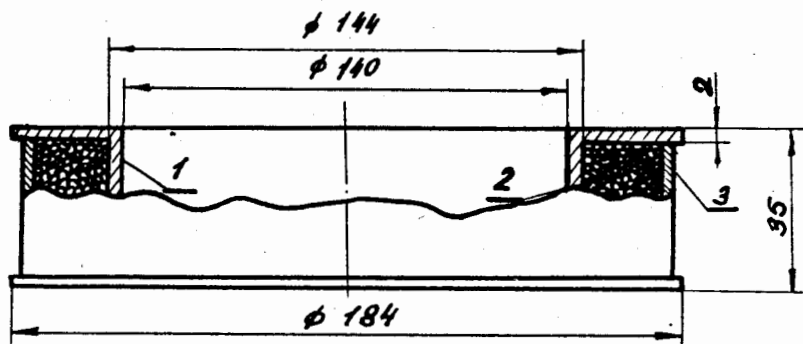


Рис.3. Конструкция катушки вторичной обмотки. 1 - каркас из стеклоэпоксида, 2 - обмоточные провода, 3 - наружный бандаж из стеклоэпоксида.

По высоте каркасы катушек делятся на три типа: высота первого типа - 54 мм, второго - 35 мм, третьего - 20 мм. В процессе намотки высоковольтных катушек каждый слой обмотки смазан шеллачным лаком. Катушки после намотки запечены при температуре 120°C.

По наружному диаметру обмоточный провод высоковольтных катушек дополнительно забандажирован стеклолентой с пропиткой эпоксидной смолой. Толщина бандаж - 2-3 мм.

Все изделия из стеклополотна с эпоксидом проходили термообработку в нагревательной печи после суточного пребывания при комнатной температуре по следующему режиму:

- а) подъем температуры до 100°C - 3 часа;

б) поддержание температуры $100 \pm 110^{\circ}\text{C}$ - 7 часов;

в) остывание до окружающей температуры - 5-6 часов.

Для изоляции и склейки использован эпоксидный компаунд марки К-115 и стеклополотно марки Э, ГОСТ 8481-61, шириной 70 см и толщиной 0,25 мм. В качестве отвердителя использован полиамин.

Рецепт изоляционной и клеящей основы следующий: 12 весовых частей отвердителя на 100 весовых частей компаунда марки К-115. Время "жизни" такого состава - $3 \pm 3,5$ часа.

Формы для изготовления стеклоэпоксидных цилиндров и для намотки катушек первичной обмотки выполнены из дюрала.

На рис.4 показана выемная часть ИВТТ - керн. Из фотографий видно, что каждая фаза высоковольтной обмотки набрана из семи катушек. Верхние четыре катушки намотаны на каркасы первого типа; пятая - на каркас третьего типа. Две нижние катушки намотаны на каркасы второго типа.

Обмотки ИВТТ на стержнях магнитопровода раскреплены клиньями и усиленными подкладками из гетинакса.

Между катушками высоковольтной и низковольтной обмоток имеются каналы, по которым циркулирует масло для охлаждения.

Сечение одного стержня железа составляет 56 см^2 . На рис. 5 показаны вольтамперные характеристики фаз низковольтной обмотки.

После предварительных испытаний ИВТТ был установлен в рабочую схему питания высоковольтного соленоида и работал в импульсном режиме 100 часов. Каждый час ИВТТ выдавал 180 импульсов. Энергоемкость каждого импульса 289 кдж.

Таким образом, ИВТТ работал указанное время со средней часовой мощностью 14,45 ква и средним током 22 а. Ток в импульсе достигал максимального значения 220 а и, следовательно, ИВТТ развивал импульсную мощность 145 ква.

Испытания показали, что трансформатор с импульсной нагрузкой справляется удовлетворительно. При этом температура верхних слоев масла отличалась от температуры окружающего воздуха ($+15^{\circ}\text{C}$) на 12°C .

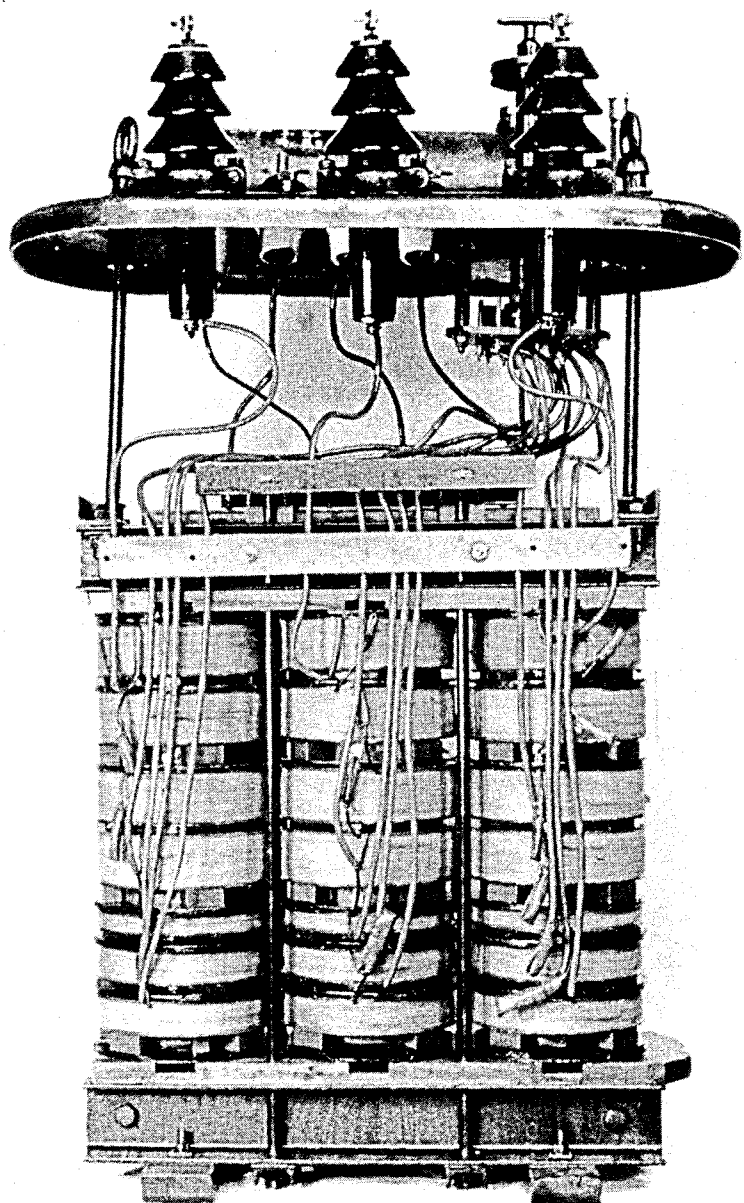


Рис.4. Общий вид выемной части ИВТТ - керн.

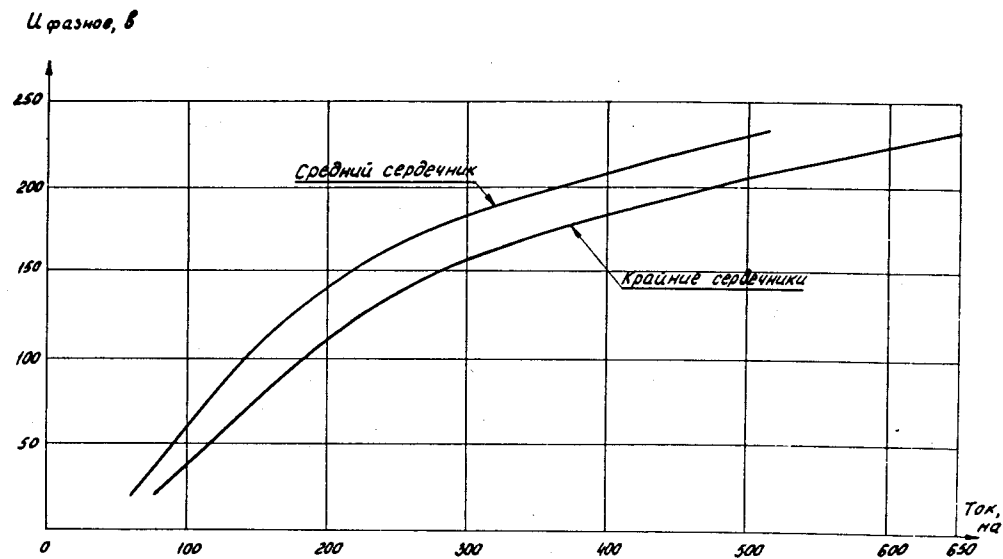


Рис.5. Вольтамперные характеристики фаз низковольтной обмотки.

Высоковольтные обмотки ИВТТ имеют по четыре отпайки, выведенные на переключающее устройство, расположенное на крышке бака. Схема переключающего устройства показана на рис. 6. Регулирование напряжения можно производить ступенями при снятых нагрузке и напряжении. На рис. 7 показана схема включения котельных трансформаторов, которая позволяет при необходимости дополнительно увеличить вторичные напряжение ИВТТ на $\approx 17\%$.

Б. Характеристика импульсного высоковольтного
трехфазного трансформатора

1. Общие данные

1. Условное название - ИВТТ-20/17.
2. Расчетная номинальная мощность - 20 кВА.
3. Число фаз - 3.
4. Напряжение холостого хода - $U_{xx \max} = 12200/380$ В.
5. Частота - 50 Гц.
6. Схема и группа соединения $Y/Y_0 - 12$.
7. Переключение ступеней напряжений - на стороне 12200 В.
8. Охлаждение - масляное.
9. Установка - внутренняя. Допускается наружная установка в металлической будке.
10. Габариты - 1230 x 770 x 540 мм (1230 мм - общая высота, 950 мм - высота бака).
11. Вес - 425 кг с маслом.
12. Нормальная схема ИВТТ - без включения котельных трансформаторов в обмотки фаз низшего напряжения.

II. Схема обмоток ИВТТ

Первичная обмотка низшего напряжения (н.н.) имеет на фазу 212 витков.

Вторичная обмотка имеет на фазу 6534 витка. Схема обмоток высокого напряжения (в.н.) показана на рис. 8.

Витки обмотки в.н. распределены следующим образом:

- | | |
|----------------|----------------|
| а) $A - X_4$ | - 4900 витков, |
| б) $X_4 - X_3$ | - 324 витка, |
| в) $X_3 - X_2$ | - 650 витков, |
| г) $X_2 - X_1$ | - 650 витков. |

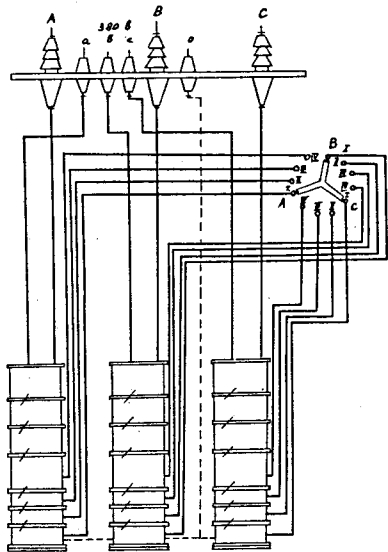


Рис.6. Схема переключающего устройства.

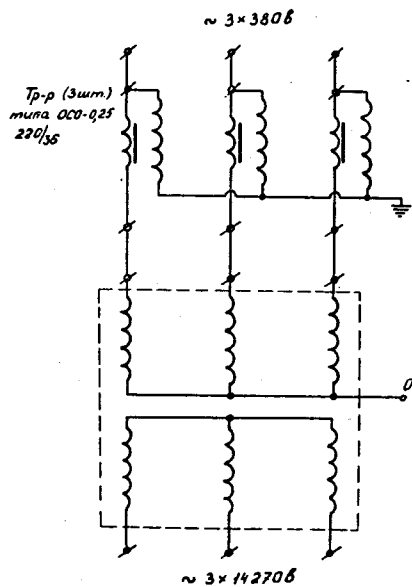


Рис.7. Схема включения котельных трансформаторов.

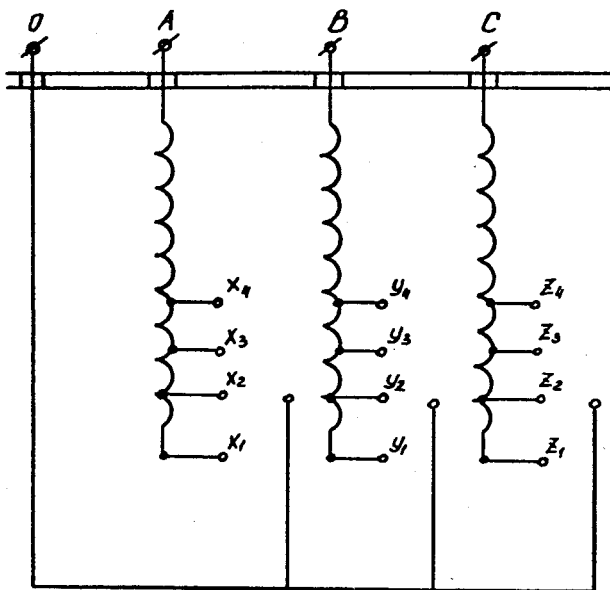


Рис.8. Схема обмоток высоких напряжения.

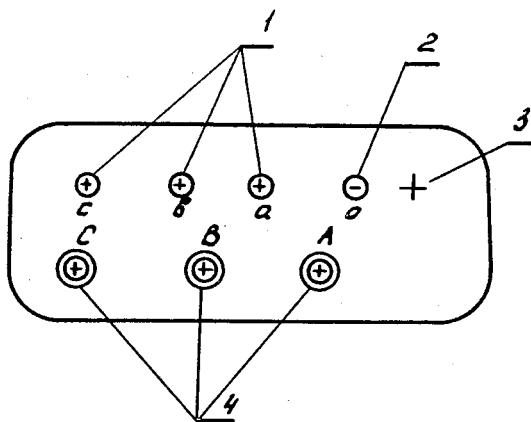


Рис.9. Расположение выводов ИВТТ. 1 - вводы низшего напряжения, 2 - вывод нуля низшего напряжения, 3 - переключающее устройство, 4 - выводы высшего напряжения.

Коэффициенты трансформации напряжения (K_T) приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ пп	Наименование K_T - по ступеням регулиров.	Значение K_T согласно расчета	Значение K_T по зам.-ру	Примечание
1.	K_{T1}	$\frac{6524}{212} = 308$	$\frac{12200}{386} = 316$	
2	K_{T2}	$\frac{5874}{212} = 277$	$\frac{11000}{386} = 285$	
2	K_{T3}	$\frac{5224}{212} = 246$	$\frac{9750}{386} = 253$	
4	K_{T4}	$\frac{4900}{212} = 231$	$\frac{9200}{386} = 238$	

Значение линейных напряжений при нормальной схеме включения ИВТТ (без включения котельных трансформаторов) приведено в таблице 2.

Схематическое расположение выводов трансформатора приведено на рис. 9.

Таблица 2

Положение переключ. устройства	Линейные напряжения холостого хода по стороне				
	Высшего напряжения		Низшего напряжения		Схема и групп- па вклю- чения
	выводы	кВ	соед. нуля в. в. обмотки	выводы	
I	OABC	12,2	0-X ₁ -X ₁ -Z ₁	авс	386
II	OABC	11,0	0-X ₂ -Y ₂ -Z ₂	авс	386
III	OABC	9,75	0-X ₃ -Y ₃ -Z ₃	авс	386
IV	OABC	9.0	0-X ₄ -Y ₄ -Z ₄	авс	386

$$Y/Y_c = 12$$

III. Результаты некоторых испытаний

1. Ток холостого хода в амперах по фазам при $U_{xx} = 400$ в; $I_a = 0,65$ а, $I_b = 0,51$ а, $I_c = 0,65$ а (см. рис. 3)
2. Потери холостого хода по замеру при $U_{xx} = 400$ в составляют $P_{xx} = 129$ вт (сумма трех фаз).
3. Импеданс короткого замыкания, приведенный к обмотке низшего напряжения по отпайкам, составляет:

отпайки	I	II	III	IV
R, ом	1,2	1,3	1,18	1,0

4. Активное сопротивление обмоток ИВТТ в ом, которое замерялось при температуре 16°C, приведено в таблице 3.

Таблица 3

Положение		I	II	III	IV
Сторона в.н.	A-C	232,4	208,6	185,6	177,1
	B-A	232,4	208,6	185,8	174,2
	C-B	232,4	209,7	186,8	175,6
Сторона н.н.	AC	0,09			
	AB	0,09			
	BC	0,09			

5. Изоляция обмоток испытана приложением переменного напряжения в течение 1 мин. при 50 гц на обмотки: в.н. - 20 кв; н.н. - 2,5 кв.

6. Сопротивление изоляции обмоток при температуре 20°C составило: обмотка в.н. - корпус - 130 мгом,
 обмотка н.н. - корпус - 45 мгом,
 обмотка в.н. - корпус н.н. - 130 мгом.

Замер сопротивлений производился мегомметром на 2500 в.

З а к л ю ч е н и е

1. Импульсный высоковольтный трехфазный трансформатор разработан и изготовлен в связи с потребностью иметь удобный источник высокого

напряжения малого габарита при сооружении каналов пучков заряженных частиц высоких энергий.

2. Небольшой вес, малые габариты, возможность быстрого перемещения и монтажа на новом месте, простота эксплуатации характеризуют ИВТТ как транспортабельный электротехнический аппарат.

3. ИВТТ выгодно отличается от подобных устройств тем, что при сравнительно небольших габаритах этот мощный источник высокого напряжения способен удовлетворительно выдерживать импульсные механические нагрузки большой величины.

4. По истечении 520 часов эксплуатации ИВТТ подвергался тщательной ревизии с выемкой керна. Поломок и ослабления крепежа при ревизии не замечено.

Автор выражает благодарность за оказанную помощь в работе: В.Ф. Орлову, И.М. Семенову, А.Я. Филиппову, В.Ф. Афанасьеву, Н.К. Соболеву, М.А. Невзорову, А.С. Филиппову, И.А. Курскову, А.Е. Егорову.

Автор также признателен Н.И. Павлову, Л.Н. Беляеву и А.А. Смирнову за полезные советы и поддержку работы.

Л и т е р а т у р а

1. П.М. Тихомиров. Расчет трансформаторов. ГЭИ, 1953.
2. В.В. Михайлов. Расчет и конструирование высоковольтной аппаратуры. ГЭИ, 1955.
3. Н.И. Бачурин. Литая изоляция высокого напряжения. ГЭИ, 1963.
4. К.И. Черник. Эпоксидилс-компаунды и их применение. Судпромгиз, 1959.
5. Л.Г. Макаров, А.А. Смирнов. Препринт ОИЯИ 13-4187. Дубна, 1968.
6. К.А. Андрианов, М.П. Богородицкий, Ю.В. Корецкий и Б.М. Тареев. Справочник по электротехническим материалам. Том 1, ГЭИ, 1968 и том 2, ГЭИ, 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел

3 июля 1969 года.