МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

ОТЧЕТ МЭК

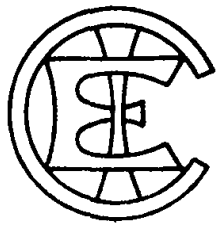
ПУБЛИКАЦИЯ 411—2

Первое издание

1978

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Часть 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



1987

gost.e-ecolog.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

ОТЧЕТ МЭК

ПУБЛИКАЦИЯ 411—2

Первое издание

1978

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Часть 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1987

Советскому комитету МЭК предоставлено право издавать стандарты МЭК на русском языке.

Стандарты МЭК подготавливаются специализированными техническими комитетами, рассматриваются всеми странами — членами МЭК и, являясь выражением Международного опыта в соответствующей области электротехники, отражают согласованную международную точку зрения.

Имеется в виду, что страны—члены МЭК, должны стремиться к согласованию национальных стандартов со стандартами МЭК в максимальной степени, которая допускается условиями каждой страны.

Издание стандартов МЭК на русском языке имеет целью ознакомление с ними всех заинтересованных организаций, широких кругов советских специалистов и инженерно-технической общественности.

При пользовании стандартами МЭК следует иметь в виду, что они не могут заменять действующие в Советском Союзе государственные и другие обязательные к соблюдению нормативные документы.

Пересмотр настоящего стандарта

Техническое содержание стандартов МЭК постоянно пересматривается Международной электротехнической комиссией, что позволяет отражать современное состояние техники.

Информацию о ходе пересмотра, издании пересмотренных стандартов МЭК и изменениях к ним можно получить в национальных комитетах МЭК и из следующих источников:

Бюллетеня МЭК (издается ежеквартально);

Отчета о деятельности МЭК (издается ежегодно);

Каталога публикаций МЭК (издается ежегодно).

Термины, используемые в настоящем стандарте

Общетехнические термины приведены в Публикации МЭК 50 «Международный электротехнический словарь» (МЭС), издаваемой в виде отдельных глав, каждая из которых относится к определенной области электротехники. Общий алфавитный указатель издан отдельной книгой. Подробную информацию о МЭС можно получить по специальному запросу.

Термины и определения, содержащиеся в настоящем стандарте, либо взяты из МЭС, либо специально одобрены для целей настоящего стандарта.

Графические и буквенные обозначения

Графические и буквенные обозначения и другие символы, принятые МЭК, приведены в следующих публикациях МЭК:

27 «Буквенные обозначения, применяемые в электротехнике»;

117 «Рекомендуемые графические обозначения».

Символы и обозначения, содержащиеся в настоящем стандарте, либо взяты из Публикаций МЭК 27 или 117, либо специально одобрены для целей настоящего стандарта.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие
Введение
1. Область распространения и назначение
2. Общие положения
2.1. Схемы соединений, применяемые на электроподвижном составе
2.2. Способы фазового управления
2.3. Рабочие режимы
3. Характеристики при симметричном управлении одноступенчатым однородным преобразователем
4. Характеристики одноступенчатого неоднородного преобразователя
5. Каскадное соединение
Приложение А Приближенная оценка характеристик при каскадном соединении

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Часть 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Официальные решения или соглашения МЭК по техническим проблемам, подготовленные техническим комитетом, в которых представлены все заинтересованные национальные комитеты, выражают по возможности точно международную точку зрения по рассматриваемым вопросам.

2. Эти решения в форме международных стандартов принимают все национальные комитеты.

3. В целях содействия международной унификации МЭК выражает пожелание, чтобы все национальные комитеты при разработке своих национальных стандартов принимали за основу соответствующие стандарты МЭК, насколько позволяют условия данной страны.

Любые расхождения между стандартом МЭК и соответствующим национальным стандартом должны быть по возможности четко оговорены в последних.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий отчет подготовлен подкомитетом 22Д «Силовые преобразователи для электрической тяги» технического комитета 22 МЭК «Силовое электронное оборудование».

Он составлен на основании предложений, подготовленных национальным комитетом Японии.

Проект документа 22Д (Центральное Бюро) 12 обсуждался на совещании в Гааге в 1975 г. и был подготовлен на рассмотрение национальных комитетов, входящих в МЭК, по Правилу шести месяцев в мае 1976 г.

За опубликование данного отчета проголосовали следующие страны:

Австралия	Нидерланды	Швейцария
АРЕ	Польша	Швеция
Бельгия	Румыния	ЮАР
Великобритания	Турция	Япония
Венгрия	Франция	
Италия	ФРГ	

В настоящем отчете даны ссылки на следующие Публикации МЭК:

411 «Однофазные тяговые силовые преобразователи»;

411—1 «Силовые преобразователи для электрической тяги. Часть 1. Преобразователи однофазного тока с использованием тиристоров».

СИЛОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Часть 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1. Область распространения и назначение

Настоящий отчет является дополнительной технической информацией к Публикации 411 «Однофазные тяговые силовые преобразователи» и Публикации 411—1 «Силовые преобразователи для электрической тяги. Часть 1. Силовые преобразователи однофазного тока с использованием тиристоров».

Зависимости между способами управления, режимами работы и характеристиками даны для принципиальных схем однофазных выпрямителей, применяемых на электроподвижном составе.

Основное назначение данного отчета — расчеты энергетических показателей таких, как коэффициент мощности, коэффициент сдвига и состав низкочастотных гармоник. Поэтому предлагаемые эквивалентные схемы стороны переменного тока могут оказаться непригодны для более высоких гармоник.

Рекомендации данного отчета не предназначены для использования при определении токов помех, так как не учтены распределенные емкости питающей сети.

2. Общие положения

2.1. Схемы соединений, применяемые на электроподвижном составе

2.1.1. *Основные соединения*

Преобразователь содержит цепь одного моста. В этом случае может быть два исполнения схемы: первое, когда все плечи мостов состоят либо из тиристоров, либо из диодов (однородное соединение), второе, когда плечи составлены как из тиристоров, так и из диодов (неоднородное соединение) (рис. 1).

2.1.2. *Каскадные соединения*

Преобразователь состоит из двух или более последовательно соединенных мостов.

При использовании тиристоров мосты регулируются последовательно один за другим (рис. 2).

2.2. Способы фазового управления

Для однородных схем может быть использовано симметричное и несимметричное управление. Неоднородное соединение может рассматриваться как частный случай несимметричного управления (табл. 2 Публикации 411—1 МЭК).

2.3. Рабочие режимы

Характеристики выпрямительной схемы зависят не только от схемы соединения цепи, способа фазового управления, но и режима работы.

Существует много режимов работы однофазной выпрямительной схемы с использованием тиристоров. В настоящем отчете рассматриваются лишь применяемые на практике режимы работы.

Режимы работы зависят, в основном, от схемы соединений, постоянных цепи и угла управления, но в некоторых случаях они зависят также от ширины управляющего импульса и первоначального значения тока. Основной режим работы для выпрямительной схемы — это режим работы неуправляемого моста, составленного из диодов (рис. 3).

Существуют четыре основных режима работы:

a) Режим I. Этот режим состоит из периода выпрямления и периода выключенного состояния, т. е. ток на стороне постоянного тока протекает прерывисто;

b) Режим II. В этом режиме выпрямленный ток переходит из одной пары плеч в другую непосредственно без перекрытия;

c) Режим III. Этот режим в течение одного полупериода состоит из перекрытия, выпрямления и выключенного состояния, ток на стороне постоянного тока протекает прерывисто;

d) Режим IV. Данный режим состоит из перекрытия и выпрямления, ток на стороне постоянного тока протекает непрерывно.

Приведенные выше четыре режима определяются отношением ЭДС постоянного тока и напряжением источника переменного тока, а также отношением реактивного сопротивления цепи переменного тока к реактивному сопротивлению на стороне постоянного тока. На рис. 4—8 показаны зоны этих режимов.

3. Характеристики при симметричном управлении одноступенчатым однородным преобразователем

Влияние активных компонентов в цепи однофазного выпрямителя электроподвижного состава практически незначительно. Если пренебречь активными компонентами, то можно представить основную цепь одноступенчатого однородного преобразователя, как показано на рис. 9. Основные характеристики цепи показаны на рис. 10—55.

На этих характеристиках напряжения и токи отнесены соответственно к напряжению источника переменного тока (E_p) и току короткого замыкания на стороне переменного тока (E_p / X_p). Падения прямого напряжения в вентилях не учитываются.

На рис. 10—55 из практических соображений относительный ток цепи постоянного тока ($I_d \cdot X_p / E_p$) или угол управления (α) даны на оси абсцисс, а угол управления, отношение индуктивных сопротивлений (X_p / X_d) или относительный ток цепи постоянного тока выбран в качестве параметра.

Условные обозначения

μ — коэффициент пульсации тока $\frac{I_{d\max} - I_{d\min}}{I_{d\max} + I_{d\min}}$;

λ — коэффициент мощности (отрицательное значение означает работу инвертора);

$\cos\varphi$ — коэффициент сдвига (отрицательное значение означает работу инвертора);

$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ — пиковое значение n-ой гармоники на стороне переменного тока;

$J_p\ (100\,\text{A}) = J_p$ — значение, отнесенное к току 100 А на стороне переменного тока (действующее значение);

$$J_p = \frac{\sqrt{\Sigma (S_n \times I_n)^2}}{\sqrt{\Sigma I_n^2}} 100 A;$$

I_n — ток n-ой гармоники;

S_n — коэффициент помех телефонной связи С.С.I.Т.Т. 1952.

Предполагается, что импульс управления имеет соответствующую длительность.

Границы режимов следующие:

..... критическая линия эффективного управления;

—·—·— критическая линия нарушения коммутации;

— — — граница между непрерывным и прерывистым режимами.

Примечание. Для схем с нулевым выводом можно использовать данные графики, приняв, что коммутирующее реактивное сопротивление трансформатора сосредоточено на стороне сети.

4. Характеристики одноступенчатого неоднородного преобразователя

Для неоднородного преобразователя характерны несколько видов соединений плеч (см. табл. 2 Публикации 411—1 МЭК). Из них наиболее распространенным видом соединения является симметричное соединение на стороне переменного тока (рис. 1). Однако представленные на графиках характеристики применимы и для других соединений.

На рис. 56—79 приведены основные характеристики неоднородного преобразователя.

На графиках характеристик не учитываются активные компоненты, предполагается, что импульс управления имеет соответствующую длительность. Условные обозначения и параметры идентичны с графиками для однородных преобразователей.

Границы режимов следующие:

..... — критическая линия эффективного управления (см. рис. 60—62 и 71—73);

— — — — граница между непрерывным и прерывистым режимами.

5. Каскадное соединение

Каскадное соединение эффективно для повышения коэффициента мощности, а также снижения высших гармонических составляющих тока на стороне переменного тока и пульсирующих составляющих тока на стороне постоянного тока.

Для получения точных характеристик каскадного соединения необходимо учитывать взаимное влияние обмоток главного трансформатора.

Однако, это взаимное влияние, также как влияние активных составляющих настолько мало, что им на практике можно пренебречь.

Характеристики каскадного соединения (регулирование напряжения, величина переменного тока, коэффициент мощности, коэффициент сдвига и т. д.) приблизительно можно определить по характеристикам одноступенчатой схемы соединения.

В приложении А приведены некоторые примеры методов расчета.

ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАСКАДНОМ СОЕДИНЕНИИ

А1. Предисловие

В целях повышения коэффициента мощности и снижения высших гармонических составляющих в тяговых силовых преобразователях чаще используется каскадное соединение мостов, чем одноступенчатая схема.

Было бы наиболее удобно проводить приближенное определение характеристик каскадного соединения, оперируя характеристиками для одноступенчатого соединения, а не выполнять многочисленные графики с характеристиками для каскадного соединения.

Если необходим точный расчет характеристик каскадного соединения, следует учитывать взаимное влияние обмоток главного трансформатора. Вначале с помощью комбинирования характеристик одноступенчатых схем выполняется приблизительный расчет, не учитывающий взаимное влияние обмоток, на основании которого следует определить можно или нет пренебречь взаимным влиянием обмоток.

Были проведены многочисленные точные расчеты для каскадов неоднородных мостов при различных коэффициентах взаимного влияния, и было установлено, что на практике взаимным влиянием обмоток можно пренебречь.

Так как характеристики режима, когда постоянный ток непрерывен, важны как для каскадного, так и для одноступенчатого соединения, были выполнены многочисленные сравнения между точными и приближенными расчетами для этого режима, и было установлено, что на практике характеристики режима могут быть определены с точностью в несколько процентов при употреблении методов расчета, изложенных ниже.

Поэтому на примере в данном приложении описывается способ приближенного расчета характеристик каскадного соединения по характеристикам однофазных соединений (см. характеристики п. 4).

А2. Модель схемы

Характеристики следующего двухступенчатого каскадного соединения (см. рис. А1), в котором коэффициент трансформации двух вторичных обмоток главного трансформатора изменяется, такие же как для многоступенчатых каскадных соединений.

Условные обозначения

E_p — действующее напряжение на стороне сети переменного тока;

E_{p1}, E_{p2} —действующее напряжение на вентильной стороне переменного тока;

$$E_{p1}+E_{p2}=E_p;$$

$$a_1=E_{p1}/E_p;\ a_2=E_{p2}/E_p(a_1+a_2=1);$$

E_d — ЭДС постоянного тока;

I_p — действующий ток на стороне сети;

I_{p1}, I_{p2}— действующий ток на вентильной стороне;

I_d — среднее значение тока на стороне постоянного тока;

X_{p1}, X_{p2}— реактивное сопротивление (реактивное сопротивление коммутации) на стороне переменного тока;

X_p — реактивное сопротивление всех обмоток на стороне переменного тока

$$X_{p1}+X_{p2}=X_p;$$

$$X_{p1}=a_1X_p;\qquad X_{p2}=a_2X_p,$$

X_d — реактивное сопротивление на стороне постоянного тока, соответствующее частоте сети переменного тока;

α_1 — угол управления моста на стороне обмотки a_1;
α_2 — угол управления моста на стороне обмотки a_2.

А3. Метод расчета

Ниже приведены примеры метода приближенного расчета характеристик для каскадной схемы соединения.

( ) α_1, ( ) α_2, ( ) α_1, α_2 — среднее значение, соответственно:

( ) α_1 — характеристики одноступенчатого соединения для угла управления α_1 с K;

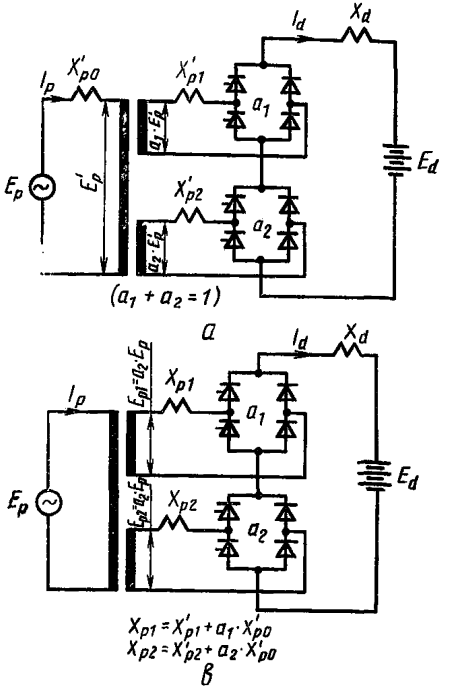
( ) α_2 — характеристики одноступенчатого соединения для угла управления α_2 с K;

( ) α_1, α_2 — характеристики каскадной схемы соединения, в которой один мост, соответствующий обмотке a_1, имеет угол управления α_1, а другой мост, соответствующий обмотке a_2, имеет угол управления α_2;

где K — равно величине, соответствующей каскадному соединению

$$(K = X_p / X_d)$$

Общая схема каскадного многоступенчатого соединения



а—модель схемы; *в*—практически эквивалентная схема

Рис. А1

А3.1. Регулирование напряжения

$$\left(\frac{E_d}{E_p}\right)_{\alpha_1\alpha_2} = a_1\left(\frac{E_d}{E_p}\right)_{\alpha_1} + a_2\left(\frac{E_d}{E_p}\right)_{\alpha_2}$$

Регулирование напряжения постоянного тока
(см. рис. 56—59)

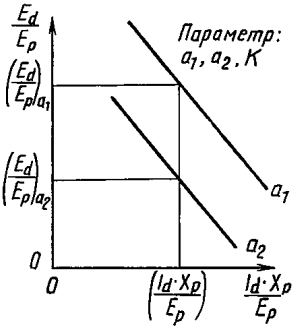


Рис. А2

А3.2. Ток сети на стороне переменного тока

$$\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1\alpha_2} = \left[a_1\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1}(\cos\varphi_{\alpha_1} - j\sin\varphi_{\alpha_1}) + a_2\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_2}(\cos\varphi_{\alpha_2} - j\sin\varphi_{\alpha_2}\right]$$

$$\varphi_{\alpha_1} = \cos^{-1}(\cos\varphi)_{\alpha_1} \qquad \text{(см. рис. А4)}$$

$$\varphi_{\alpha_2} = \cos^{-1}(\cos\varphi)_{\alpha_2} \qquad \text{(см. рис. А4)}$$

Ток на стороне сети переменного тока
(см. рис. 71—77)

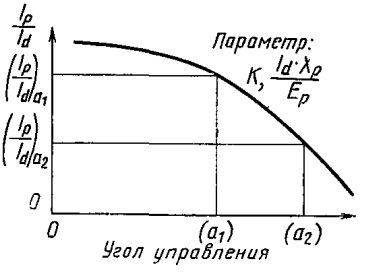


Рис. А3

Коэффициент сдвига
(см. рис. 67—70)

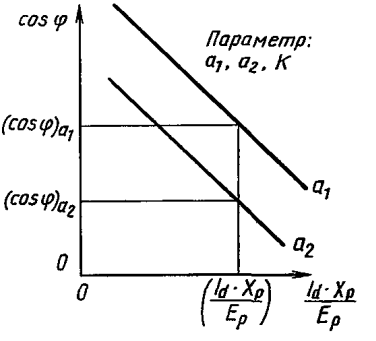


Рис. А4

А3.3. Коэффициент мощности

$$(\lambda)_{\alpha_1\alpha_2}=\left\{a_1\lambda_{\alpha_1}\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1}+a_2\lambda_{\alpha_2}\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_2}\right\}\frac{1}{\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1\alpha_2}}$$

$$\lambda_{\alpha_1}=(\lambda)_{\alpha_1},\ \lambda_{\alpha_2}=(\lambda)_{\alpha_2}$$

Коэффициент мощности
(см. рис. 63—66)

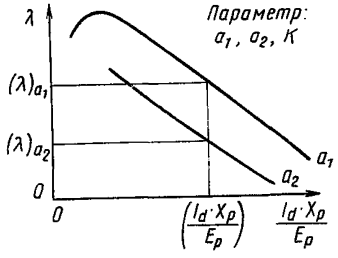


Рис. А5.

А3.4. Коэффициент сдвига

$$(\cos\varphi)_{\alpha_1\alpha_2}=\cos\left\{\tan^{-1}\frac{a_1\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1}\sin\varphi_{\alpha_1}+a_2\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_2}\sin\varphi_{\alpha_2}}{a_1\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_1}\cos\varphi_{\alpha_1}+a_2\left(\frac{I_p}{I_d}\right)_{\alpha_2}\cos\varphi_{\alpha_2}}\right\}$$

См. рис. А4.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ

Однородная схема **Неоднородная схема**

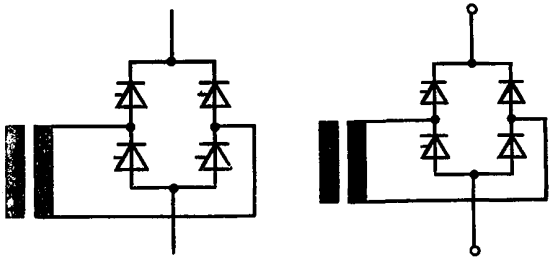


Рис. 1

КАСКАДНЫЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ

Однородная схема **Неоднородная схема**

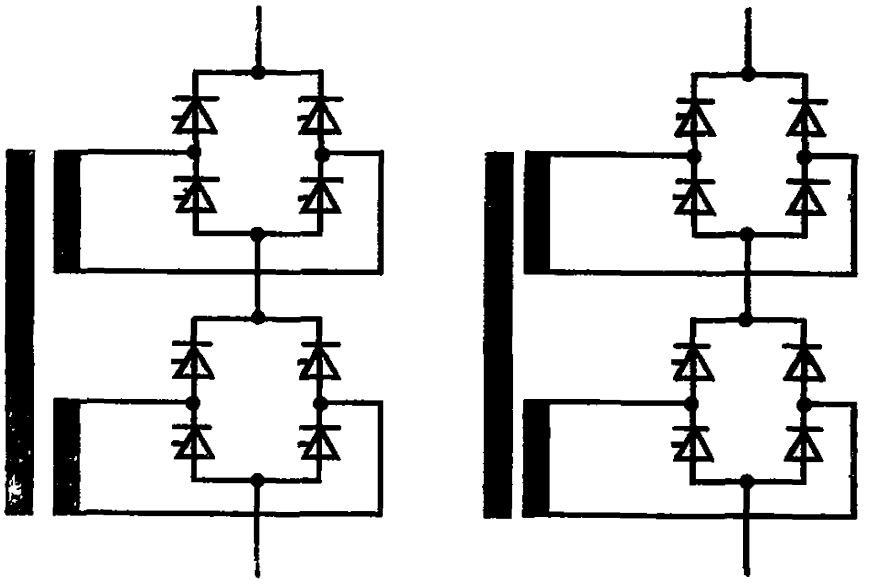
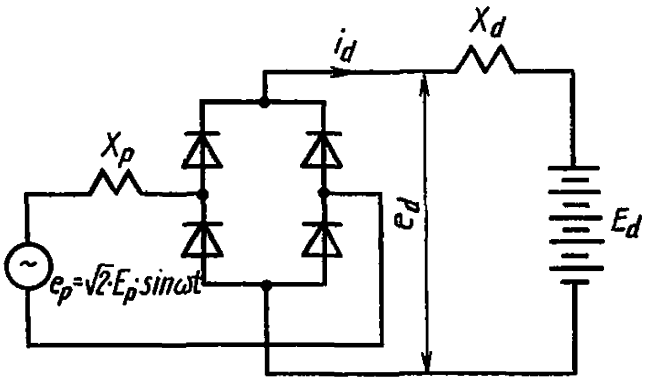


Рис. 2

Рассматриваемая схема выпрямителя



e_p —мгновенное значение напряжения источника переменного тока; E_p —действующее напряжение источника переменного тока; e_d —мгновенное значение напряжения на зажимах постоянного тока диодного моста; E_d —ЭДС постоянного тока; i_d —мгновенное значение тока на стороне постоянного тока; X_p —реактивное сопротивление на стороне переменного тока (реактивное сопротивление коммутации); X_d —реактивное сопротивление на стороне постоянного тока, соответствующее частоте источника переменного тока

Рис. 3

Зоны режимов работы

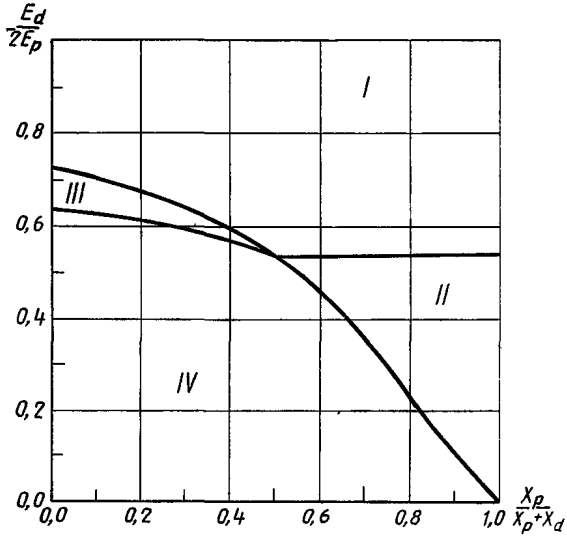


Рис. 4

$$\frac{X_p}{X_p+X_d}=0,5 \quad \frac{E_d}{\sqrt{2}E_p}=0,7$$

Формы волны выходного напряжения и тока выпрямителя (пример для режима I)

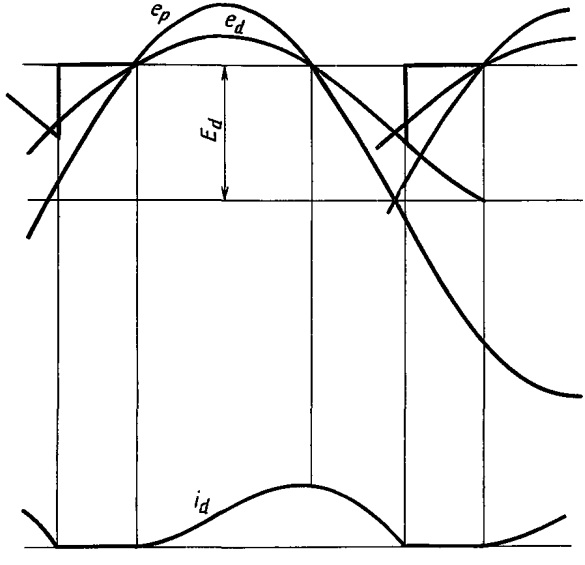


Рис. 5

Формы волны выходного напряжения и тока выпрямителя (пример для режима II).

$$\frac{X_p}{X_p+X_d}=0{,}8 \quad \frac{E_d}{\sqrt{2}\,E_p}=0{,}4$$

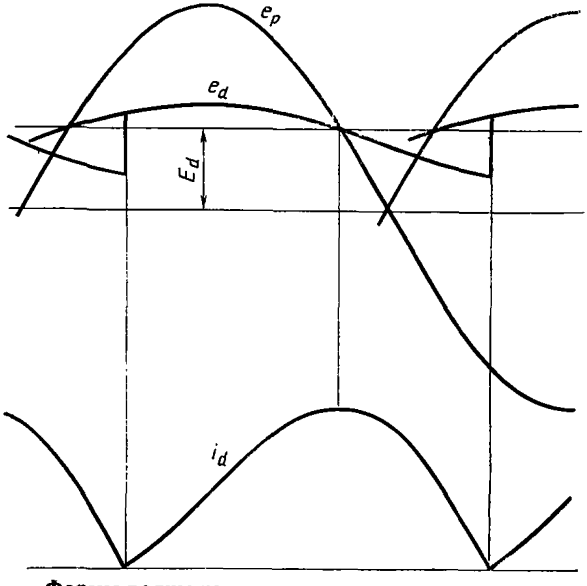


Рис. 6

Формы волны выходного напряжения и тока выпрямителя (пример для режима III)

$$\frac{X_p}{X_p+X_d}=0{,}2 \quad \frac{E_d}{\sqrt{2}\,E_p}=0{,}63$$

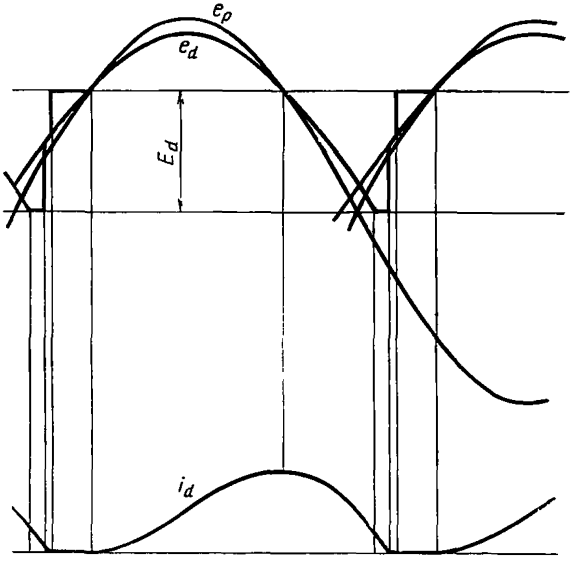


Рис. 7

Формы волны выходного напряжения и тока выпрямителя (пример для режима IV)

$$\frac{X_p}{X_p+X_d}=0{,}3 \quad \frac{E_d}{\sqrt{2}E_p}=0{,}4$$

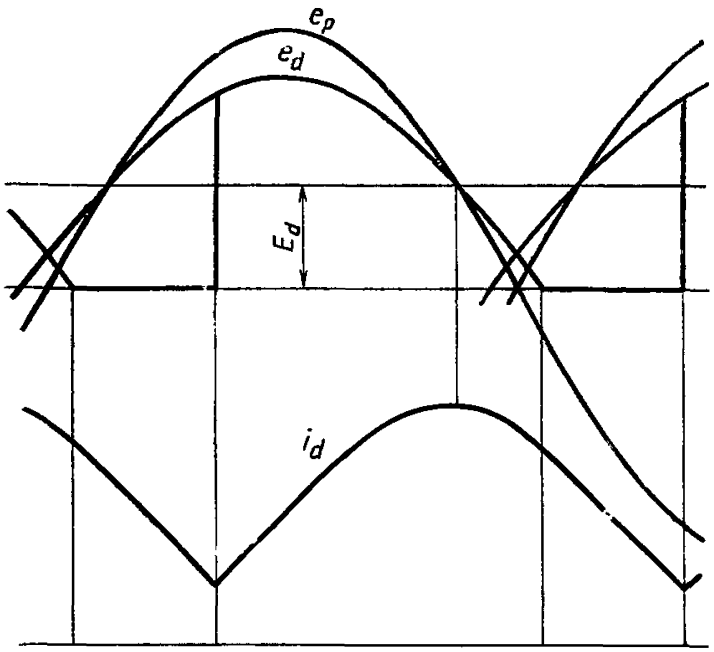
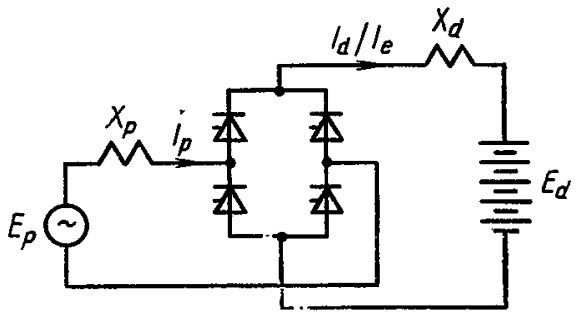


Рис. 8

Основная одноступенчатая схема однородного преобразователя



E_p—действующее напряжение источника переменного тока; E_d—ЭДС постоянного тока; I_p—действующий ток на стороне переменного тока; I_d—среднее значение тока на стороне постоянного тока; I_e—действующий ток на стороне постоянного тока; X_p—реактивное сопротивление на стороне переменного тока (реактивное сопротивление коммутации); X_d—реактивное сопротивление на стороне постоянного тока, соответствующее частоте источника переменного тока

Примечание. Эта схема не всегда применима при таких нагрузках, как у двигателей пульсирующего напряжения, напряжение на зажимах которых существенно изменяется в соответствии с пульсацией тока.

Рис. 9

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

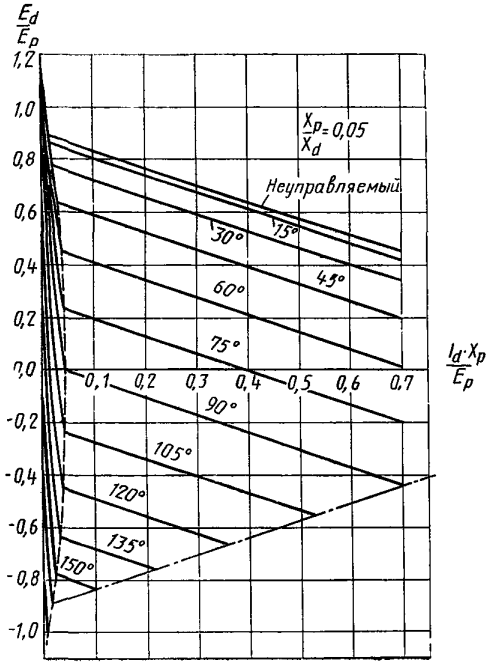


Рис. 10

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

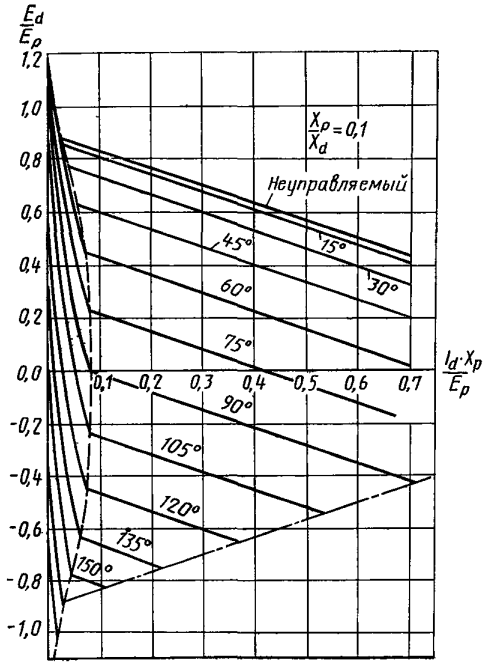


Рис. 11

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
Регулирование напряжения постоянного тока

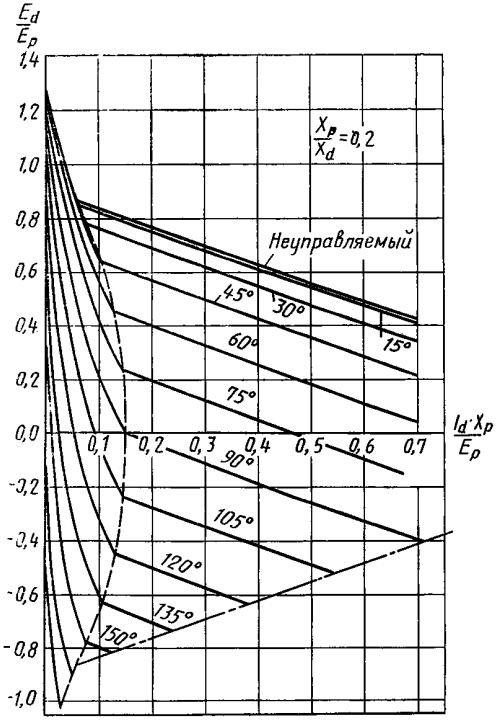


Рис. 12

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
Регулирование напряжения постоянного тока

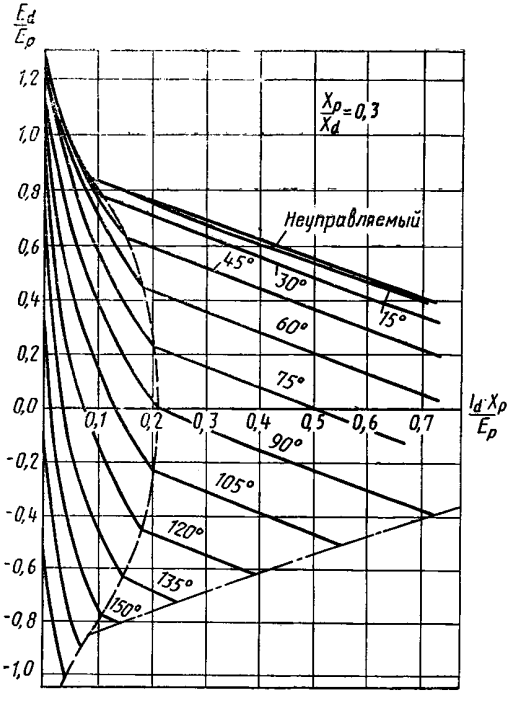


Рис. 13

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

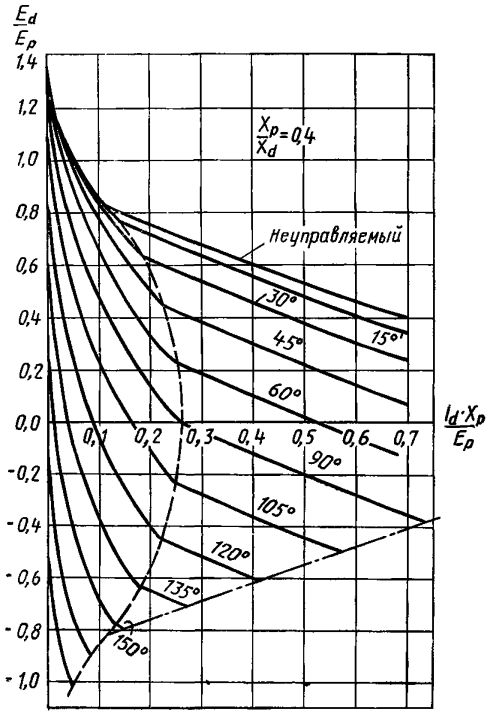


Рис. 14

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент пульсации μ

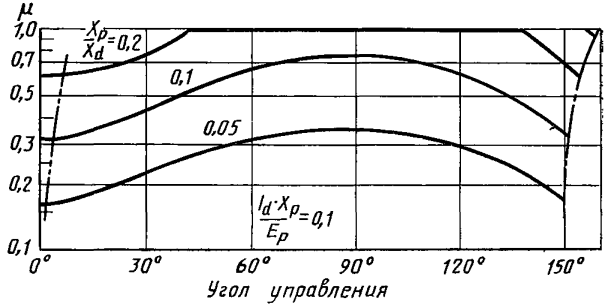


Рис. 15

Коэффициент пульсации μ

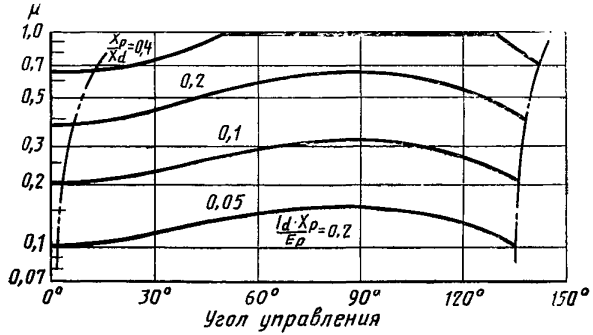


Рис. 16

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент пульсации μ

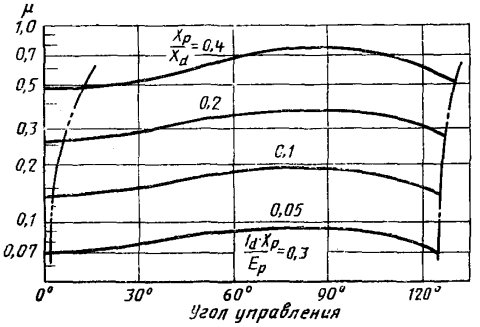


Рис. 17

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

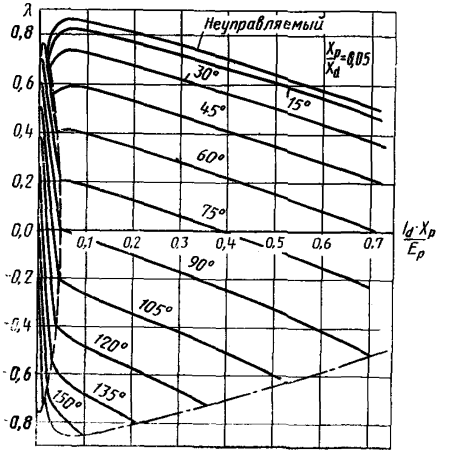


Рис. 18

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

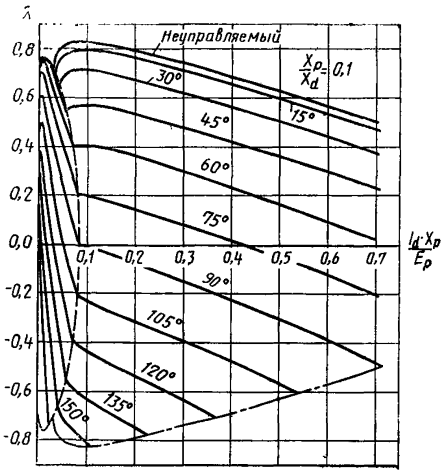


Рис. 19

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

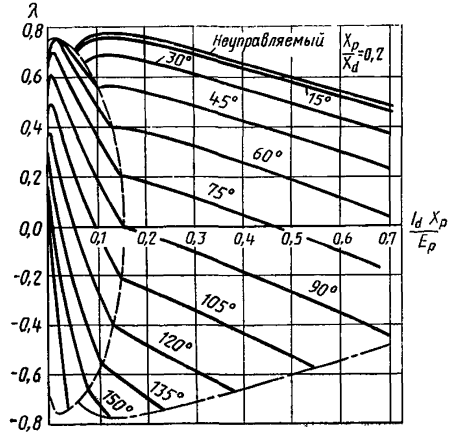


Рис. 20

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

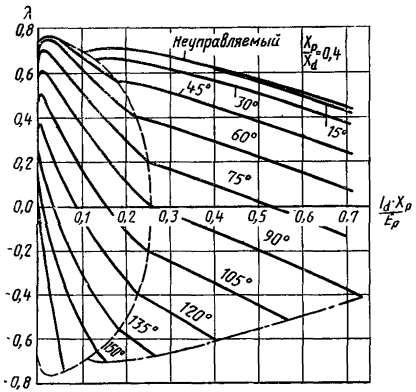


Рис. 21

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

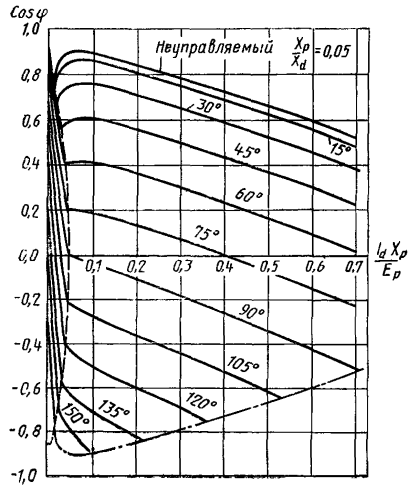


Рис. 22

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

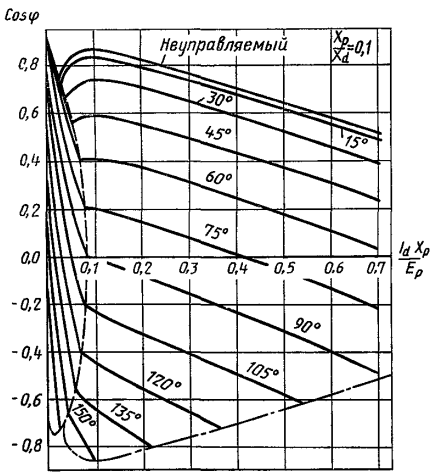


Рис. 23

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

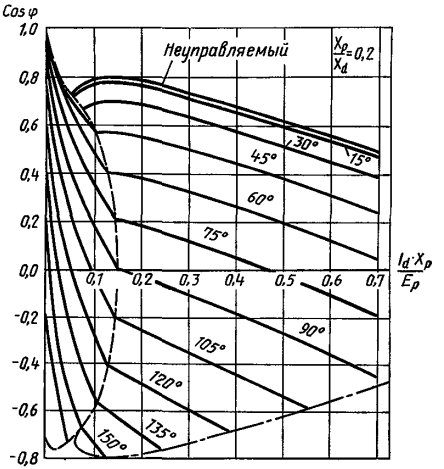


Рис. 24

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

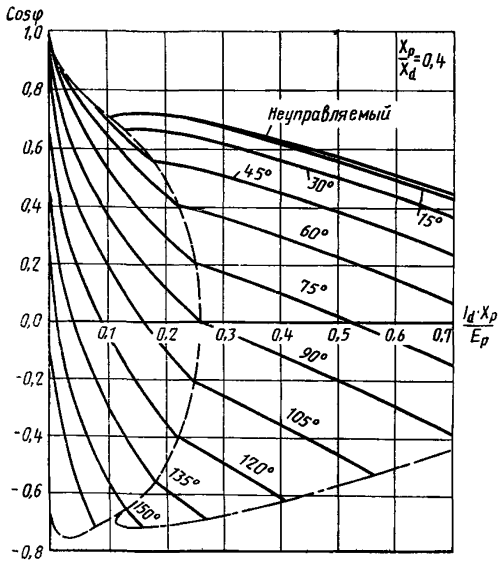


Рис. 25

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

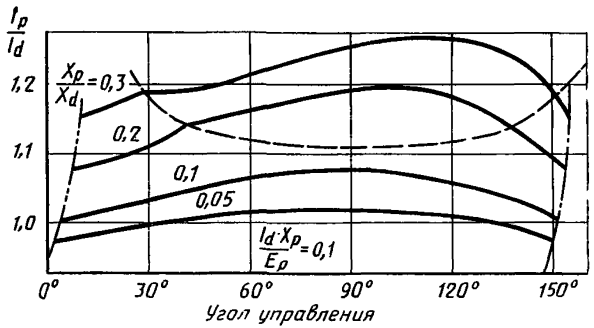


Рис. 26

Действующий ток на стороне переменного тока

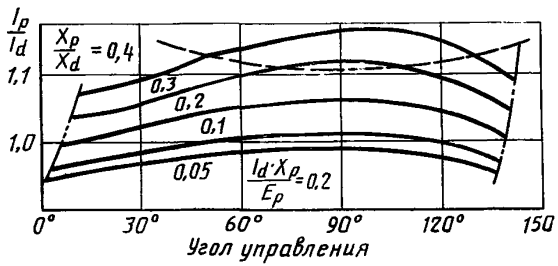


Рис. 27

Действующий ток на стороне переменного тока

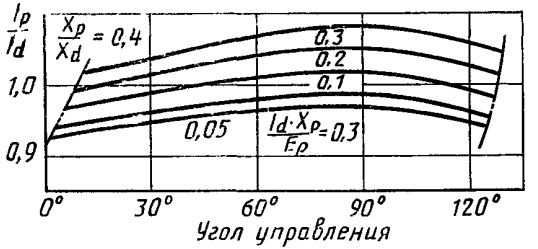


Рис. 28

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне постоянного тока

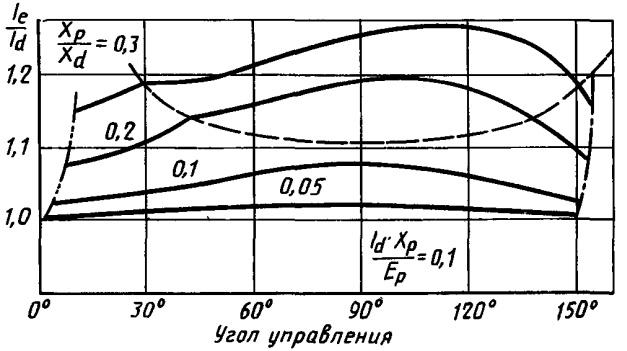


Рис. 29

Действующий ток на стороне постоянного тока

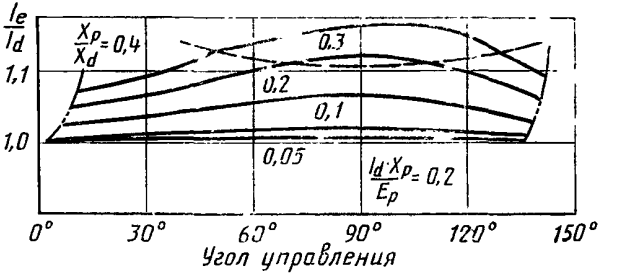


Рис. 30

Действующий ток на стороне постоянного тока

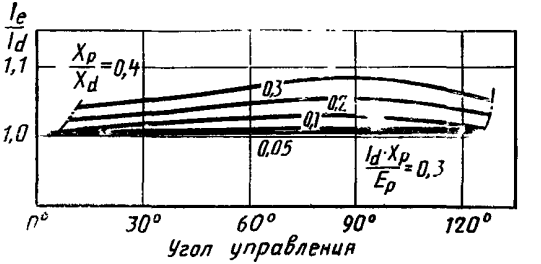


Рис. 31

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

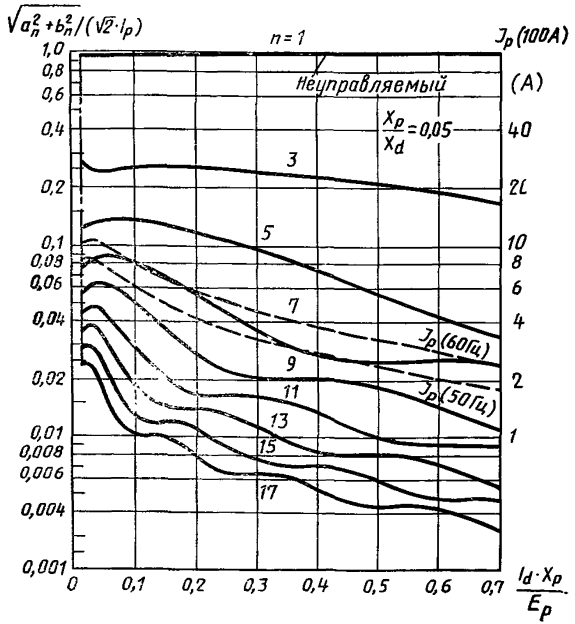


Рис. 32

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

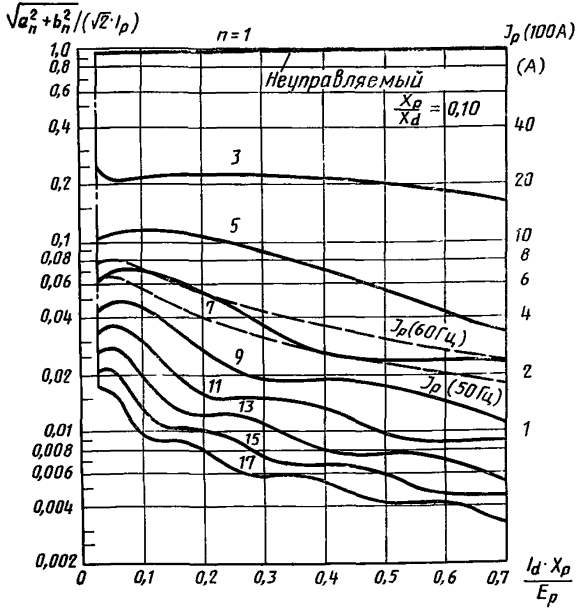


Рис. 33

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

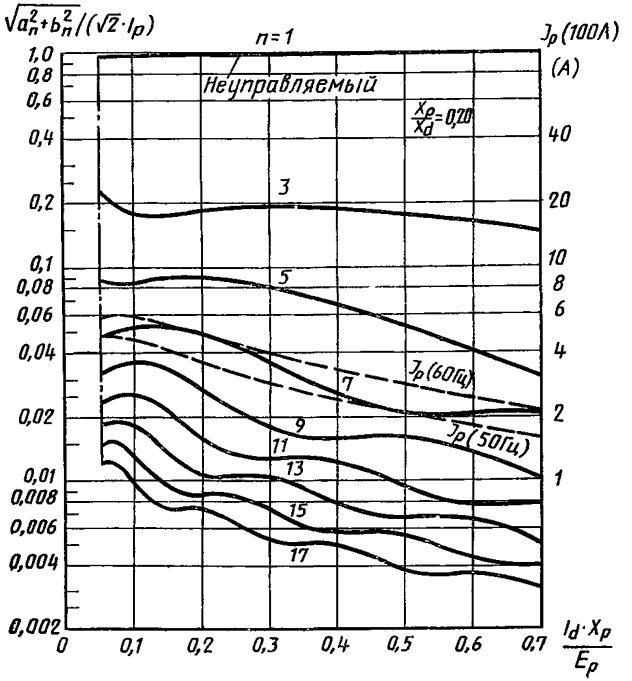


Рис. 34

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

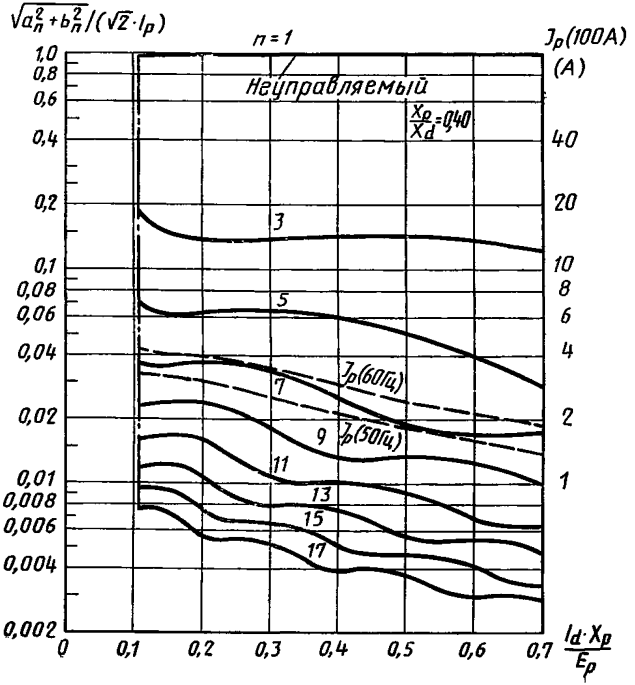


Рис. 35

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

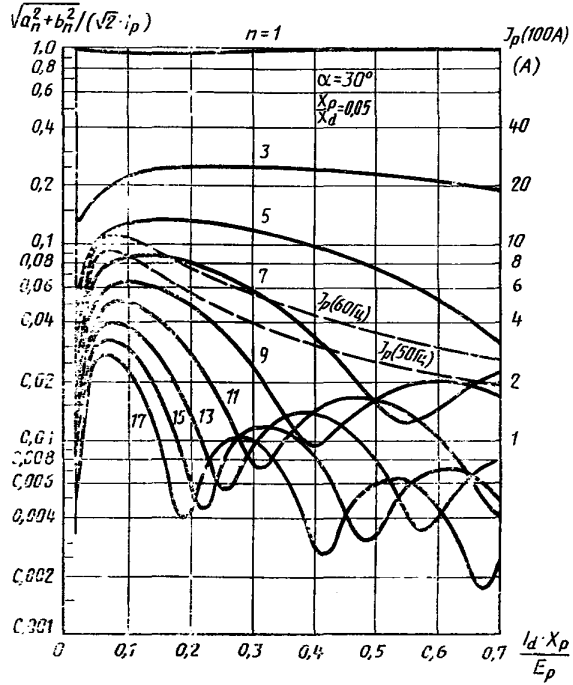


Рис. 36

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

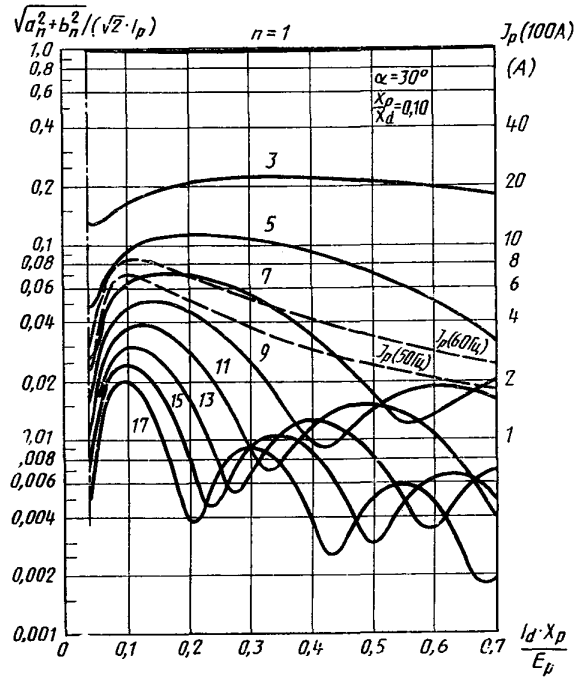


Рис. 37

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

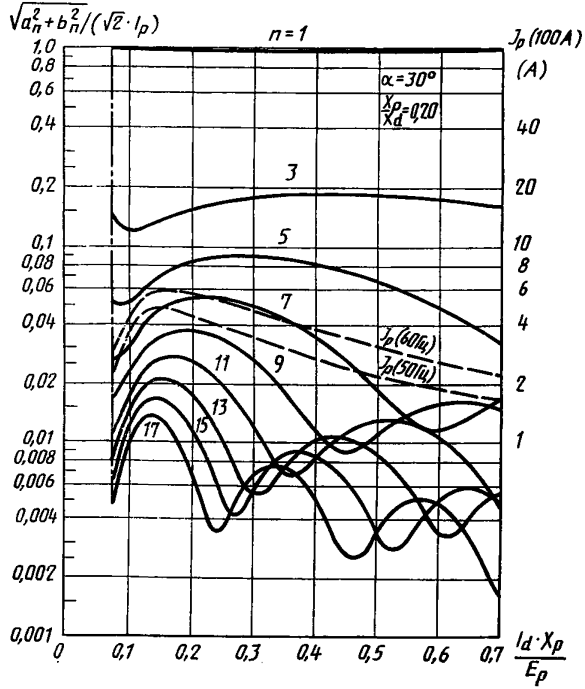


Рис. 38

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

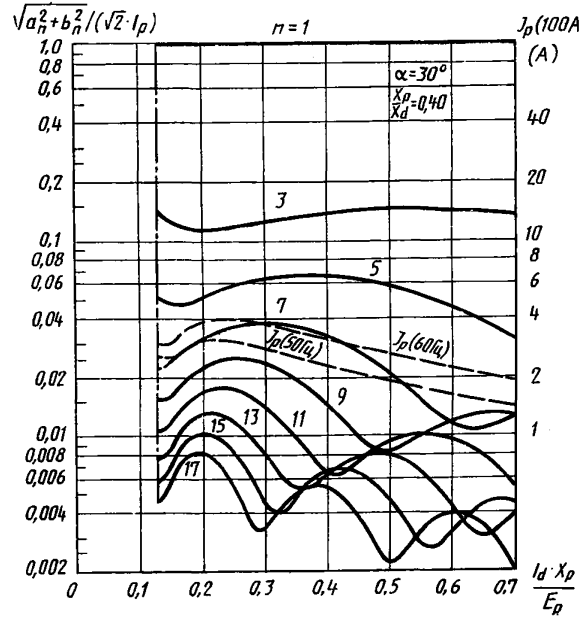


Рис. 39

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

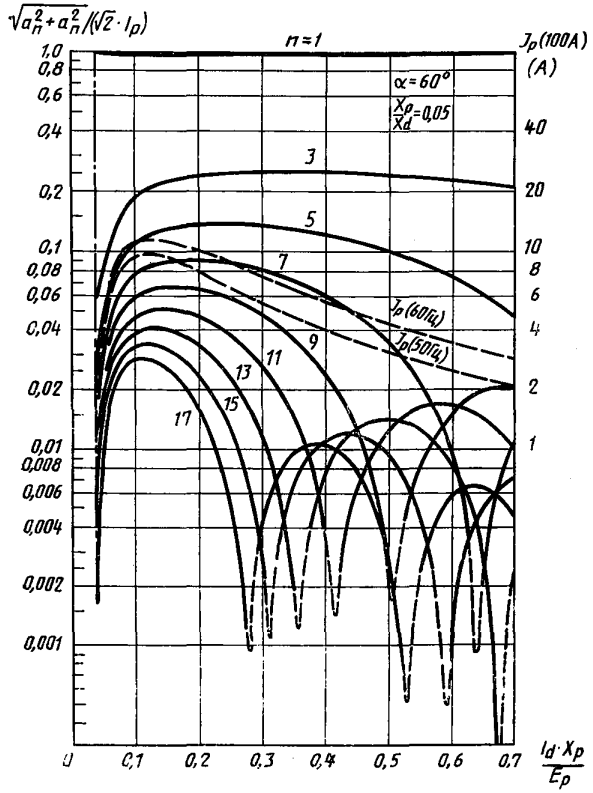


Рис. 40

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

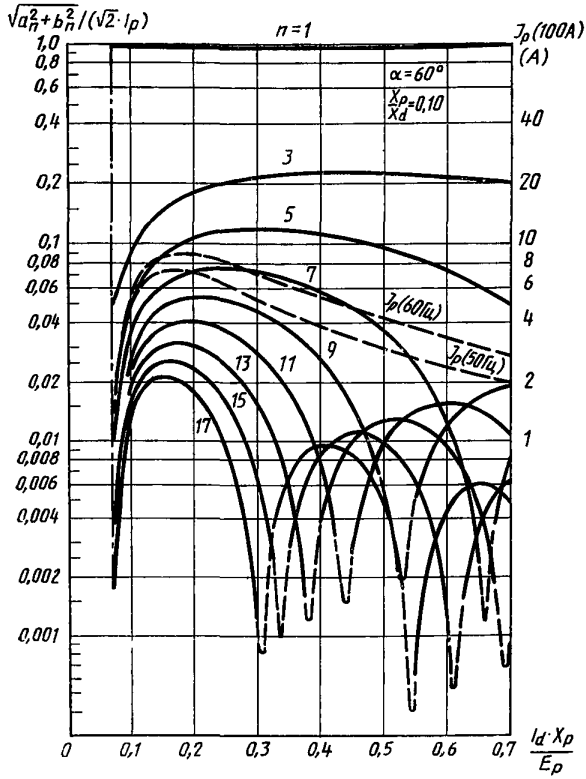


Рис. 41

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

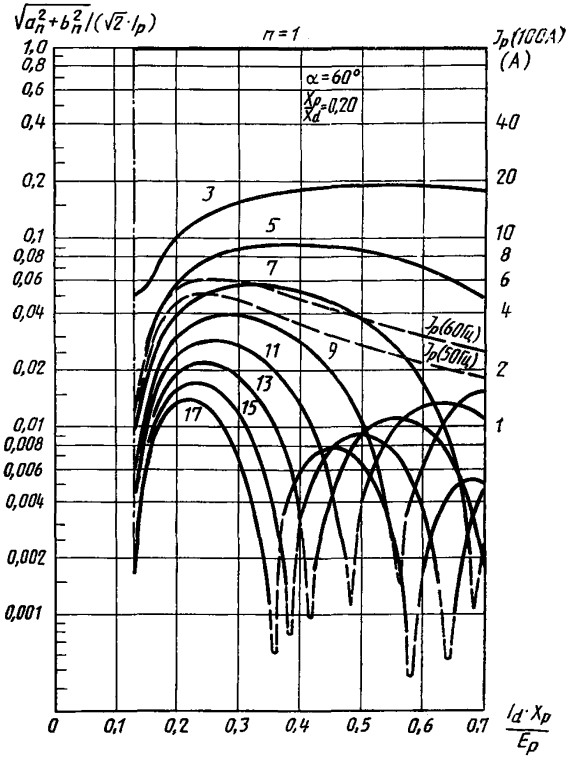


Рис. 42

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

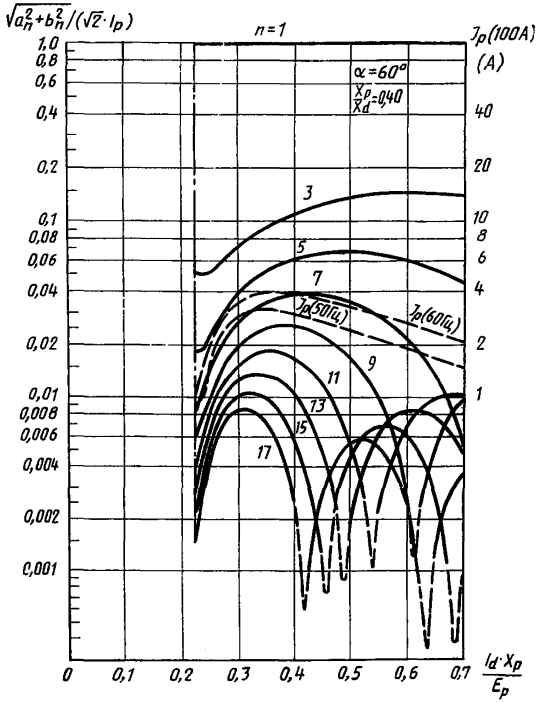


Рис. 43

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

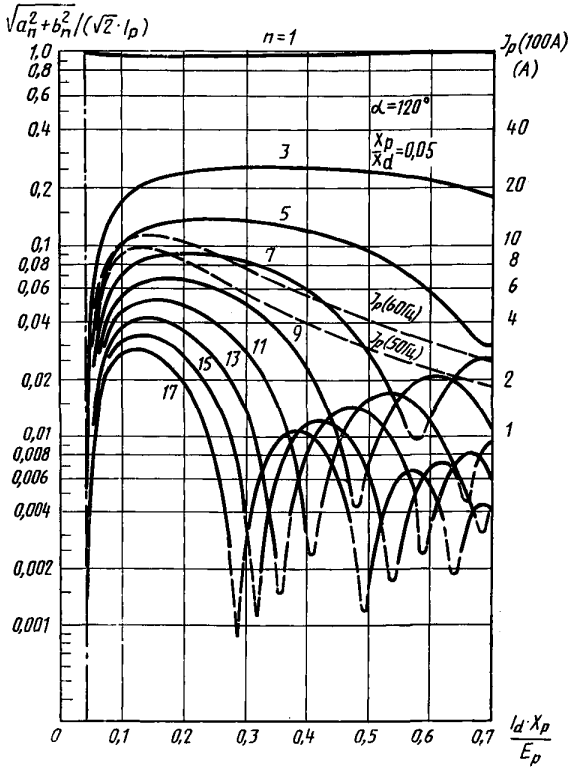


Рис. 44

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

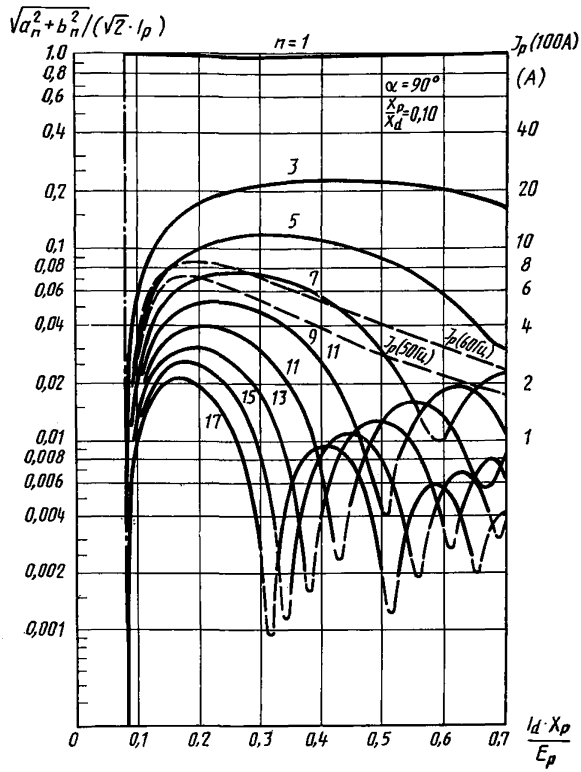


Рис. 45

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

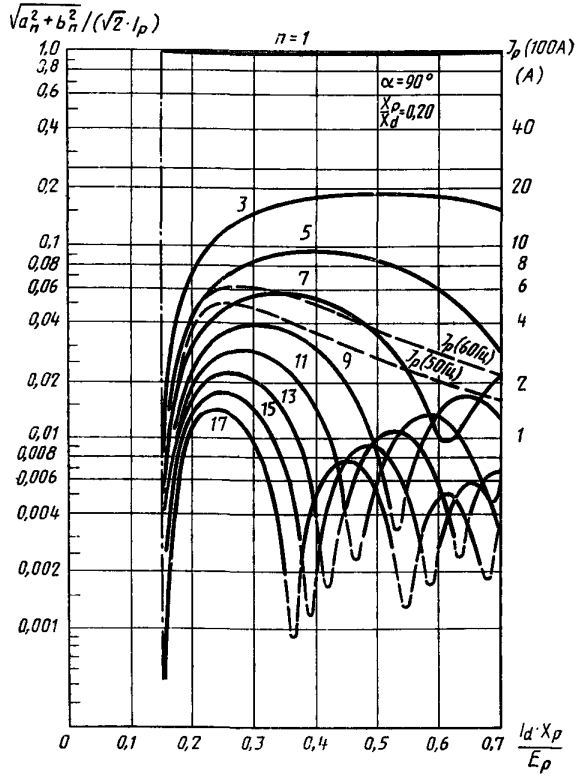


Рис. 46

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

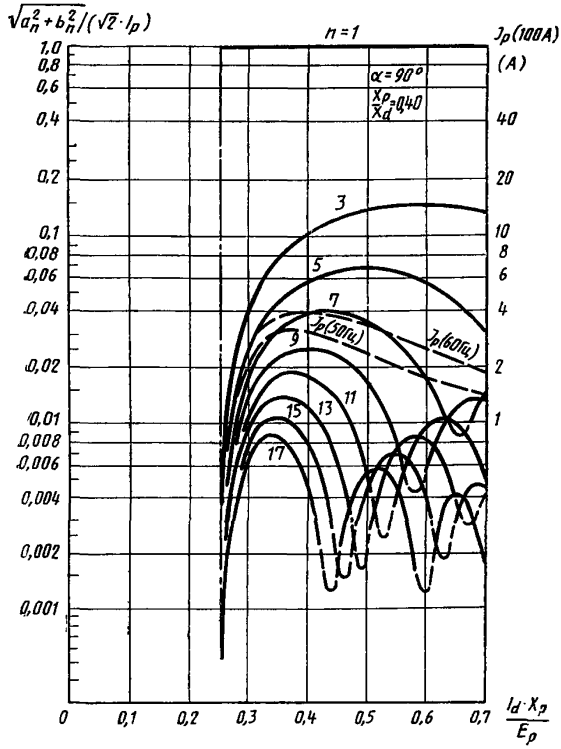


Рис. 47

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

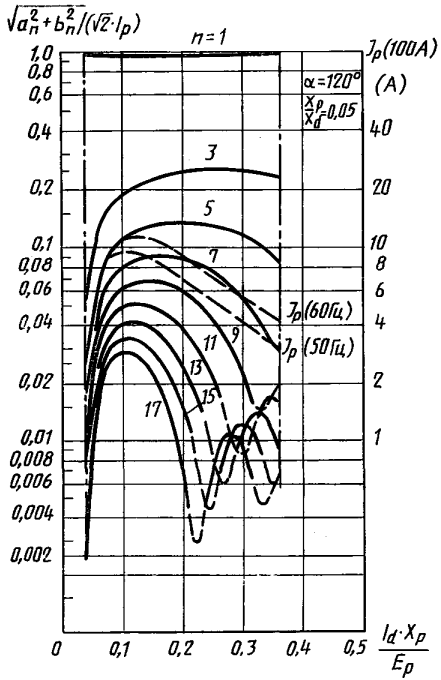


Рис. 48

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

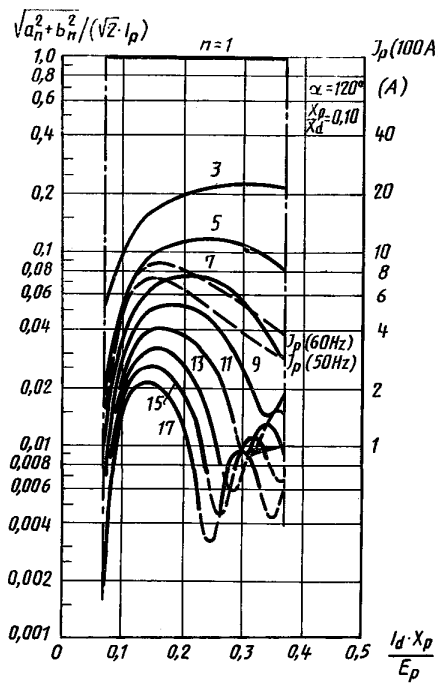


Рис. 49

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

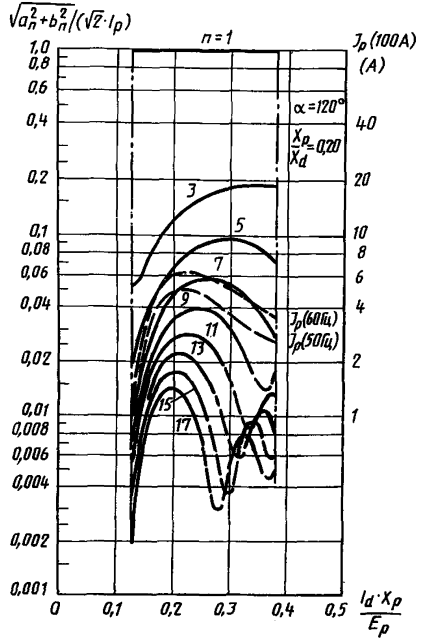


Рис. 50

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

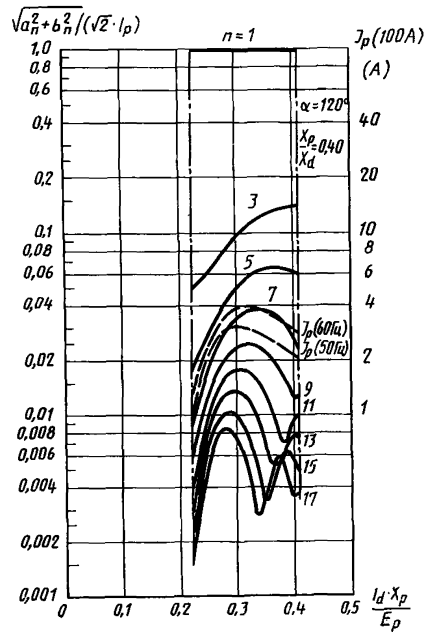


Рис. 51

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

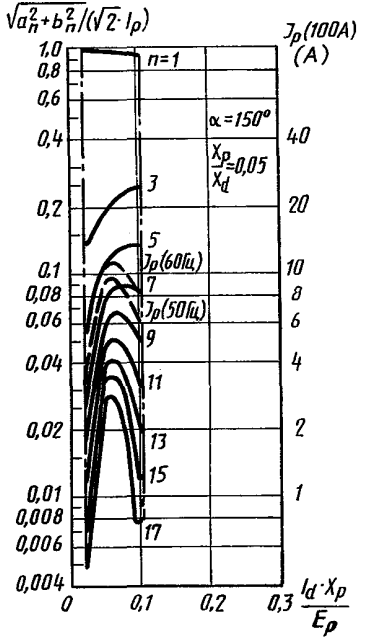


Рис. 52

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

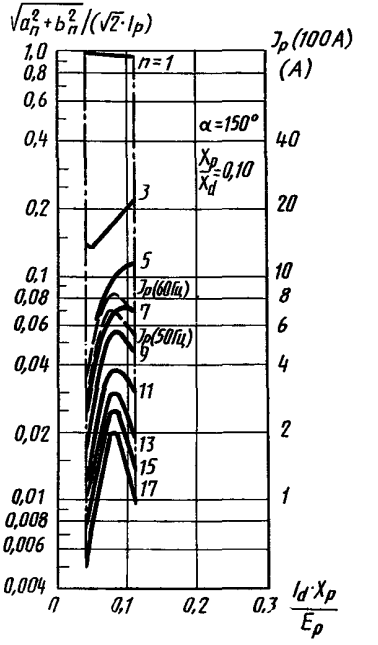


Рис. 53

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

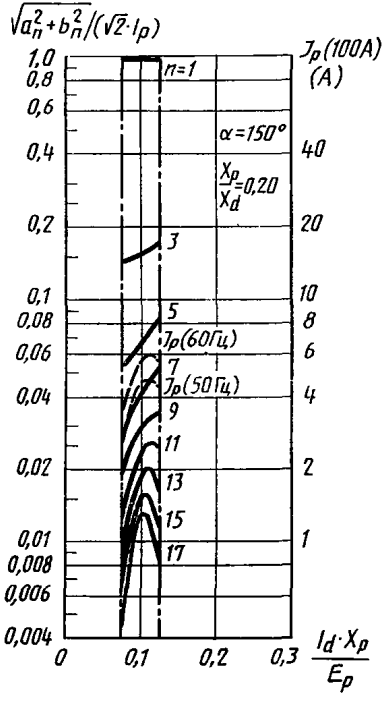


Рис. 54

ОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав тока на стороне переменного тока

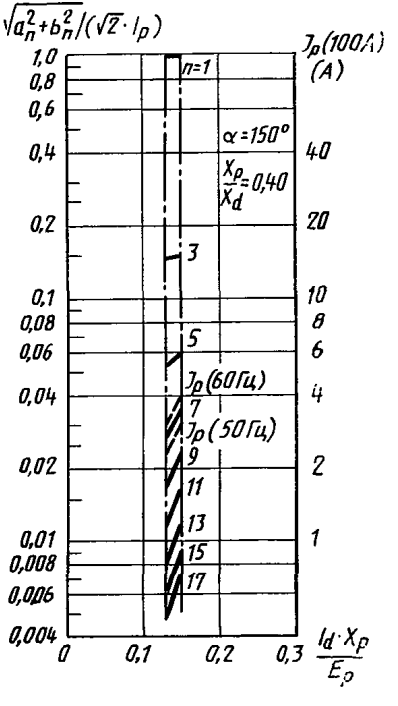


Рис. 55

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

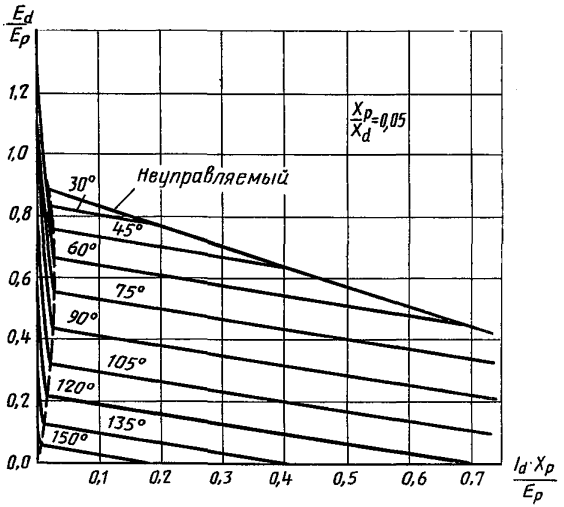


Рис. 56

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

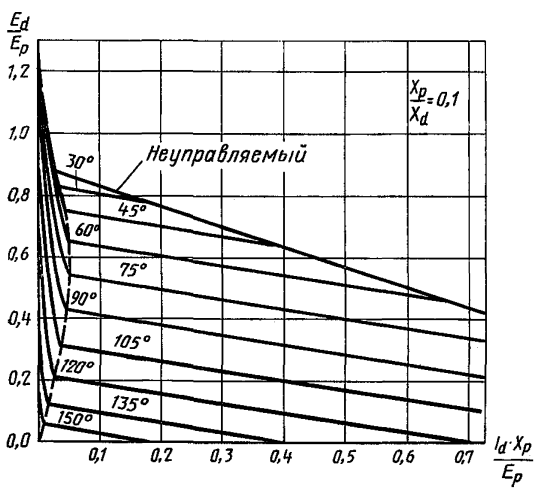
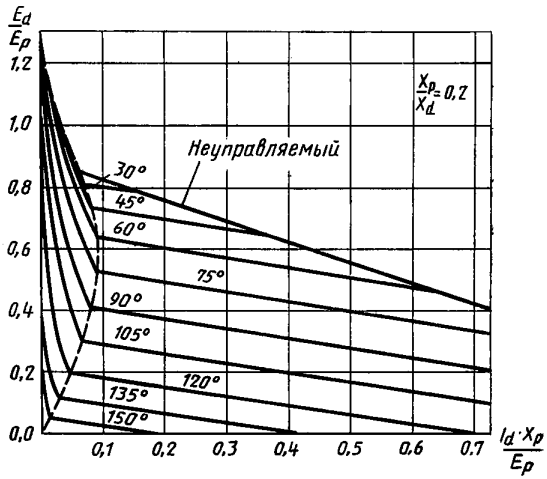


Рис. 57

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока



1) неуправляемый

Рис. 58

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Регулирование напряжения постоянного тока

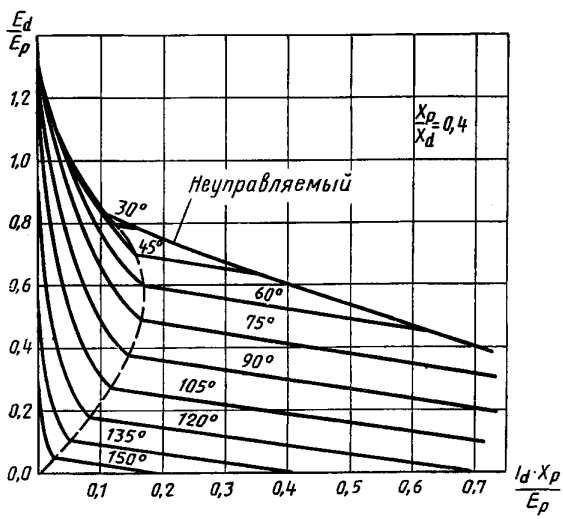


Рис. 59

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент пульсации μ

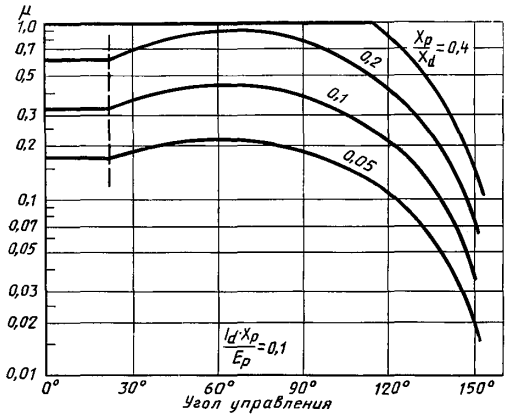


Рис. 60

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент пульсации μ

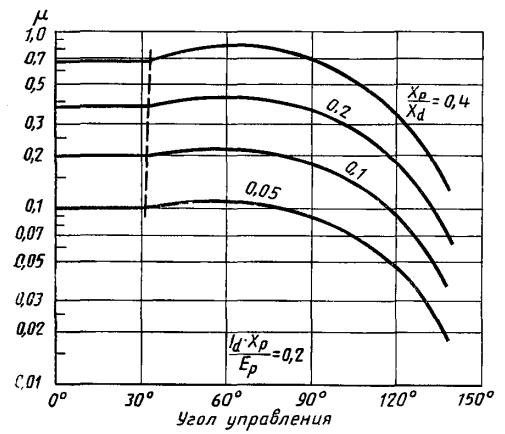


Рис. 61

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент пульсации μ

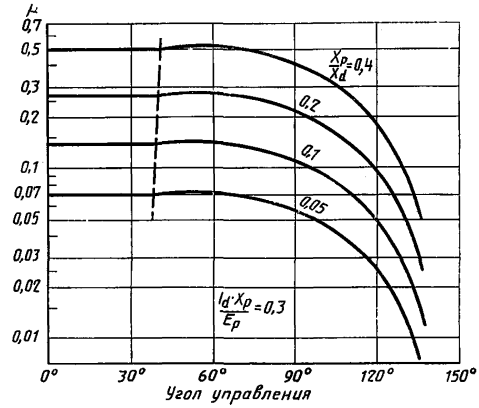


Рис. 62

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

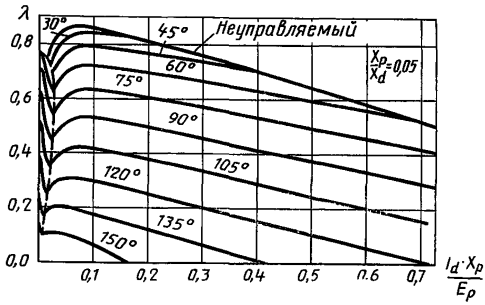


Рис. 63

Коэффициент мощности λ

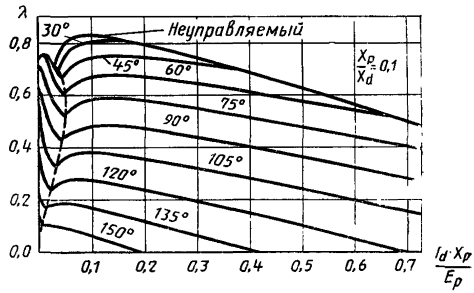


Рис. 64

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент мощности λ

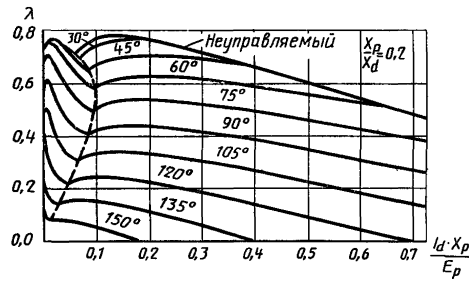


Рис. 65

Коэффициент мощности λ

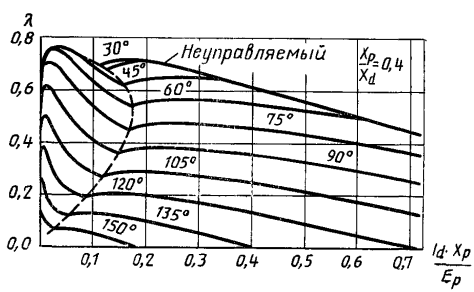


Рис. 66

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

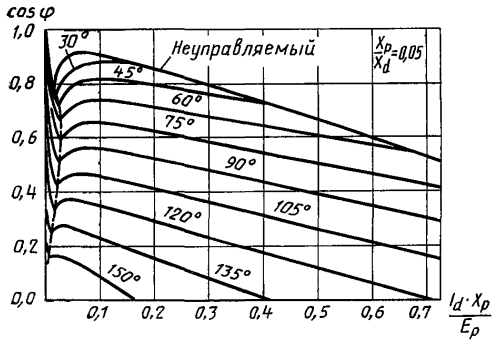


Рис. 67

Коэффициент сдвига cos φ

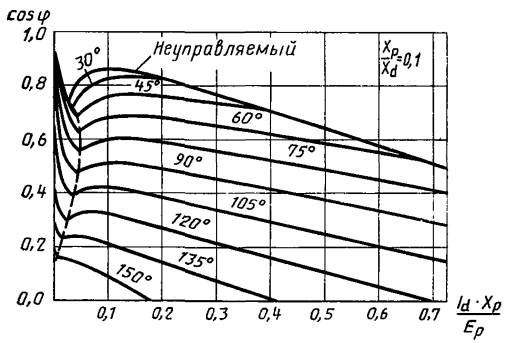


Рис. 68

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Коэффициент сдвига cos φ

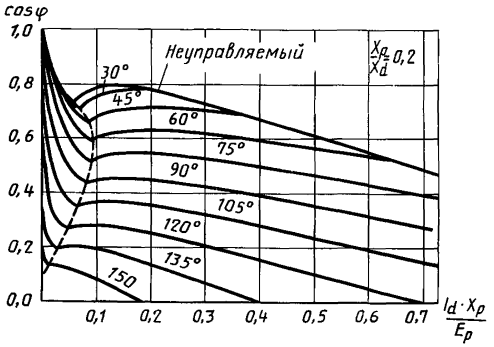


Рис. 69

Коэффициент сдвига cos φ

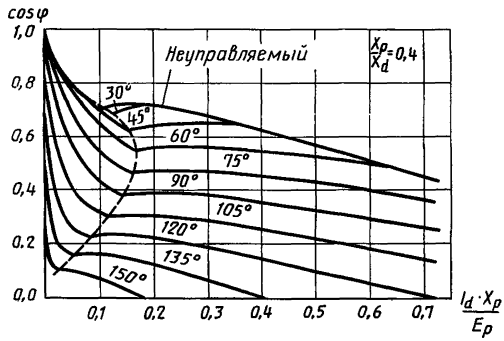
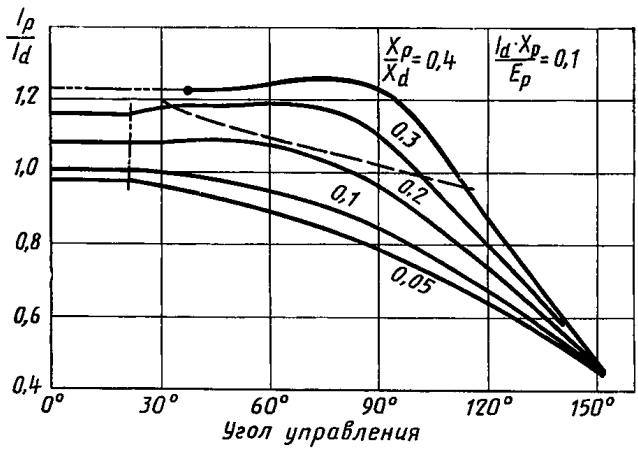


Рис. 70

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока



— · · — · · — Характеристики существуют по этой линии, при достаточной ширине импульса. если же ширина импульса недостаточна, то характеристики не будет.

Рис. 71

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

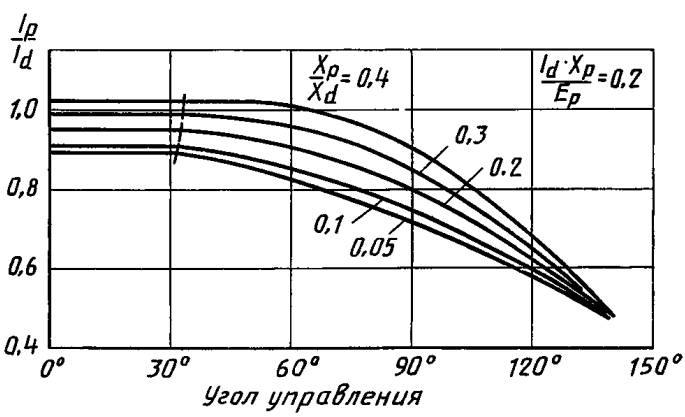


Рис. 72

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

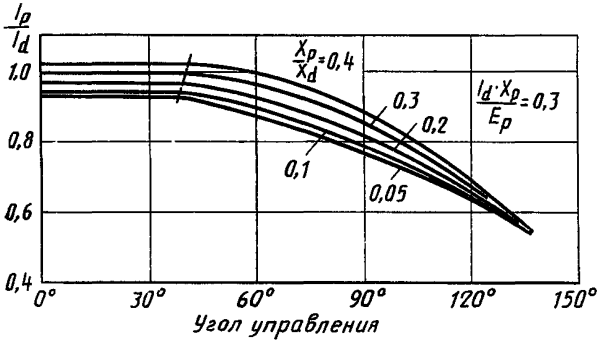


Рис. 73

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

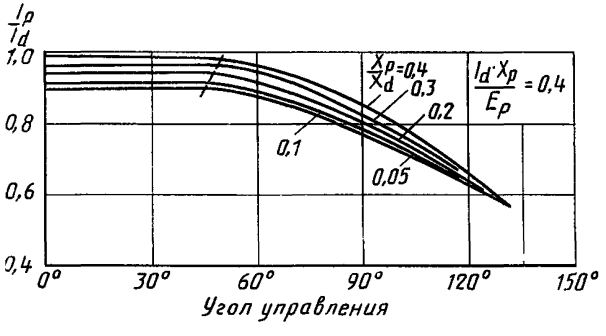


Рис. 74

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

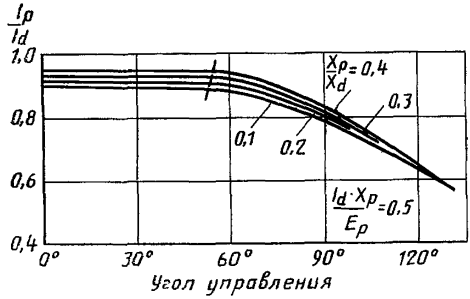


Рис. 75

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Действующий ток на стороне переменного тока

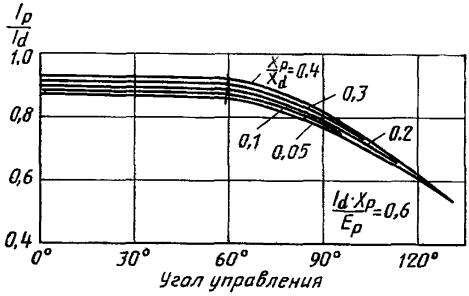


Рис. 79

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
Действующий ток на стороне переменного тока

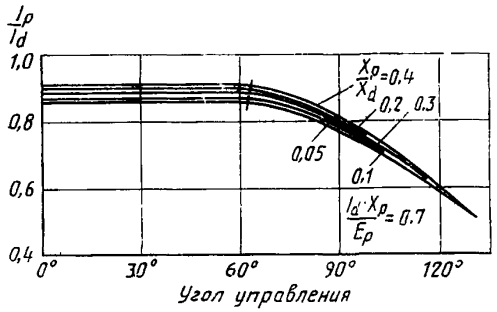


Рис. 77

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
Гармонический состав тока на стороне переменного тока

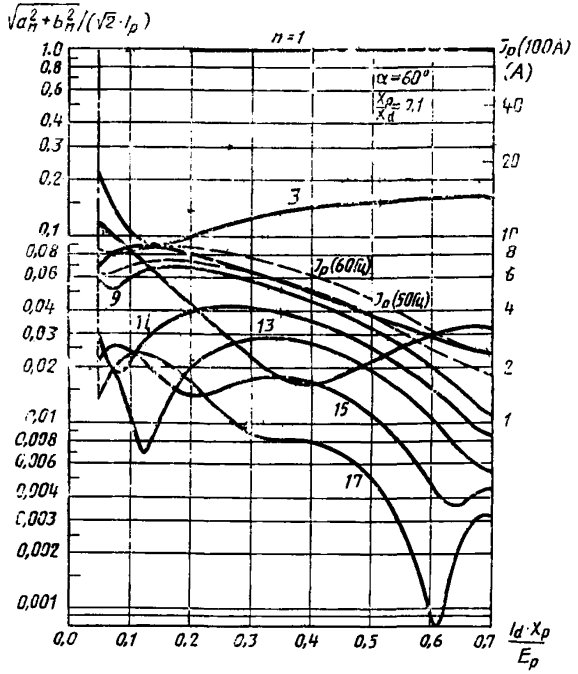


Рис. 78

НЕОДНОРОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Гармонический состав синусоидального тока на стороне переменного тока

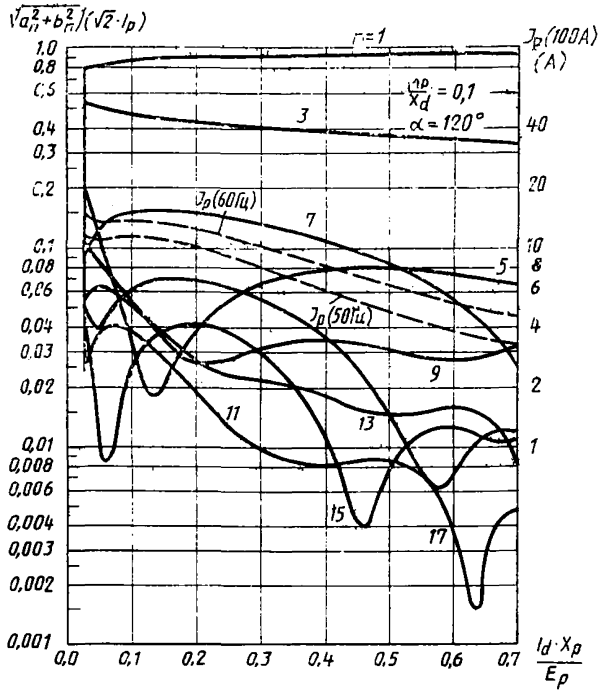


Рис. 79

ПУБЛИКАЦИИ, ПОДГОТОВЛЕННЫЕ ТК22 МЭК

84 (1957)	Рекомендации по ртутным преобразователям.
84A (1966)	Первое дополнение к Публикации 84 (1957).
84B (1967)	Второе дополнение к Публикации 84 (1967).
119 (1960)	Рекомендации по поликристаллическим полупроводниковым выпрямителям и оборудованию.
146—	Полупроводниковые преобразователи.
146 (1973)	Полупроводниковые преобразователи. Изменение № 1 (1975).
146A (1974)	Первое дополнение к Публикации 146 (1973).
146—2 (1974)	Часть 2. Полупроводниковые самокоммутируемые преобразователи.
146—3 (1977)	Часть 3. Полупроводниковые преобразователи постоянного тока прямого питания (импульсные преобразователи постоянного тока).
237 (1967)	Игнитроны, используемые для регулирования сварочных машин.
411—	Силовые преобразователи для электрической тяги.
411 (1973)	Однофазные тяговые преобразователи.
411—1 (1975)	Часть 1. Преобразователи однофазного тока с использованием тиристоров.
478—	Стабилизированные источники питания, полезная мощность постоянного тока.
478—1 (1974)	Часть 1. Термины и определения.
478—2 (1975)	Часть 2. Номинальные характеристики и параметры.
478—3 (1976)	Часть 3. Испытания на воздействие радиоэлектрических помех.
478—4 (1976)	Часть 4. Прочие испытания, кроме испытаний на воздействие радиоэлектрических помех.

Редактор *С. И. Бобарыкин*

Технический редактор *Л. Я. Митрофанова*

Корректор *Л. В. Малявская*

Сдано в наб. 08.05.87 Подп. в печ. 30.09.87 3,5 усл. п. л. 3,63 усл. кр.-отт. 2,78 уч.-изд. л. Тираж 800 Цена 15 коп.

а «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3.
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 1381

gost.e-ecolog.ru