М4157-1

МИНИСТЕРСТВО
МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ СССР

ГЛАВЭЛЕКТРОМОНТАЖ

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПРОЕКТНЫЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ

имени Ф. Б. ЯКУБОВСКОГО

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СО СПЕЦИФИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

МОСКВА 1991

Инв № подл | Подп и дата | Взам инв № | Работа по плану Госстроя СССР | Форма Ф35-85 | Взамен Ф35-79 | Нач. ОТП

gost.e-ecolog.ru

М4157-1

Титульный лист

Форма Ф35а-10 | Взамен Ф35а-15 | Нач. ТО

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. №

МИНИСТЕРСТВО МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ СССР

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ЭЛЕКТРОМОНТАЖ»

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОЕКТНЫЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ

имени Ф.Б. ЯКУБОВСКОГО

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СО СПЕЦИФИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

СОГЛАСОВАНО

НАЧАЛЬНИК ТЕХНИЧЕСКОГО ОТДЕЛА ИНСТИТУТА

Л.Б.Годгельф

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ИНСТИТУТА

А.Г.Смирнов

ОТДЕЛ ОЭС

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА

В.В.Менчик

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬ

Т.Г.Лякишева

МОСКВА 1991

Обозначение	Наименование	Кол. листов	Примечание
М4157-I	Обложка и титульный лист	2	
М4157-2	Содержание	3	
М4157-3	Текстовая часть:	51	
	I. Аннотация.		
	2. Электрические нагрузки, графики электрических нагрузок.		
	3. Электроснабжение.		
	4. Качество электрической энергии, компенсация реактивной мощности.		
	5. Подстанции.		
	6. Приложение I. Применение напряжения 35 кВ для прокатных станов.		
	7. Приложение 2. Расчет качества электрической энергии в сети I0 кВ с конденсаторными батареями.		
	8. Приложение 3. Тиристорный компенсатор реактивной мощности ТКРМ.		
	ЧЕРТЕЖИ		
3I0.8М64284-ЭСI.I лист 24	Графики нагрузок стана 2000 горячей прокатки. (главные приводы)	I	
М37640-3I	Схема электроснабжения стана 2000 холодной прокатки	I	

Содержание тома нормативной документации

Нач. ОТП | Взамен | Форма Ф11-82 | Ф11-79

Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

М4157-2

Нач. отд.	Менчик		
Гл. спец.	Корогодский		
Н. контр.	Мухина		
Зам. ГИПа	Лякишева		XII-91

Содержание

Стадия	Лист	Листов
	1	3

ВНИПИ ТЯЖПРОМЭЛЕКТРОПРОЕКТ ИМЕНИ Ф.Б.ЯКУБОВСКОГО МОСКВА

Формат А4

Обозначение	Наименование	Кол. листов	Примечание
3I0.8M64277-ЭП2.2 лист 50	Схема электроснабжения стана 2000 горячей прокатки	I	
M64827-8	Комплекс I очереди ЦГП-2500. Электроснабжение II0-220 кВ.	I	
M64827-II	Электроснабжение I0 кВ главных приводов стана	I	
M64827-I2	Электроснабжение I0 кВ вспомогательных механизмов стана 2500.	I	
M64528-9	Расчет качества электрической энергии в сети 6 кВ без конденсаторных батарей.	I	
M64528-I8	Расчет мощности тиристорных компенсаторов.	I	
M64686-7	Расчет токов высших гармоник	3	
M64686-9	Расчет фильтров высших гармоник.	3	
M64538-I0	Главная схема электрических соединений фильтра.	I	
	Схема электрических соединений 3-х трансформаторной ГПП-220 кВ со специальной схемой коммутации на стороне I0 кВ с использованием расщепления трансформаторов.		
3I0.8M64277-ЭП2-2 лист 51	Главные электрические соединения.	I	
	Схема электрических соединений 4-х трансформаторной ГПП-II0 кВ.		
M37640-30	Структурная схема электроснабжения.	I	
	Схема электрических соедине-		

Обозначение	Наименование	Кол. листов	Примечание
	Схема электрических соединений 6-ти трансформаторной ГПП-220 кВ.		
М64827-9	Электроснабжение комплекса собственно ЦГП-2500	I	
	3-х трансформаторная ГПП-220 кВ.		
М64195-4	Строительное задание ОРУ-220 кВ. План	I	
	4-х трансформаторная ГПП-110 кВ.		
М37492-15	Строительное задание на установку трансформаторов ТРДЦНК-63000/110 кВ	I	
	6-ти трансформаторная ГПП-220 кВ.		
М64676-3	Строительное задание на здание и электротехнические помещения 6-ти трансформаторной ГПП-220 кВ.	2	
М64679-3	Строительное задание на здание и электротехнические помещения РП-220 кВ с применением ячеек с элегазовой изоляцией.	2	

Содержание типа нормативной документации

Форма ФП-82 л-12

Взамен ФП-79

Нач. ОТП

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. №

М4157-2

Формат А4

АННОТАЦИЯ

В работе освещены специальные вопросы проектирования электроснабжения современных крупных прокатных станов металлургических заводов с нелинейными резкопеременными нагрузками.

Описывается опыт повышения экономичности, надежности и рационализации систем электроснабжения.

Значительное внимание уделено вопросам повышения качества электрической энергии.

В работе рассмотрены также вопросы проектирования главных понизительных подстанций 110-220 кВ по нетрадиционным схемам.

Материал предназначен для инженерно-технических работников, занятых проектированием электроснабжения и подстанций металлургических заводов.

I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В настоящее время наиболее мощные электроустановки со специфическими нагрузками (прокатные и электросталеплавильные цехи) находятся на крупных металлургических заводах, при этом прокатные станы потребляют до 200-250 мВт, мощности электрических печей достигают величины 100-125 мВ.А.

Строительство современных мощных электроустановок со специфическими нагрузками, особенно прокатных цехов, связано с большими затратами и ставит при проектировании электроснабжения сложный комплекс проблемных вопросов, решение которых имеет целью создание надежной, экономической, гибкой и удобной в эксплуатации системы электроснабжения.

Как известно, потребители электроэнергии электроустановок со специфическими нагрузками делятся на следующие основные группы:

1. Потребители с циклическим резкопеременным графиком нагрузки (главные приводы прокатных станов, электродуговые сталеплавильные печи) - ударные нагрузки.

2. Потребители с нелинейным характером нагрузки (тиристорные преобразователи, электродуговые сталеплавильные печи, газоразрядные лампы, установки электродуговой сварки) - нелинейные нагрузки.

3. Потребители с несимметричной нагрузкой - (электродуговые сталеплавильные печи, установки электродуговой сварки) - несимметричные нагрузки.

4. Двигатели переменного тока, силовые общепромышленные установки, имеющие относительно ровные график - спокойные линейные симметричные нагрузки.

Основной для решения комплекса вопросов при проектировании электроснабжения электроустановок со специфическими нагрузками являются графики активных и реактивных ударных нагрузок.

Графики ударных нагрузок подразделяются на:

а) индивидуальные – для отдельных электроприемников (прокатная клеть, электропечь и т.п.);

б) групповые – для группы электроприемников, подключенных к данной секции шин подстанции;

в) суммарный – для всех электроприемников с ударной нагрузкой данной электроустановки.

Групповые графики при проектировании получают с помощью графического сложения индивидуальных графиков, суммарные – с помощью графического сложения групповых графиков.

Режимы и графики работы прокатных станов, которым посвящается данная работа, весьма разнообразны и существенно зависят от выполняемых программ прокатки, имеющих циклический характер, при этом продолжительность цикла не превышает, как правило, 2-3 минут, что значительно меньше 3-х постоянных времени нагрева элемента сети (30 мин.).

Поэтому в качестве расчетного графика для прокатного стана принимается график активных и реактивных нагрузок за цикл наиболее тяжелой программы прокатки.

Ввиду малой продолжительности цикла прокатки и отсутствием в расчетном графике 30-ти минутного максимума нагрузки, в качестве расчетной по нагреву нагрузки принимается среднеквадратичная (эффективная) нагрузка ($P_{ср.кв}$, $Q_{ср.кв}$, $S_{ср.кв}$) за цикл прокатки (Т), определяемая по формулам:

$$P_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T P^2(T)\,dt} \qquad (1)$$

$$Q_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T Q^2(T)\,dt} \qquad (2)$$

$$S_{ср.кв.} = \sqrt{P^2_{ср.кв.} + Q^2_{ср.кв}} \qquad (3)$$

Особое значение при проектировании электроснабжения прокатных станов и решений вопросов качества электрической энергии имеют следующие показатели расчетного графика ударных нагрузок:

а) максимальные (пиковые) нагрузки (Рмакс, Qмакс, S макс);

б) минимальные нагрузки (Рмин, Qмин, S мин);

в) изменения нагрузок (ΔP, ΔQ, ΔS), определяемые по формулам:

$$\Delta P = P_{макс} - P_{мин}$$

$$\Delta Q = Q_{макс} - Q_{мин}$$

$$\Delta S = S_{макс} - S_{мин}.$$

В качестве иллюстрации на рис.I÷3 приведены графики нагрузок стана холодной прокатки 2000 (режим бесконечной прокатки); на рис.4 и 5 графики нагрузок главных приводов стана 2500 горячей прокатки.

Кроме того, на чертеже 3I0.8М64284-ЭСI.I лист 24 приведены графики нагрузок стана горячей прокатки алюминия.

II. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Крупные масштабы промышленных предприятий, непрерывность технологического процесса, тяжелые условия работы электроустановок и электрооборудования предъявляют особые требования к надежности и бесперебойности питания.

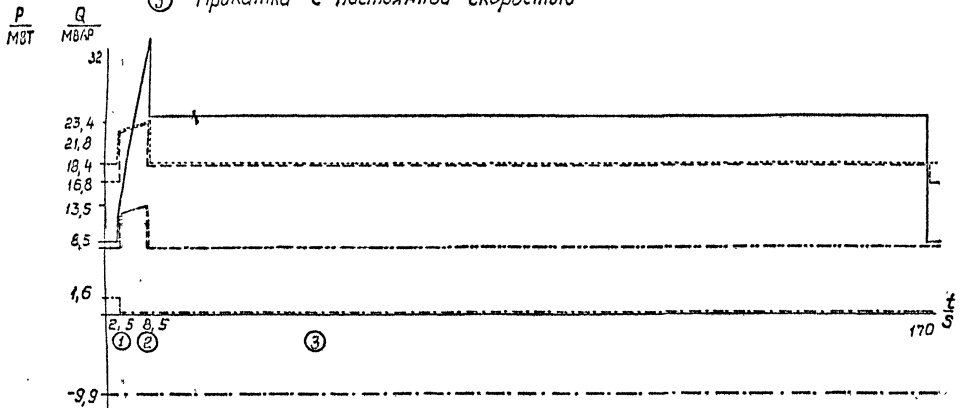
Поэтому электроснабжение крупного металлургического завода обеспечивается, как правило, от энергетической системы и заводских электростанций.

Для резервирования питания наиболее ответственных потребителей, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства, предусматривается третий независимый источник питания.

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и технологии для основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма Ф09-82 лит 2 | Взамен Ф09-79 | Нач. ОТП

Диаграмма мощности стана. тандем секция I (режим бесконечной прокатки)
Упрощенный график - по данным фирмы Сименс.

1. Резка со скоростью 300 м/мин
2. Ускорение
3. Прокатка с постоянной скоростью



1) ——— Активная мощность P
2) - - - - Реактивная мощность Q (все приводы этой шины)
3) -·-·-·- Дополнительная мощность компенсатора
4) ····· Сложение обеих реактивн. мощностей
5) -·-·- Емкостная реактив. мощность цепей фильтров
6) -··-··- Результирующая потребность реактивной мощности

Рис. 1.

Изм.	Лист	Кол-изм	Подпись	Дата

М4157-3

Лист 5

Диаграмма мощности стана тандем секция II (режим бесконечной прокатки)

Упрощенный график – по данным фирмы Сименс

① Резка со скоростью 300 м/мин
② Ускорение
③ – Прокатка с постоянной скоростью

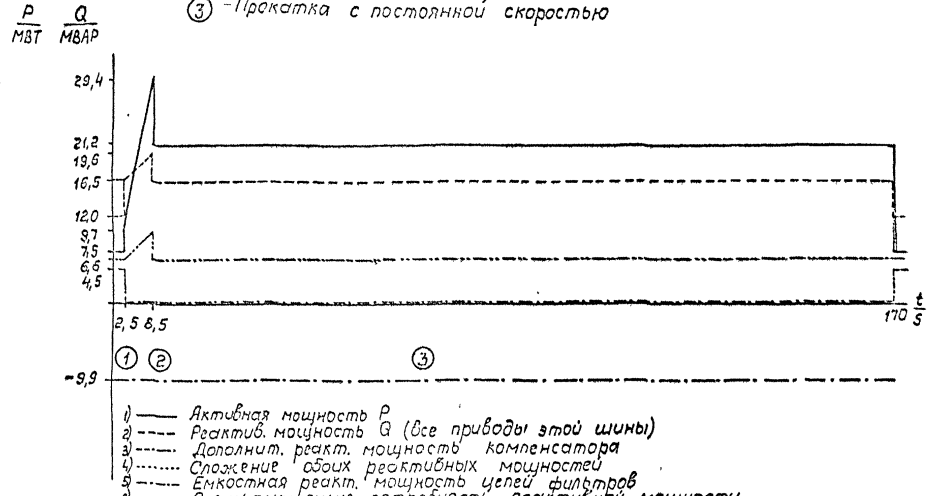


Рис. 2.

Диаграмма мощности стана тандем (режим бесконечной прокатки)

Сложение обеих секций по данным фирмы Сименс

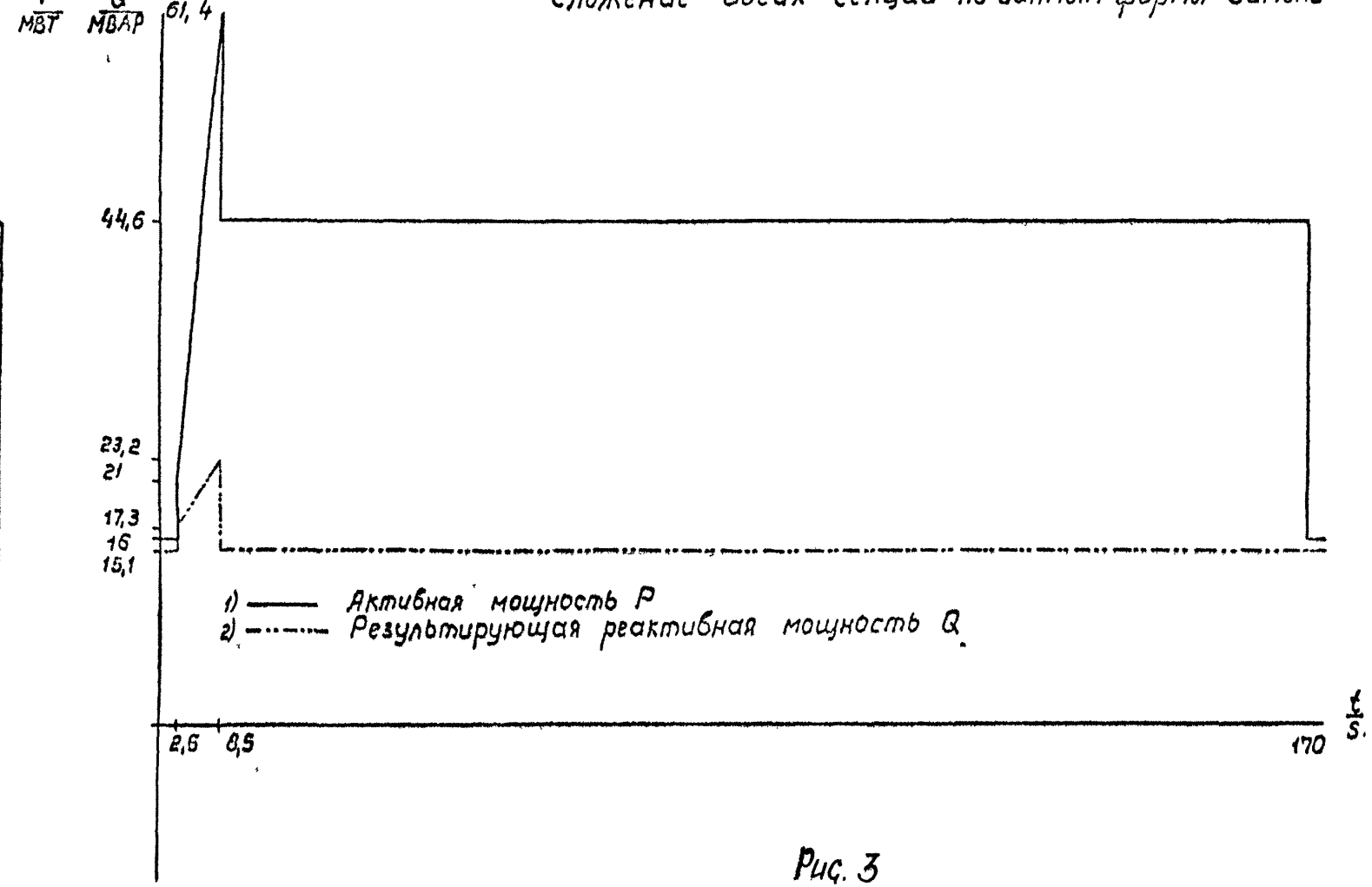


Рис. 3

Индивидуальные графики нагрузок

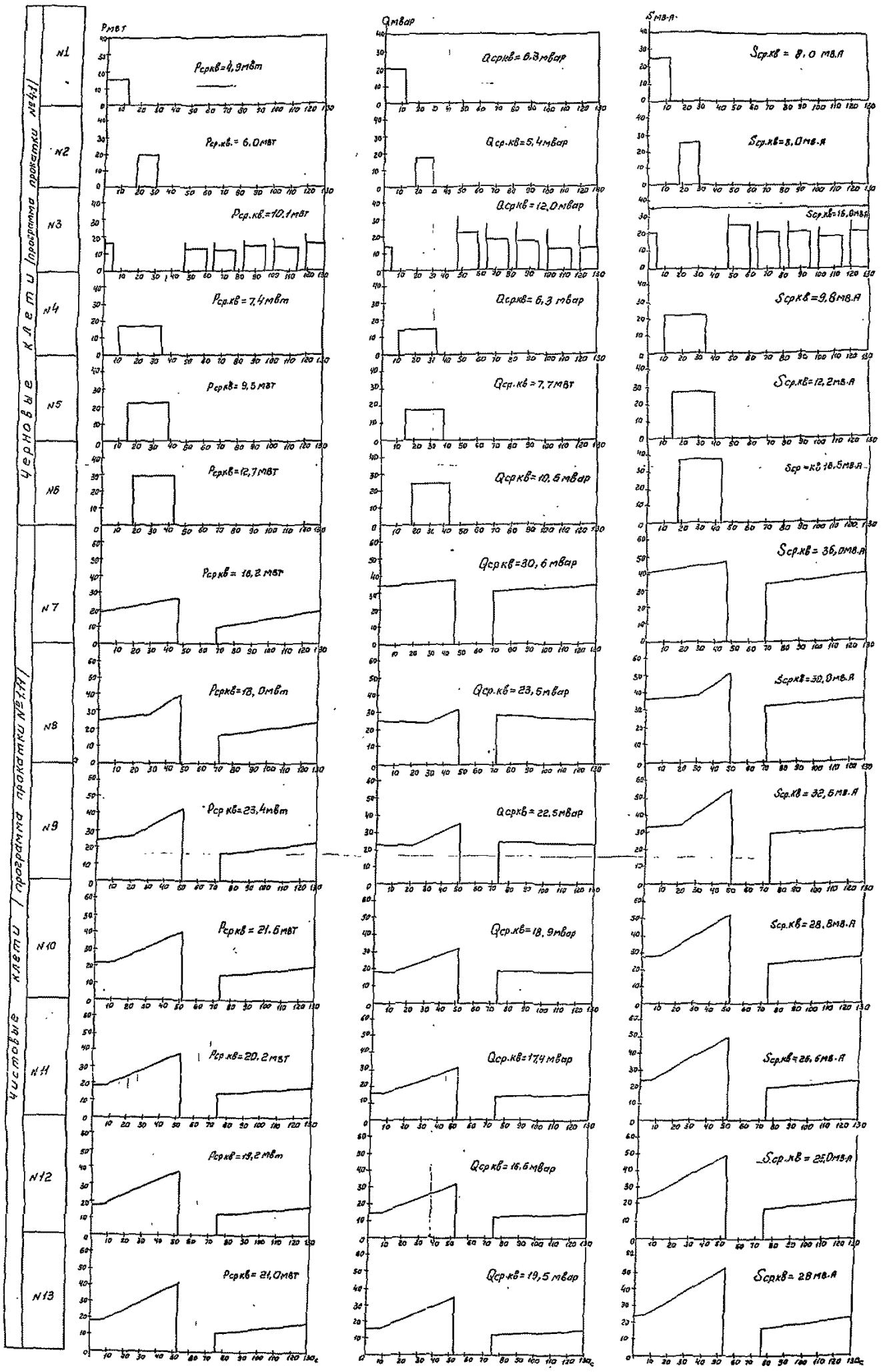
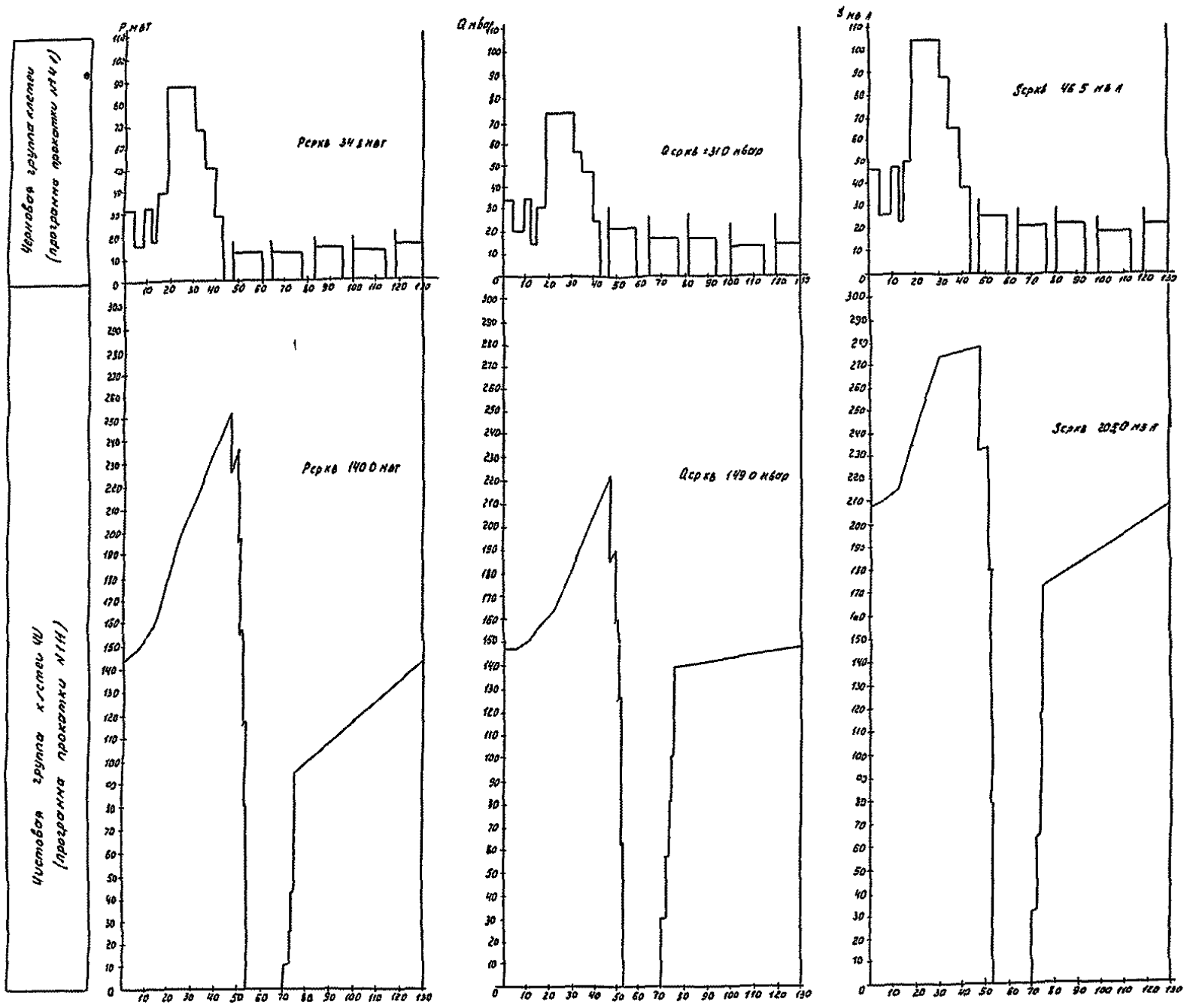


Рис. 4

Групповые графики нагрузок



Суммарные графики нагрузок

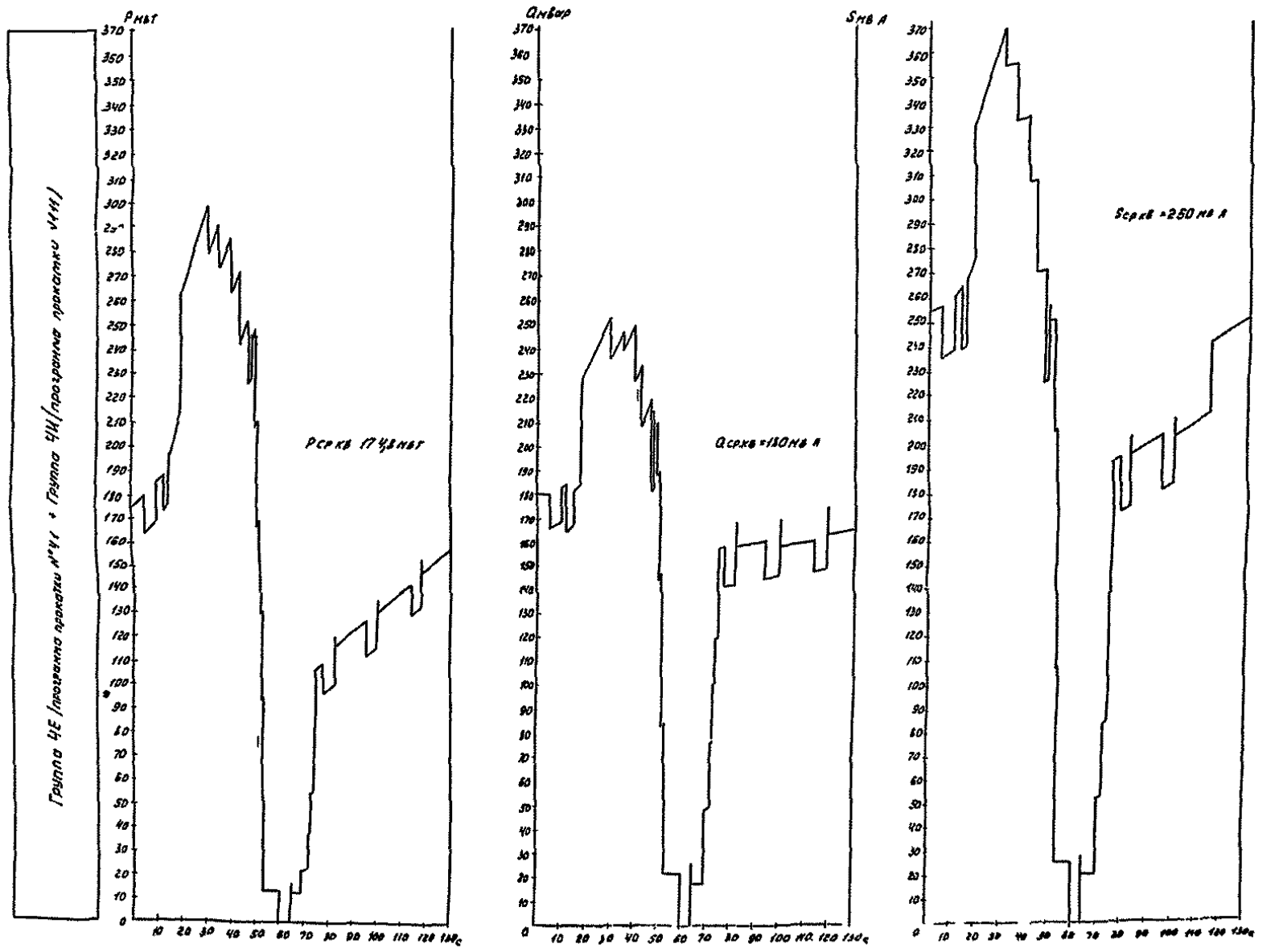


Рис 5

Система электроснабжения современного крупного металлургического предприятия по своей сложности, масштабам и режимам работы конкурирует с энергосистемами. Напряжение 110 кВ, считавшееся ранее системным, превратились в распределительное напряжение по заводу; распределительным становится напряжение 110-220 кВ. На чертеже М64827-В приведена в качестве иллюстрации к сказанному структурная схема электроснабжения 110-220 кВ современного крупного металлургического производства.

В целях сокращения потерь электроэнергии и повышения надежности электроснабжения сокращается до минимума количество промежуточных трансформаций и коммутаций. Весьма эффективным средством достижения этих целей является глубокий ввод.

Система электроснабжения современного крупного предприятия строится по блочному принципу, исходя, как правило, из раздельной работы трансформаторов и линий. В большинстве случаев этого оказывается достаточно для бесперебойного питания электроприемников. Однако значительная протяженность сетей 110-220 кВ, обусловленная широким внедрением глубоких вводов, приводит, как показывает опыт эксплуатации, к частым повреждениям и отключениям линий 110-220 кВ, что расстраивает сложный технологический процесс прокатного стана.

"Развал" технологической цепи происходит из-за повышенной чувствительности тиристорных преобразователей стана к внезапным перерывам электроснабжения и из-за недостаточного быстродействия устройств АВР.

Так, минимальное напряжение надежной работы тиристорных преобразователей составляет 0,9 U ном. В то же время низковольтная аппаратура, используемая в схемах управления электродвигателей переменного тока, имеет напряжение отпадания $U_{отп}=(0,6\div0,65)\,U$ ном.

В то же время при частичной параллельной работе трансформаторов (параллельная работа - на стороне НН, раздельная на стороне ВН) симметричное повреждение одного из источников приводит в отличие от раздельной работы, к уменьшению напряжения у всех потребителей данной подстанции, величина кото-

рого зависит от удаленности повреждения и не превышает величину 0,5 U ном. При несимметричных повреждениях в питающей сети на шинах НН обеспечивается более высокий уровень остаточных фазных и линейных напряжений, однако, и он оказывается значительно ниже минимально допустимой величины 0,9 U ном.

Следовательно, повреждения в питающей сети при частичной параллельной работе трансформаторов будут приводить, как и при раздельной работе трансформаторов, к аварийным остановкам станов со всеми вытекающими отсюда последствиями. Более того, частичная параллельная работа трансформаторов повышает уязвимость прокатного стана к внезапным перерывам электроснабжения, ибо последние будут возникать при повреждениях во всей питающей сети. В то же время применение раздельной или параллельной работы трансформаторов ГПП на стороне НН при одновременном их подключении к половине питающей сети, имеющей двустороннее питание, вдвое снижает уязвимость стана к внезапным перерывам электроснабжения из-за уменьшения их количества.

Следовательно, параллельная работа трансформаторов на стороне НН в сочетании с раздельной работой на стороне ВН не является средством повышения надежности электроснабжения прокатного стана.

Кроме того, при частичной параллельной работе через трансформаторы возможно протекание уравнительного тока $I_{ур}$, обусловленного разностью потенциалов между источниками питания и определяемого по приближенной формуле

$$I_{ур(0е)} = \frac{\alpha}{2e_к}, \text{ где}$$

$$\alpha = \frac{U_\alpha - U_\beta}{U_{ном}}$$

$e_к$ – напряжение короткого замыкания трансформаторов, о.е.;

U_α, U_β – напряжения источников, кВ.

$U_{ном}$ 2,5 – номинальные напряжения источников, кВ;
$I_{ур}$ – уравнительный ток (в долях от номинального тока трансформатора).

Протекание уравнительного тока через трансформаторы связано с необходимостью завышения мощности трансформаторов, что снижает технико-экономические показатели системы электроснабжения.

Следует отметить также, что параллельная работа трансформаторов ГПП и ПГВ на стороне НН приводит к значительному увеличению токов короткого замыкания в сети НН, что усложняет схему электроснабжения и ухудшает ее технико-экономические показатели.

Ввиду сказанного параллельная работа трансформаторов ГПП и ПГВ на стороне НН в сочетании с раздельной работой на стороне ВН для электроснабжения прокатных станов не применяется.

При проектировании ГПП или ПГВ обращается особое внимание на величину системной составляющей тока короткого замыкания на шинах НН. Как известно, короткие замыкания в сети НН трансформаторов могут вызвать в сети ВН снижение напряжения, превышающее допустимую величину для потребителей (электродвигателей, тиристорных преобразователей), подключенных к другим ГПП и ПГВ. Снижение напряжения в сети ВН предприятия при К.З. в сети НН данной ГПП определяется по формуле

$$\Delta U_{о.е.} = \frac{S_{кн}}{S_{кв}} \leq \Delta U_{доп\ о.е.}$$, где

ΔU – снижение напряжения в сети ВН при К.З. в сети НН;
$S_{кн}$ – системная составляющая мощности 3-х фазного К.З. в сети НН;
$S_{кв}$ – системная составляющая мощности 3-х фазного К.З. в сети ВН.

Как указывалось ранее, допустимое снижение напряжения составляет:

– для электродвигателей – (0,35–0,4) $U_{ном}$;

– для тиристорных преобразователей – 0,I $U_{ном}$.

Таким образом максимально допустимое значение системной составляющей мощности 3-х фазного К.З. в сети НН данной ГПП составляет:

$S_{кн_{доп}}$ = (0,35-0,4) $S_{кВ}$ – при наличии на предприятии электродвигателей;

$S_{кн_{доп}}$ = 0,I $S_{КВ}$ – при наличии на предприятии тиристорных преобразователей.

Для электроснабжения главных приводов прокатных станов в стране применяется напряжение 6-I0 кВ с широким использованием понижающих трансформаторов с расщепленной на две ветви обмоткой низшего напряжения (НН). Применение для этой цели напряжения 35 кВ, используемого для мощных электросталеплавильных печей, связано с применением понижающих двухобмоточных трансформаторов без расщепления обмотки НН. Применение напряжения 35 кВ является для отечественных станов новым техническим решением, позволяющим несколько упростить схему, уменьшить потери электроэнергии и количество единиц СКУ, однако суммарная мощность СКУ при переходе от I0 кВ к 35 кВ не уменьшается.

Кроме того, переход на более высокий класс напряжения связан с применением значительно более дорогостоящего электрооборудования. Широко применяемые в стране глубокие вводы II0-220 кВ сокращают до минимума протяженность сетей НН, поэтому экономия потерь электроэнергии за счет повышения напряжения электроснабжения незначительна.

Более подробно этот вопрос изложен в приложении I.

Подключение трансформаторов II0-220 кВ к сети выполняется, как правило, с помощью кабелей II0-220 кВ (с пластмассовой изоляцией или маслонаполненных) по схеме "блок-линия-трансформатор".

Предусматривается передача отключающих сигналов (ПОС) от защит трансформаторов II0-220 кВ на головные выключатели по кабелям связи.

Питающая сеть 6÷10 кВ от трансформаторов ГПП выполняется 3-х фазным симметричным токопроводом, от заводских источников - кабелями. Распределительная сеть 6-10 кВ выполняется кабелями. С целью повышения удобства эксплуатации и сокращения протяженности кабельных сетей 6-10 кВ в прокатных цехах и комплексах предусматривается необходимое количество распределительных подстанций (РП), в первую очередь - в местах сосредоточения двигателей. Питание РП осуществляется по радиальным схемам.

Питание цеховых подстанций осуществляется, как правило, по магистральной схеме, при этом под одну магистраль подключаются трансформаторы только одного электропомещения в количестве на более двух-трех.

При магистральном питании трансформаторов технологических агрегатов количество трансформаторов, подключаемых к одной магистрали, определяется требованиями технологии.

В качестве примеров на следующих чертежах приведены схемы электроснабжения ряда прокатных станов:

на чертежах М64827-9, ~~10~~, 11 и 12 - комплекс стана 2500 НЛМК;

на чертежах М37640-30, 31 - комплекс стана 2000 холодной прокатки; НЛМК;

на чертеже М310.8М64277-ЭП2.-2 комплекс стана 2000 горячей прокатки алюминия.

Ш. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Одной из наиболее сложных проблем, с которой приходится сталкиваться при проектировании систем электроснабжения различных электроустановок является проблема качества электрической энергии. Внедрение электротехнологии вызывает широкое применение тиристорных преобразователей. Этот процесс при всей его технологической эффективности сопровождается ухуд-

шением качества электроэнергии, что отрицательно сказывается на надежности электроснабжения: значительно повышаются активные потери в электрических машинах, трансформаторах, проводниках, происходит ускоренное старение изоляции кабелей и электрооборудования, снижается качество и надежность работы систем автоматики, телемеханики и связи, увеличиваются погрешности счетчиков, снижается эффективность устройств компенсации емкостных токов однофазного замыкания на землю в сетях 6-10 кВ, так как большие остаточные токи высших гармоник создают повышенную опасность перехода однофазного в двухфазное повреждение кабеля, ухудшается работа источников света.

В большинстве случаев оказывается невозможным использование батарей конденсаторов для компенсации реактивной мощности. В приложении 2 приведен пример расчета качества электрической энергии в сети 10 кВ с тиристорными преобразователями и конденсаторными батареями, на чертеже М64528-9 - без конденсаторных батарей.

Для уменьшения влияния нагрузок этих специфических электроприемников на качество электрической энергии применяется:

- создание локальных сетей для специфических нагрузок;

- подключение специфических нагрузок к точкам электрической сети с минимально возможной индуктивностью (максимально возможным уровнем токов короткого замыкания);

применение специальных компенсирующих устройств (СКУ).

Как известно, работа прокатных станов сопровождается значительными изменениями активной и реактивной мощности, что вызывает изменения напряжения в электрических сетях, превышающие нормативные значения. Для снижения изменений напряжения до нормативных величин применяются освоенные отечественной электротехнической промышленностью специальные тиристорные компенсаторы реактивной мощности ТКРМ (см. приложение 3), подключаемые к шинам 6-10 кВ ударных нагрузок.

На чертеже М64528-18 приведен пример расчета тиристорных компенсаторов реактивной мощности.

Насыщенность современного прокатного стана тиристорными преобразователями является причиной значительных искажений формы кривой напряжения сетей, превышающими нормативные значения.

Одной из основных и наиболее перспективных мер по уменьшению искажений формы кривой напряжения и улучшению тем самым качества электроэнергии является применение в сетях 6-10 кВ силовых резонансных фильтров, настроенных на частоты, преобладающие в амплитудных спектрах токов преобразователей и подключаемых параллельно нагрузке.

В условиях электросетей 6-10 кВ с вентильными преобразователями эффективно применение фильтров с ограниченным диапазоном регулирования индуктивности реакторов, настраиваемых перед включением и периодически подстраиваемых в процессе эксплуатации (в отключенном состоянии). Фильтры являются многофункциональными устройствами, снижающие искажения кривой тока и напряжения и одновременно повышающие коэффициент мощности. При выборе параметров фильтров учитывается требование о снижении действующего значения высших гармоник напряжения до величин, регламентируемых ГОСТ 13109-87 на качество электрической энергии.

В сетях с вентильными нагрузками может возникать необходимость в параллельной работе фильтров одной гармоники. Параллельная работа фильтров также обуславливается схемами электроснабжения и режимами работы сетей. Рассогласование параллельно работающих фильтров приводит к увеличению тока в цепях таких фильтров - так называемому перекосу. Этот перекос учитывается соответствующим увеличением мощности фильтров по сравнению с точно настроенными фильтрами.

На чертеже М64686-7 приведен расчет токов высших гармоник, а на чертеже М64686-9 - расчет фильтров высших гармоник.

Во избежание резонансных явлений в сети рекомендуется следующий порядок включения фильтров: Ф5-Ф7-Ф11-Ф13. Отключение должно производиться в обратном порядке.

Фазы фильтра соединяются в звезду с изолированной нулевой точкой. На чертеже М64538-10 приведена схема главных электрических соединений фильтра.

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и технические расчеты основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма Ф09-82 лит 2 | Взамен Ф09-79 | Нач. ОТП

Как показывает практика, естественное потребление реактивной мощности современным мощным прокатным станом ($Q_{ест}$) превышает допустимую величину, оговариваемую в технических условиях энергосистемы ($Q_{I доп.}$).

В этой связи номинальная мощность СКУ выбирается таким образом, чтобы генерируемая реактивная мощность СКУ (Q_{cI}) при прокатке составляла величину, определяемую по формуле:

$$Q_{ест} - Q_{1доп} \leq Q_{cI} \leq Q_{ест}$$

С другой стороны, генерируемая реактивная мощность СКУ в паузах цикла прокатки не должна превышать допустимой величины $Q_{2доп}$, также оговариваемую в технических условиях энергосистемы. В этой связи мощности регулируемой (Q_L) и нерегулируемой (Q_{cI}) частей СКУ должны находиться между собой в следующем соотношении:

$$Q_{cI} - Q_L \leq Q_{2доп}$$

В качестве дополнительных компенсирующих устройств могут применяться конденсаторные установки напряжением до 1000 В с автоматическим регулированием мощности, однако их применение может быть рекомендовано, как правило, при отсутствии источников гармоник на этом напряжении.

IУ. ПОДСТАНЦИИ

На современных крупных заводах все более широкое применение находят подстанции 110-220 кВ глубокого ввода ШГВ и ГПП. В условиях стесненности генерального плана современного завода и загрязненности атмосферы промышленными отходами реализация глубокого ввода, как правило, невозможна без применения кабельных линий КЛ 110-220 кВ и трансформаторов со специальными кабельными вводами 110-220 кВ. Поскольку на таких подстанциях никакой коммутационной аппаратуры на стороне 110-220 кВ обычно не устанавливается, сокращается до минимума площадь, занимаемая линиями и подстанциями. Трансформаторы таких подстанций

размещаются, как правило, рядом с обслуживаемыми ими цехами, а РУ 6-10 кВ встраиваются в эти цеха. Питание таких подстанций предусматривается, как правило, по радиальным схемам.

Схемы на стороне низшего напряжения ГПП и ПГВ, в особенности мощных, весьма разнообразны и определяются, в основном, мощностью силовых трансформаторов и способами ограничения токов короткого замыкания. Для ограничения токов короткого замыкания применяются силовые трансформаторы с расщепленной на две ветви обмоткой НН или реакторы на вводах низшего напряжения трансформаторов.

В соответствии с действующими нормами ГПП и ПГВ должны выполняться в подавляющем большинстве двухтрансформаторными. Считается, что это значительно упрощает схему и конструкцию подстанций и, как правило, обеспечивает надежное питание потребителей всех категорий.

Подстанции 110-220 кВ с числом трансформаторов более двух разрешаются нормами, когда с помощью 2-х трансформаторных подстанций нельзя обеспечить надежное питание всех разнородных потребителей данного предприятия с учетом особенностей режима их работы, а именно:

а) при необходимости выделения питания мощных циклических ударных нагрузок (крупные электродвигатели с вентильным приводом, крупные электропечи и т.п.);

б) при очень сосредоточенных нагрузках, когда двухтрансформаторные ГПП и ПГВ невозможно применить по схемным или конструктивным соображениям;

в) на транзитных ГПП, имеющих несколько питающих и отходящих линий и сборные шины, когда двухтрансформаторные подстанции не имеют преимуществ в отношении конструктивного выполнения;

г) по условиям дальнейшего роста нагрузок предприятия, когда технически и экономически целесообразной является установка третьего трансформатора вместо замены работающих трансформаторов на трансформаторы большей мощности.

Практика проектирования электроснабжения прокатных станов, характеризующихся наличием мощных сосредоточенных ударных нагрузок, показывает, что количество трансформаторов на подстанциях 110-220 кВ доходит до шести.

Особое место среди ГПП и ПГВ с количеством трансформаторов более двух занимают трехтрансформаторные подстанции со специальной схемой коммутации на стороне 6-10 кВ, обеспечивающей симметричное распределение нагрузки в послеаварийном режиме между двумя оставшимися в работе трансформаторами. Такая схема позволяет увеличить загрузку каждого из 3-х трансформаторов в нормальном режиме с 0,7 до 0,93, при этом перегрузка трансформаторов в послеаварийном режиме идентична перегрузке трансформаторов для двухтрансформаторной подстанции. Другими словами, применение 3-х трансформаторных подстанций обеспечивает 25% экономию трансформаторной мощности по сравнению с 2-х трансформаторными подстанциями и способствует сокращению сложных и дорогих сетей 110-220 кВ.

На чертеже М310.8М64277-ЭП2-2 лист 51 приведена схема такой ГПП с использованием расщепления трансформаторов 220 кВ. Кроме того, на черт. М37640-30, 31 приведена схема 4-х трансформаторной ГПП 110 кВ, а на чертежах М64827-9, 10, 11 приведена схема 6-ти трансформаторной ГПП 220 кВ.

Кроме того, на чертежах М64195, М37492-15, М64676-3 приведены примеры компоновок в/у подстанций.

В настоящее время для узловых распределительных подстанций РП 110-220 кВ с развитой схемой коммутации наметилась тенденция к применению аппаратуры с элегазовой изоляцией в закрытом исполнении. Предельная компактность РП, достигаемая при этом, дает возможность приблизить ее к центру электрических нагрузок и повысить надежность и экономичность системы электроснабжения.

На чертеже М64679-3 приведен пример выполнения распределительной подстанции РП-220 кВ с применением ячеек с элегазовой изоляцией.

На подстанциях 110-220 кВ, предназначенных для электро-

установок со специфическими нагрузками в качестве оперативного тока применяется постоянный ток напряжением 220 В от аккумуляторных батарей.

До настоящего времени из-за отсутствия специальных (неметаллургических) трансформаторов 110-220 кВ, для электроустановок с резкопеременной ударной нагрузкой (прокатные станы, дуговые электросталеплавильные печи) с частотой повторяемости изменений мощности до 1600 раз в час вынужденно применялись силовые трансформаторы общего назначения. Стандартами и техническими условиями на силовые трансформаторы общего назначения не предусматривается работа трансформаторов в режиме резкопеременных ударных нагрузок, а заводы-изготовители не сообщали данных по нагрузочной способности трансформаторов в указанных режимах. Поэтому в проектной практике при выборе мощностей силовых трансформаторов общего назначения, применяемых для питания резкопеременных ударных нагрузок циклического характера, приходилось учитывать пиковые нагрузки. Учет пиковых нагрузок приводил, естественно, к увеличению установленной мощности трансформаторов за счет увеличения единичной мощности или за счет увеличения количества трансформаторов, и, как следствие, к их низкому использованию по тепловым режимам. Кроме того, при учете пиковых нагрузок было крайне затруднительно использовать расщепление обмотки 6-10 кВ трансформаторов общего назначения из-за большой неравномерности распределения пиковых нагрузок по ветвям обмотки. Отказ от расщепления либо вынуждало применять очень дорогое, сложное и дефицитное оборудование и усиливать сети из-за больших токов короткого замыкания, либо принимать дополнительные меры по их ограничению. Более того, отказ от расщепления обмотки трансформаторов в ряде случаев ухудшал условия компенсации изменений реактивной мощности, сопровождающих работу главных приводов прокатных станов, что приводило к увеличению мощности дорогостоящих специальных компенсирующих устройств реактивной мощности. Тем не менее практика показала, что силовые трансформаторы общего назначения, выбранные с учетом пиковых нагрузок и работающие в таких режимах, имели повышенную повреждаемость, что сокращало срок службы трансформаторов и снижало надеж-

ность систем электроснабжения прокатных станов и дуговых электросталеплавильных печей. Указанные обстоятельства приводили к значительному ухудшению технико-экономических показателей систем электроснабжения, что наносило и наносит прямой ущерб народному хозяйству. Поэтому по заданиям института для электроустановок с резкопеременной ударной нагрузкой отечественной электротехнической промышленностью создается и внедряется серия специальных металлургических трансформаторов 110-220 кВ, обладающих повышенной динамической стойкостью к циклическим пиковым нагрузкам (500 пиков в час или 1000 изменений нагрузки в час).

Мощность металлургических трансформаторов выбирается следующим образом:

- среднеквадратичная нагрузка, определенная по графику нагрузки, не должна превышать номинальную мощность трансформатора в течение любого промежутка времени длительностью не менее 30 минут;
- отношение действующего значения пикового тока нагрузки к номинальному току металлургического трансформатора (кратность) не должна превышать:

  для трансформаторов 110 кВ - 1,6;
  для трансформаторов 220 кВ - 2,0.

Применение металлургических трансформаторов в этих случаях позволяет повысить надежность системы электроснабжения и существенно улучшить ее технико-экономические показатели.

Степень загрузки цеховых трансформаторов в нормальном режиме принимается не более 0,9 - для однотрансформаторных подстанций и не более 0,7 - для двухтрансформаторных подстанций. В послеаварийных режимах их перегрузочная способность используется с учетом предшествующей нагрузки по действующим нормативам.

Выбор мощностей всех трансформаторов и сечений проводников выбирается с учетом компенсации реактивной мощности.

Приложение 1

Применение напряжения 35 кВ для прокатных станов.

В настоящее время на крупных промышленных предприятиях нашей страны напряжение 35 кВ применяется, в основном, как локальное, для электроснабжения мощных электросталеплавильных печей, так как печные трансформаторы для таких печей изготавливаются отечественной электротехнической промышленностью с сетевой обмоткой на напряжение 35 кВ. Для электроснабжения главных приводов прокатных станов в стране применяется напряжение 10 кВ, реже - 6 кВ. В то же самое время за рубежом для электроснабжения как мощных электросталеплавильных печей, так и мощных прокатных станов широко применяется напряжение 30 (35) кВ.

В этой связи в данной работе рассмотрен вопрос о применении напряжения 35 кВ для электроснабжения главных приводов современного многоклетевого прокатного стана.

Как известно, электроснабжение современного мощного прокатного стана, насыщенного тиристорными преобразователями, связано с большими затратами, в первую очередь из-за дорогостоящих специальных компенсирующих устройств, обеспечивающих необходимое качество электрической энергии.

С другой стороны, рост мощностей прокатных станов неизбежно приводит к увеличению единичной мощности трансформаторов ГПП и ПГВ, что, в свою очередь, может приводить к недопустимым для оборудования величинам рабочих токов и токов короткого замыкания. Для ограничения токов короткого замыкания до необходимой величины могут применяться различные способы:

- повышение напряжения электроснабжения, например, с 10 кВ до 35 кВ;
- применение трансформаторов с расщепленной на две ветви обмоткой 10 кВ;

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и текстовые документы основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма Ф09-82 л-т2 | Взамен Ф09-79 | Нач. ОТП

- применение токоограничивающих реакторов 6-10 кВ (способ нежелательный и потому не рассматривается).

Следует отметить, что на отечественных промышленных предприятиях нашли широкое применение трансформаторы с расщепленной на две ветви обмоткой 10 кВ. При напряжении обмотки НН 35 кВ расщепление этой обмотки отсутствует.

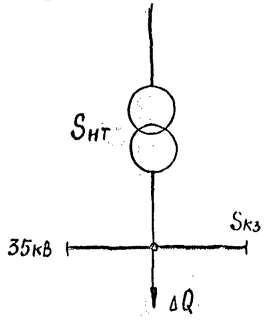
За рубежом, в отличие от нашей страны, широко применяются двухобмоточные (без расщепления) трансформаторы с обмоткой НН 30 (35) кВ, при этом трансформаторы с расщепленной обмоткой применяются очень редко.

В этой связи на рис. 1 представлена сравнительная оценка мощностей специальных компенсирующих устройств при переходе от напряжения 10 кВ к напряжению 35 кВ для многоклетевых прокатных станов. Как следует из рисунка, мощности специальных компенсирующих устройств в обеих вариантах совершенно одинаковые и не зависят от напряжения. Таким образом напряжение 10 кВ с применением трансформаторов с расщепленной обмоткой являет собой в этом вопросе техническую альтернативу переходу на напряжение 35 кВ и связанному с этим отказу от расщепления.

Разумеется, применение напряжения 35 кВ для электроснабжения главных приводов отечественных станов является новым техническим решением, позволяющим несколько упростить схему, уменьшить количество единиц специальных компенсаторов и потери электроэнергии.

Однако переход на более высокий класс напряжения (с 10 кВ на 35 кВ) связан с применением более дорогостоящего электрооборудования; кроме того широко применяемые в стране глубокие вводы 110-220 кВ сокращают до минимума протяженность сети НН (10-35 кВ), поэтому экономия потерь электроэнергии за счет повышения напряжения электроснабжения незначительна. Проведенные технико-экономические расчеты для различных вариантов схем электроснабжения современного мощного стана 2500 горячей прокатки, представленных на рис. 2, 3, 4, 5, показали явную нерентабельность напряжения 35 кВ, что видно из таблицы 1. При этих соотношениях стоимости электрооборудования 35 кВ для отечественных прокатных станов, по всей видимости, следует признать нецелесообразным.

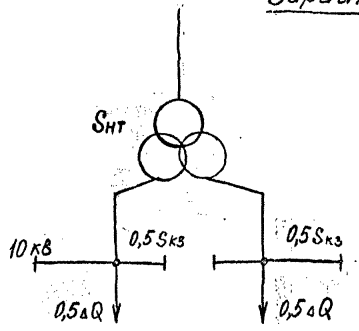
Вариант I



$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{S_{кз}} > \Delta U_{доп}$$

$$Q_{куI} = \Delta Q - \Delta U_{доп} \cdot S_{кз}$$

Вариант II



$$\Delta U = \frac{0{,}5\Delta Q}{0{,}5 S_{кз}} = \frac{\Delta Q}{S_{кз}} > \Delta U_{доп}$$

$$Q_{куII} = 2(0{,}5\Delta Q - \Delta U_{доп} \cdot 0{,}5 S_{кз}) = \Delta Q - \Delta U_{доп} \cdot S_{кз}$$

$$Q_{куI} = Q_{куII}$$

Рис. 1 Сравнительная оценка мощностей специальных компенсирующих устройств при переходе от напряжения 10 кВ к напряжению 35 кВ для многоклетевых прокатных станов.

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам.инв.№ | Чертежи и текстовые документы типовых проектов (альбомы) и нормативной документации | Форма ФТ4-82АТ2 | Взамен ФТ4-79 | Нач.ОТП

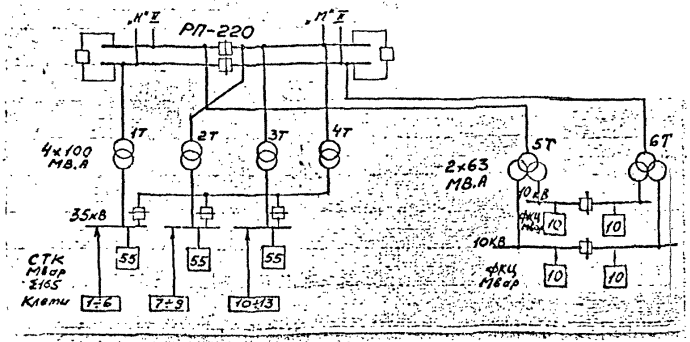


Рис. 2 Вариант I А

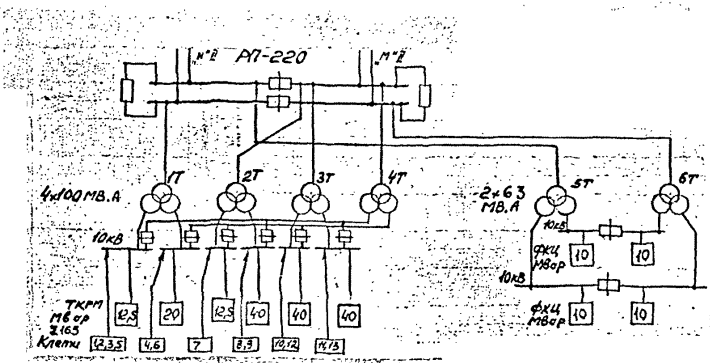


Рис. 4 Вариант II А

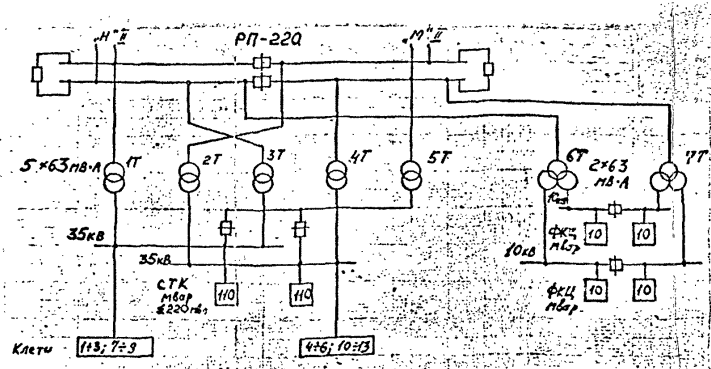


Рис. 3 Вариант I Б

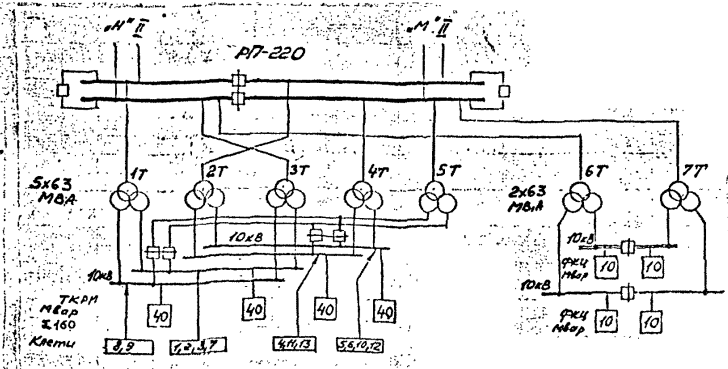


Рис. 6 Вариант II Б

Варианты схем электроснабжения главных приводов стана

Таблица 1

Технико-экономические показатели

вариантов схем электроснабжения главных приводов при напряжениях 35 кВ и 10 кВ

Наименование	Вариант $I^{А}$ (35 кВ, 4х100 мва)		Вариант $I^{Б}$ (35 кВ, 5х63 мВ.А)		Вариант $II^{А}$ (10 кВ, 4х100 мВ.А)		Вариант $II^{Б}$ (10 кВ, 5х63 мВА)	
	К (т.руб)	И(т.руб)	К(т.руб)	И(т.руб)	К(т.руб)	И(т.руб)	К(т.руб)	И(т.руб)
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячейки 220 кВ	-	-	600	56	-	-	600	56
Кабели 220 кВ	-	-	350	18,9	-	-	350	18,9
Тр-ры 220 кВ	824	76,5	860	80	824	75,6	860	80
Кабели 35 кВ	366	19,8	366	19,8	-	-	-	-
Кабели 10 кВ	-	-	-	-	410	17,6	410	17,6
КРУ-35 кВ	1416	131,5	1308	121,5	-	-	-	-
КРУ-10 кВ	-	-	-	-	278	26,0	674	62,5
СТК-35 кВ	3100* (7000)	288* (651)	3920* (5500)	264* (511)	-	-	-	-
ТКРМ-10 кВ	-	-	-	-	2300	214	2050	190

Продолжение табл. 1

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Стоимость потерь эл. энергии	-	82,2	-	88,I	-	I4I	-	I46,9
Всего с компенсацией	5706* (9606)	598,2* (962,2)	7404* (8984)	747,I* (897,I)	38I2	474,2	4944	57I,9
Приведенные затраты	I283* (2II2)	I38% (226%)	I634* (I977)	I76% (2I2%)	930	I00%	II66	I26%

---

* цифры без скобок получены без учета зависимости уд.стоимости СТК от единичной мощности, цифры в скобках - с ориентировочным учетом этой зависимости.

Расчет качества электрической энергии в сети 10 кВ с конденсаторными батареями.

I. Введение.

Целью настоящей работы является определение искажений формы кривой напряжения, вносимых тиристорными преобразователями корпуса 41 предприятия в городские питающие сети 10 кВ, а также выдача рекомендаций по ограничению их отрицательного влияния на сети и по компенсации реактивной мощности. В объем работ также входит расчет гармоник тока, расчет гармоник напряжения и коэффициента искажений.

II. Характеристика электроприемников, электрические нагрузки

Потребители электроэнергии корпуса 41 делятся на две основные группы:

1. Потребители с нелинейной вольтамперной характеристикой (тиристорные преобразователи) — нелинейные нагрузки, являющиеся источниками внешних гармонических тока и напряжения и основными потребителями реактивной мощности.

Тиристорные преобразователи корпуса, по данным предприятия п/я Г-4617, имеют 6-ти пульсные схемы выпрямления.

2. Потребители с линейной волт-амперной характеристикой (двигатели, трансформаторы) - линейные нагрузки, являющиеся потребителями внешних гармонических.

По данным п/я Г-4617 расчетная мощность корпуса составляет 3123 кВт при естественном (без компенсации) $tg\varphi_1=0,755$, в том числе расчетная мощность тиристорных преобразователей составляет P=2000 кВт, Q = 1760 квар, S = 2760 кВА.

Инв.№ подл. | Подп. и дата | Взам.инв.№ | Чертежи и текстовые документы типового комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма ф09-82 л-т 2 | Взамен ф09-79 | Нач. ОТП

III. Схема электроснабжения

Электроснабжение корпуса осуществляется от 2-х секционной распределительной подстанции 10 кВ № 9 (ПС № 9). Основное питание ПС № 9 осуществляется по двум параллельным кабельным линиям от городской подстанции № 793. Резервное питание ПС № 9 осуществляется по одной кабельной линии 10 кВ от существующей подстанции № 1 (ПС № 1).

По данным п/я Г-4617 мощность 3-х фазного короткого замыкания на шинах 10 кВ ПС № 9 составляет:

- при питании от ПС № 793 - 188 мВ.А;
- при питании от ПС № 1 - 152 мВ.А

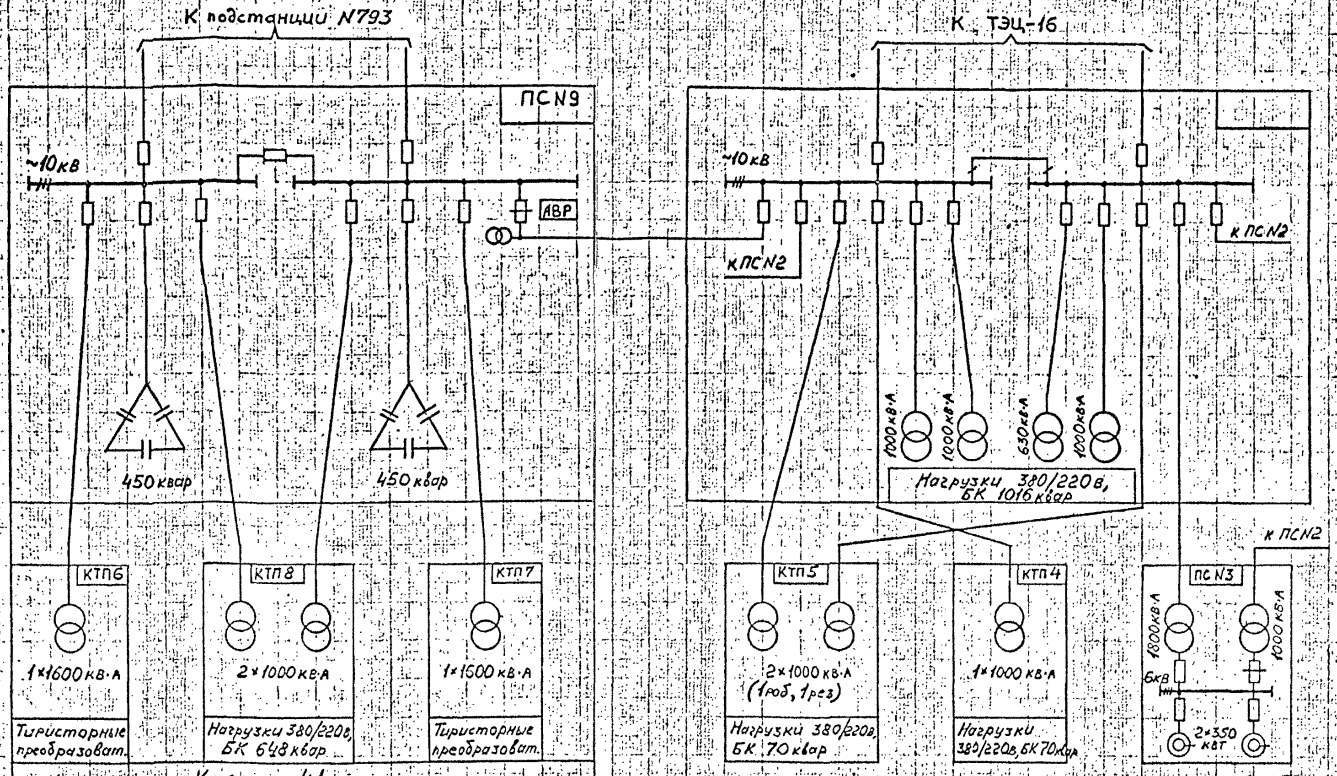
В целях обеспечения требуемых Мосэнерго для компенсации реактивной параметров нагрузки мощности предприятием п/я Г-4617 предусмотрены нерегулируемые конденсаторные батареи 10 кВ и 380 В.

Структурная схема электроснабжения корпуса 41 приведена на листе 4.

IV. Основные допущения при расчетах гармоник

При расчете высших гармоник принимаются следующие допущения, позволяющие существенно упростить расчеты:

- учитываются только гармоники канонических порядков, генерируемые вентильными преобразователями (5,7,11,13 порядков); гармоники тока выше 13-го порядка, ввиду их малости, не учитываются;
- частотная характеристика сопротивления сети в диапазоне до 13-й гармоники принимается линейной;
- кривые линейных преобразователей считаются прямоугольно-ступенчатыми.



Структурная схема электроснабжения корпуса 41.

Максимальная погрешность определения коэффициента несинусоидальности с учетом указанных допущений составляет около 30 %.

У. Основные положения методики расчета гармоник

Расчет высших гармонических тока и напряжения в различных точках схемы электроснабжения выполняется на основе схем замещения для каждой гармоники.

Источники гармоник представляются в этих схемах в виде источников гармоник тока, элементы сети учитываются соответствующими сопротивлениями. Эти сопротивления при напряжении сети 10 кВ определяются по приближенным формулам таблицы I.

Таблица I

Электроприемники	Расчетная формула
Синхронный (асинхронный) двигатель номинальной мощностью S дв., мВ.А (МВт)	$\frac{17 \cdot \nu}{S \text{ дв.}}$
Нагруженный трансформатор подстанции номинальной мощностью Sт, мВ.А	$\frac{34 \cdot \nu}{S \text{т}}$
Батарея конденсаторов номинальной мощностью Q нбк, Мвар, и номинальным напряжением U нбк, кВ (с приведением к схеме звезды)	$\frac{U^2 \text{нбк}}{Q \text{нбк} \cdot \nu}$
Питающая энергосистема с мощностью трехфазного короткого замыкания $S_к$, мВА	$\frac{100 \cdot \nu}{S_к}$

Ненагруженные трансформаторы, силовые кабели в схеме замещения не учитываются.

При расчетах не учитываются активные сопротивления; влияние этого сопротивления на величину гармоник тока и напряжения проявляется только при резонансных (или очень близких к ним) частотах.

Величина активного сопротивления в этих случаях принята равной 10 % от реактивного сопротивления сети без батарей конденсаторов.

Ввиду отсутствия данных о параметрах нагрузки каждого преобразователя, для определения величин гармоник тока от преобразователей применена упрощенная формула

$$I_{\nu\Sigma} = \frac{S_\Sigma}{\sqrt{3}\cdot U_н \cdot \nu} \qquad (1),$$ где

S_Σ - расчетное значение полной мощности всех работающих преобразователей корпуса, кВ·А.

Для определения гармоник тока во всех ветвях схемы определяются коэффициенты токораспределения для всех ветвей.

Расчет грамоник напряжения U_ν %, производится по формуле:

$$U_\nu = \frac{\sqrt{3}\cdot I_\nu \cdot X_\nu}{10\, U_н} \qquad (2),$$

где: I_ν - ток ν-ой гармоники в данной ветви, А;

X_ν - сопротивление току ν-ой гармоники данной ветви, Ом;

$U_н$ - номинальное напряжение сети, кВ

Расчет коэффициента искажений Кнс, % производится по формуле:

$$K_{нс} = \sqrt{\sum_{5}^{13} U_\nu^2} \qquad (3)$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и текстовые документы основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма ф09-82 лт2 | Взамен ф09-79 | Нач. ОТП

УI. Расчетные режимы

При выполнении расчетов гармоник тока, напряжения и коэффициента несинусоидальности (искажений) были рассмотрены следующие режимы работы схемы электроснабжения:

а) питание корпуса от ПС 793 Мосэнерго

Режим I – обе питающие линии и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи ВН включены, на КТП8 включены два трансформатора и конденсаторные батареи НН.

Режим II – обе питающие линии и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи ВН включены, на КТП 8 включен один трансформатор и конденсаторные батареи НН.

Режим III – обе питающие линии и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи ВН отключены, конденсаторные батареи НН включены, на КТП8 включены два трансформатора.

Режим IУ – обе питающие линии и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи НН включены, конденсаторные батареи НН отключены, на КТП8 включены два трансформатора.

Режим У – обе питающие линии и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи ВН и НН отключены, на КТП8 включены два трансформатора.

б) питание корпуса от ПС № I

Режим УI – нагрузка и БК на ПС № I и КТП 4,5 включены, на ПС № 9 резервный ввод, секционный выключатель и конденсаторные батареи ВН включены, на КТП8 включены два трансформатора и конденсаторные батареи НН.

Режим УII – нагрузка и БК на ПС № I и КТП4,5 отключены, в остальном режим аналогичен режиму У.

Режим УШ – нагрузка и БК на ПС № I и КТП4,5 отключены; на ПС № 9 резервный ввод и секционный выключатель включены, конденсаторные батареи ВН отключены, на КТП8 включены два трансформатора, конденсаторные батареи НН отключены.

Схемы замещения для рассмотренных режимов приведены на рис. I-8. /листы 9-16/.

УП. Определение гармоник тока, напряжения и коэффициента искажений

Расчет гармоник тока, напряжения и коэффициента искажений по указанной методике подробно рассматривается на примере режима IУ работы схемы электроснабжения.

Пример расчета:

Исходные данные:

$U_ш$ = I0 кВ

S_Σ = 2760 кв.А

$S_к$ = I88 Мв.А

I. Определение токов гармоник, генерируемых преобразователями.

Токи гармоник от тиристорных преобразователей корпуса определяются по формуле (I)

$$I_\nu = \frac{2760}{\sqrt{3}\cdot 10\cdot \nu}$$

и для каждой из генерируемых гармоник имеют следующие значения:

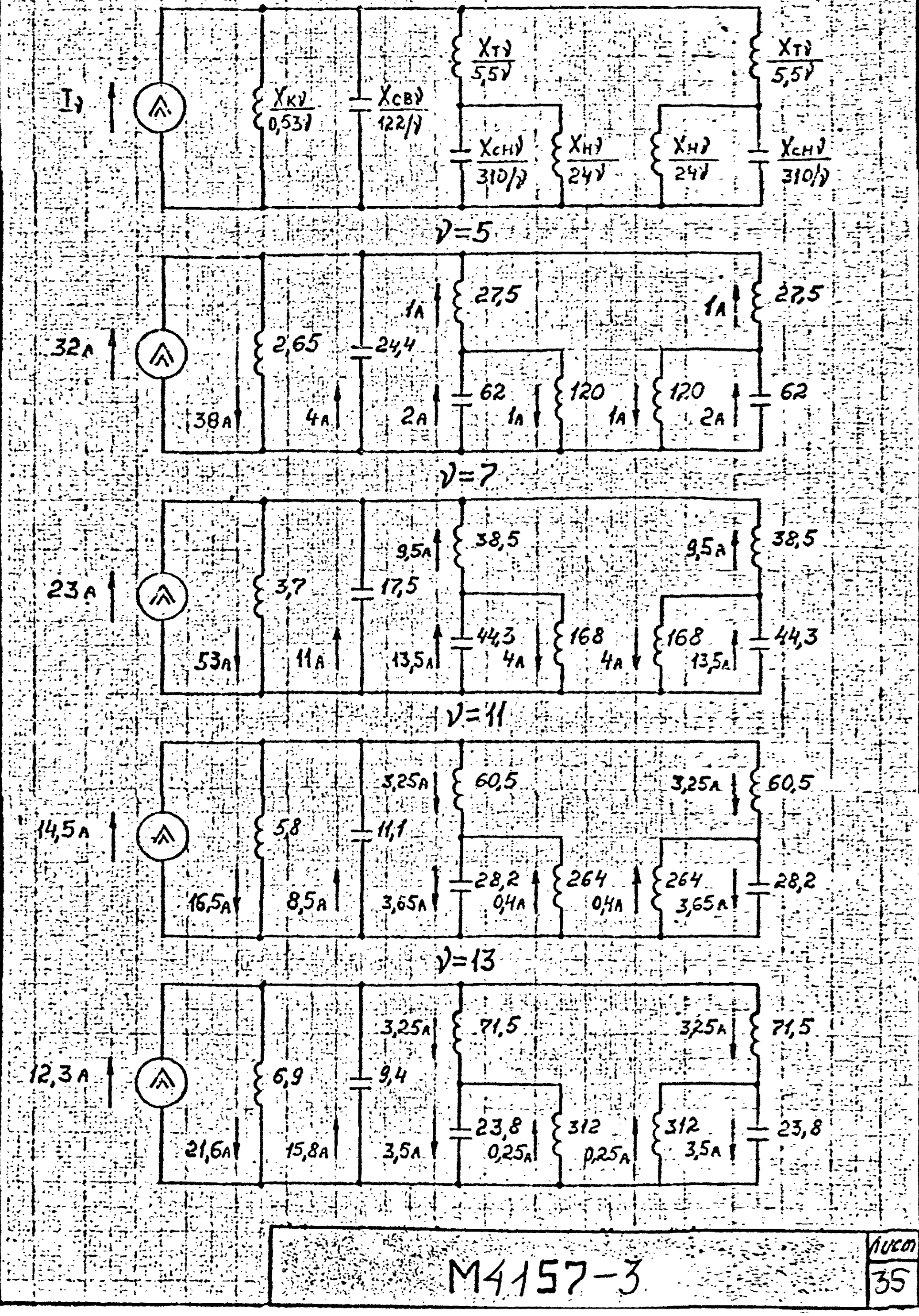
I_5 = 32 А, I_7 = 23А, I_{11} =I4,5 А, I_{13} =I2,3 А

2. Схема замещения и определение сопротивлений ее элементов

Схема замещения схемы электроснабжения в рассматривае-

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и текстовые документы основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма Ф09-82 л-т2 | Взамен Ф09-79 | Нач. ОТП

Рис.1 Режим I. Схемы замещения



М4157-3	Лист 35

Рис. 2 Режим II. Схемы замещения

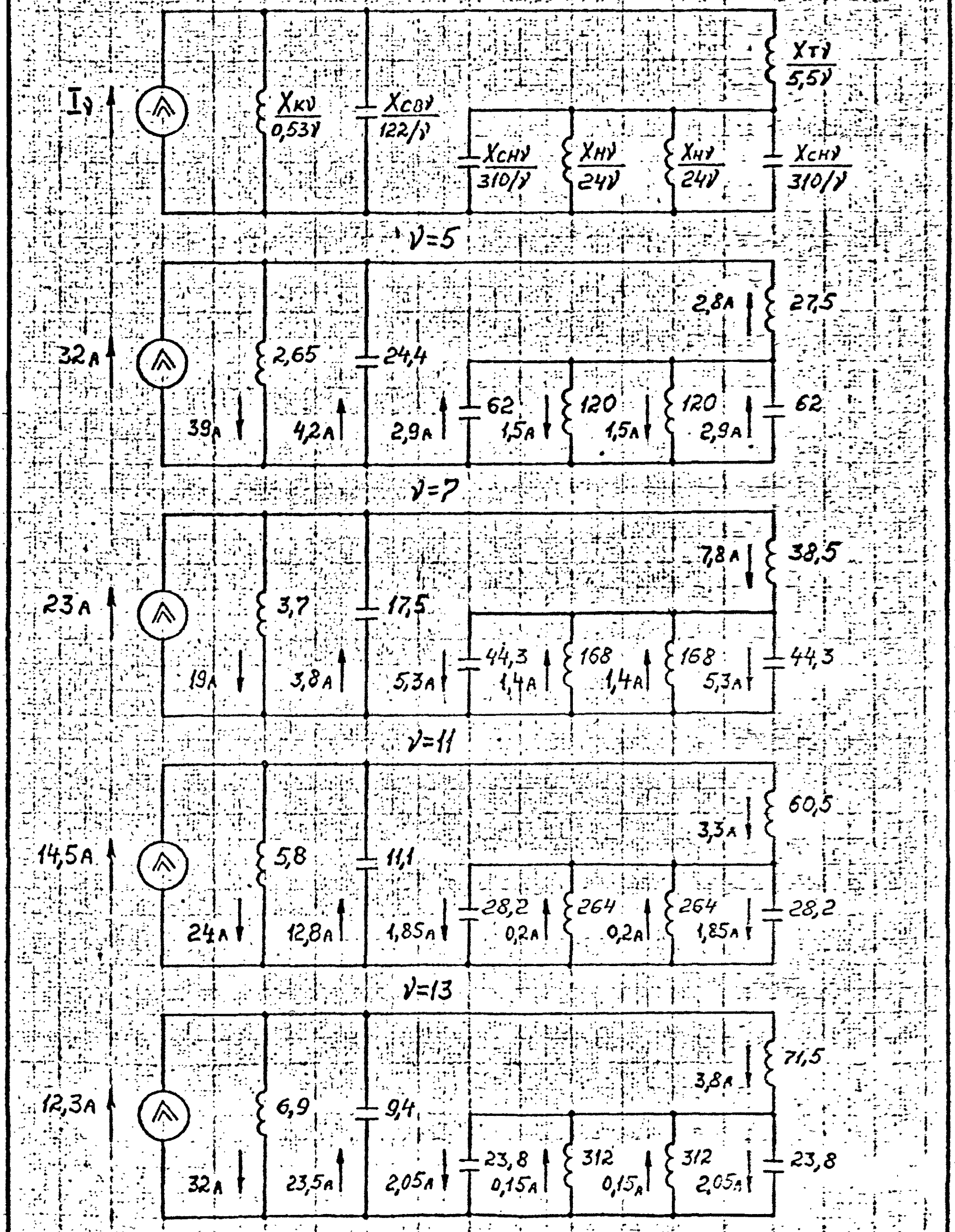


Рис. 3 Режим III. Схемы замещения

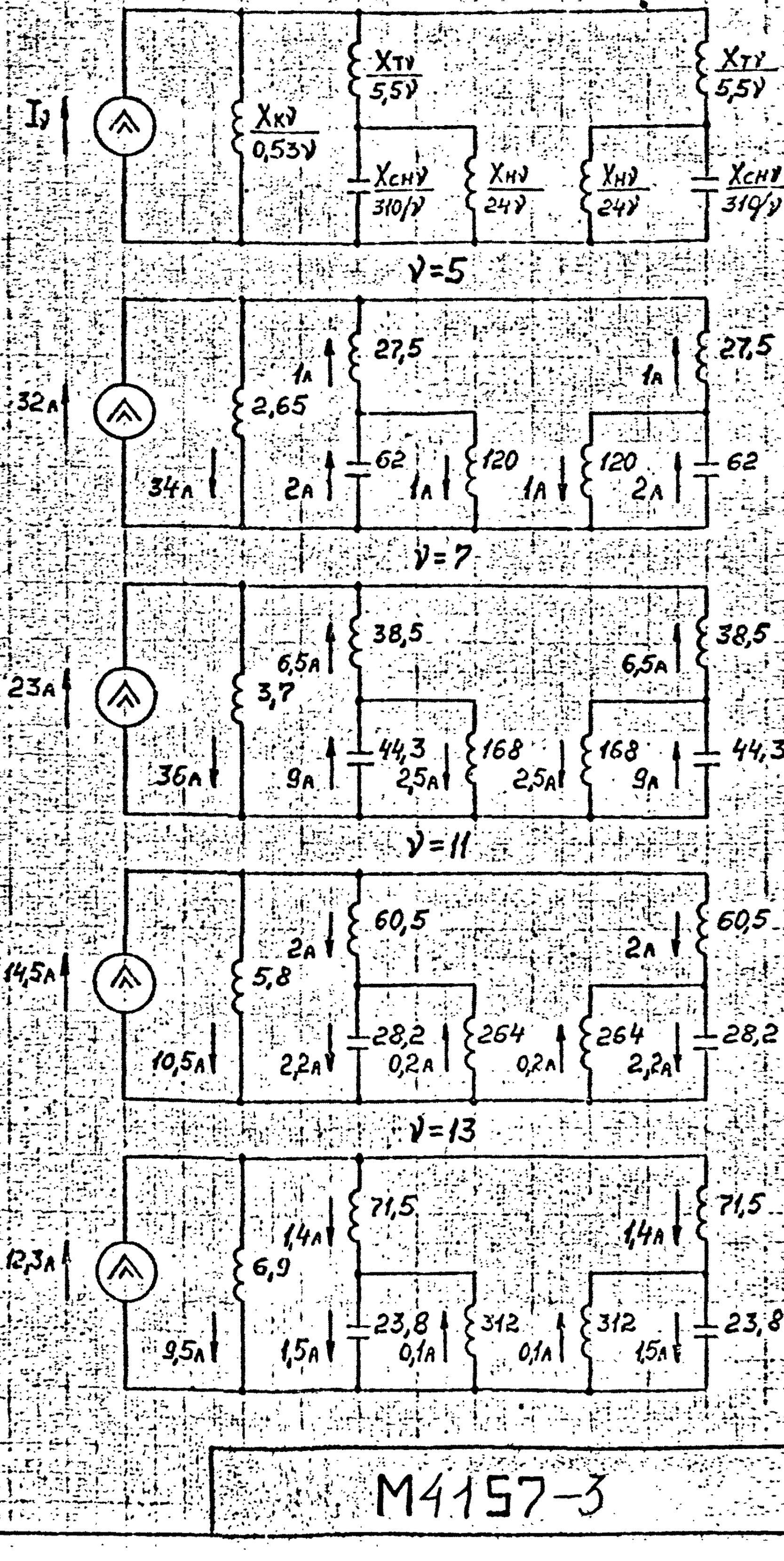


Рис. 4 Режим IV. Схемы замещения

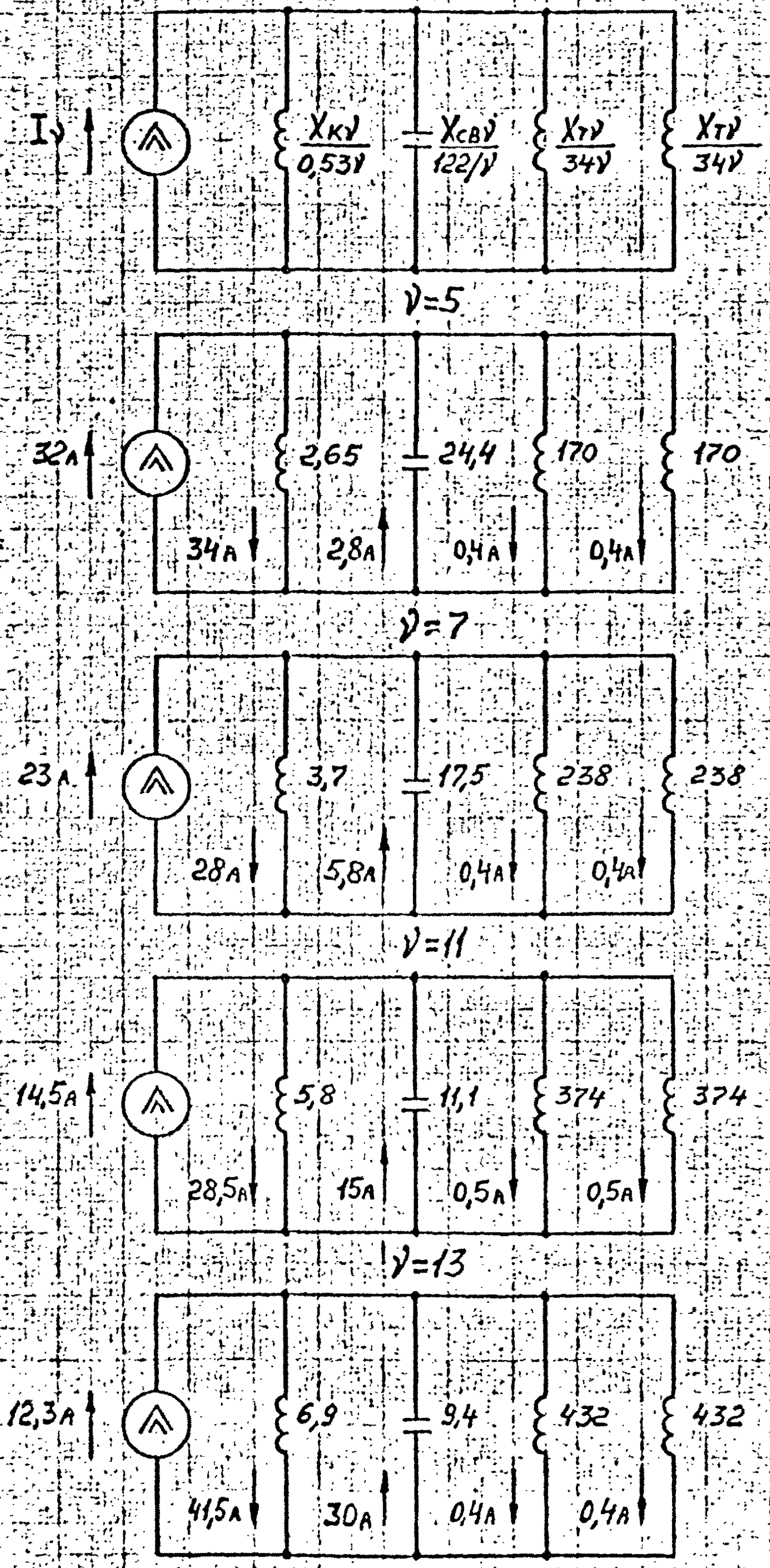


Рис.5 Режим V. Схемы замещения

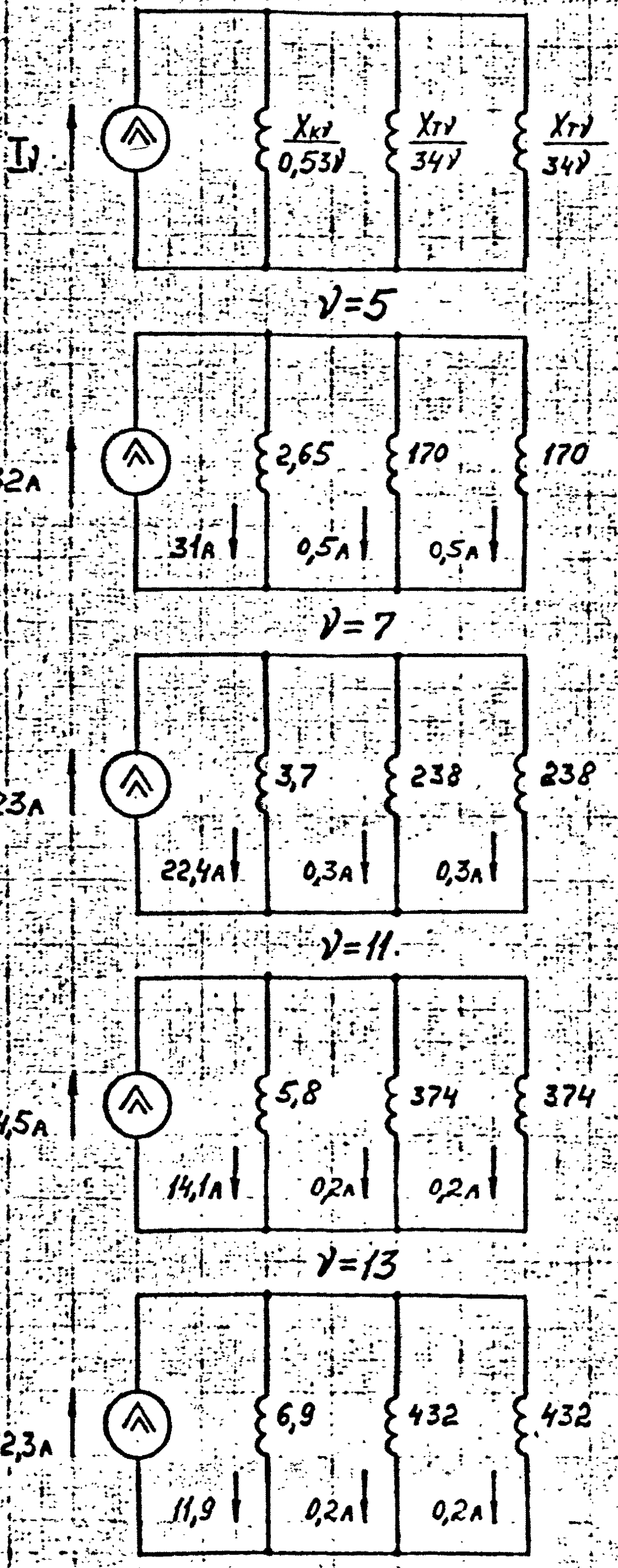


Рис.6 Режим VI. Схемы замещения

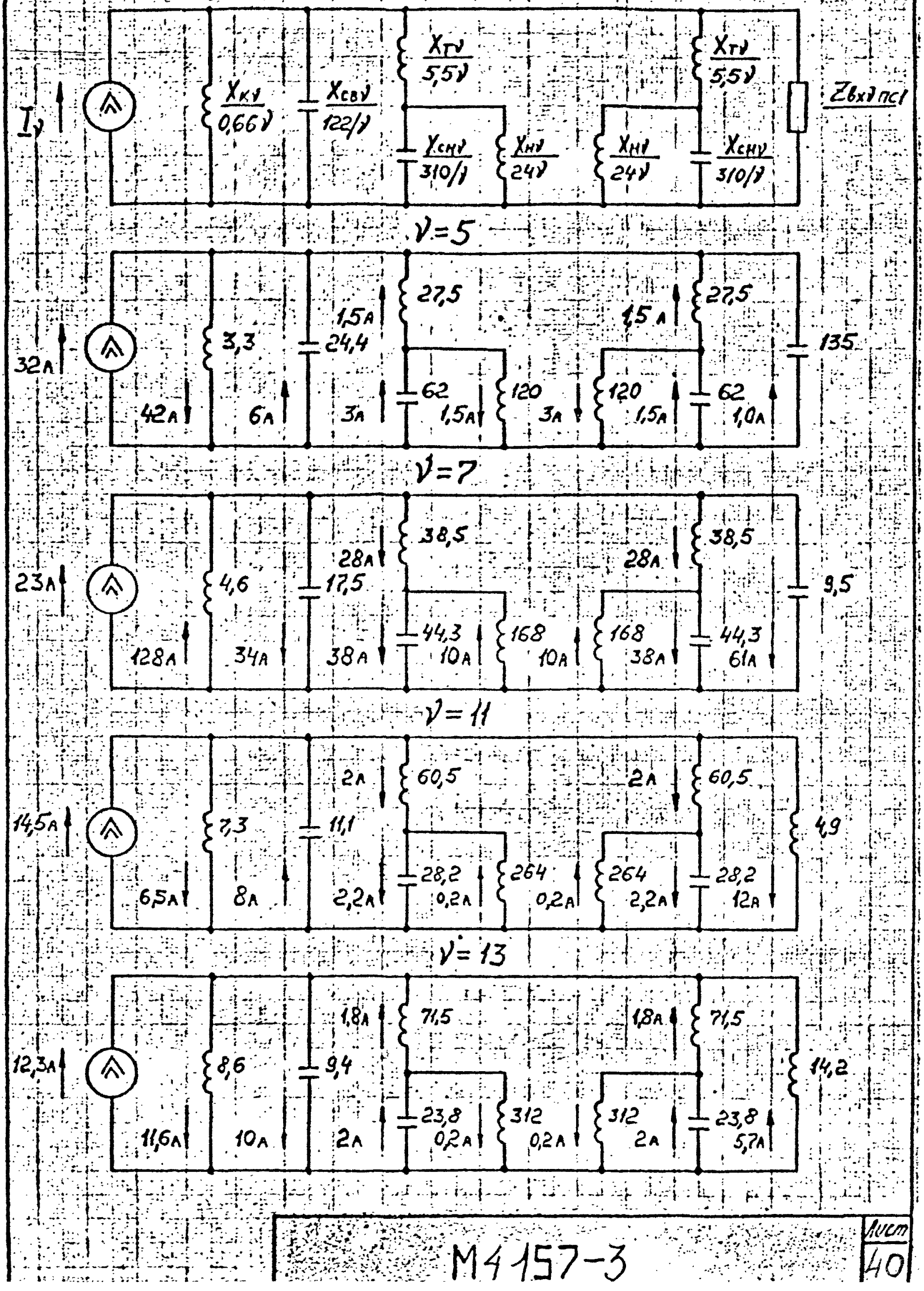


Рис.7 Режим VII. Схемы замещения

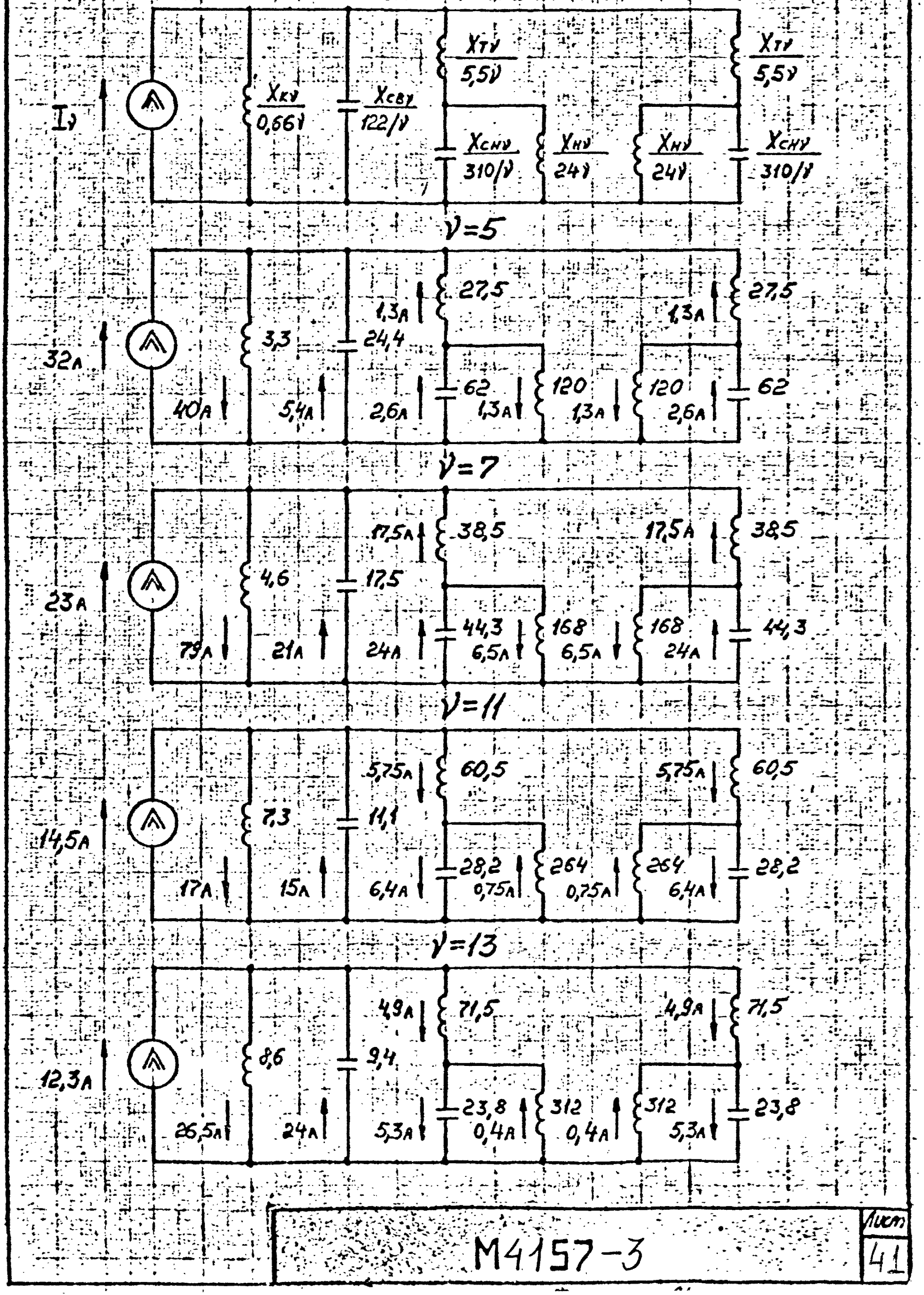
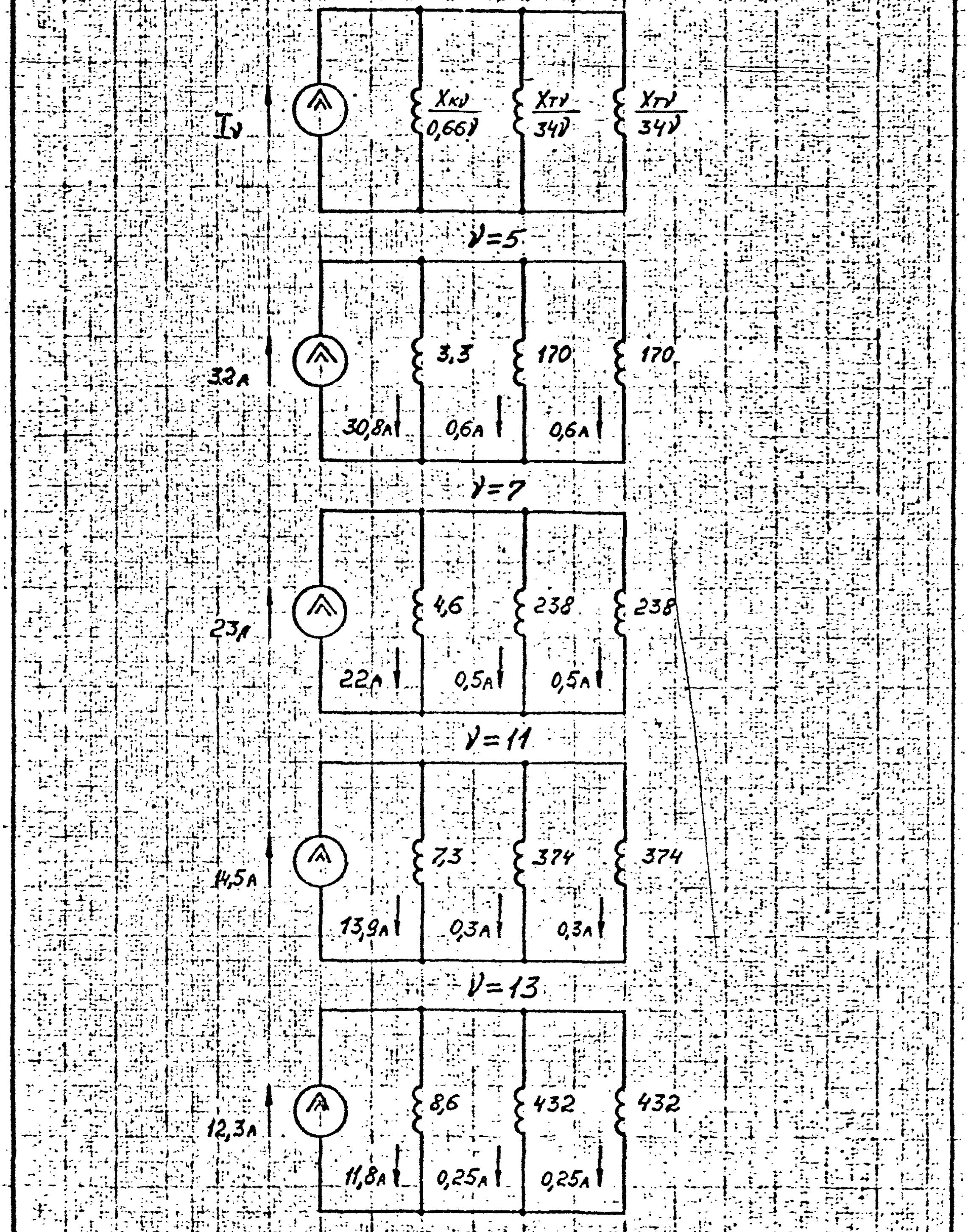


Рис. 8 Режим VIII. Схемы замещения



мом режиме представлена на рис. 4.

Сопротивления ее элементов составляют:

а) система

$$X_{k\nu} = \frac{100 \cdot \nu}{188} = 0{,}53\nu, \text{ ом}$$

б) трансформатор

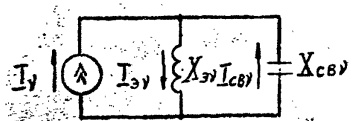
$$X_{T\nu} = \frac{34 \cdot \nu}{1} = 34\nu, \text{ ом}$$

в) конденсаторная батарея ВН

$$X_{CB\nu} = \frac{10{,}5^2}{0{,}45 \cdot \nu} = 244/\nu, \text{ ом}$$

3. Преобразование схемы замещения (рис.4) и расчет токораспределения в ветвях схемы

Сокончательно преобразованная схема замещения имеет вид:



где: $X_{э\nu} = X_{k\nu} \| X_{T1\nu} \| X_{T2\nu} = X_k \cdot \nu \| \frac{X_{T1} \cdot \nu}{2}$

$X_{э\nu}$ – эквивалентное индуктивное сопротивление сети току ν –ой гармоники

$X_{CB\nu} = X_{CB1\nu} \| X_{CB2\nu} = \frac{X_{CB1}}{2 \cdot \nu}$

$X_{CB\nu}$ сопротивление конденсаторной батареи току ν –ой гармоники

Расчет элементов схемы замещения и токов в ее ветвях проводится по каждой гармонике в отдельности.

$\nu = 5$. Сопротивления элементов схемы замещения для 5–й гармоники тока составят:

$$X_{э5} = \frac{0{,}53 \cdot 5 \cdot 34 \cdot 5 \cdot 2}{2(0{,}53 \cdot 5 + 34 \cdot 5)} = 2{,}57 \text{ ом}$$

$$X_{CB5} = \frac{244}{2 \cdot 5} = 24{,}4 \text{ ом}$$

Сопротивления схем замещения для 7–й, II–й и I3–й гармоники определяются аналогично и имеют следующие значения:

$\nu = 7$	$\nu = 11$	$\nu = 13$
$X_{э7} = 3{,}58$ ом	$X_{э11} = 5{,}65$ ом	$X_{э13} = 6{,}7$ ом
$X_{св7} = 17{,}5$ ом	$X_{св11} = 11{,}1$ ом	$X_{св13} = 9{,}4$ ом

Определение токов грамоник в ветвях схемы замещения проводится следующим образом:

$\nu=5$ $$I_{св5} = I_5 \frac{X_{э5}}{X_{э5} - X_{св5}} = 32 \frac{2{,}57}{2{,}57 - 24{,}4} = -2{,}8\text{А}$$

$$I_{э5} = 32 - (-2{,}8) = 34{,}8\text{А}$$

Токи 7-й, 11-й и 13-й гармоник рассчитываются аналогично и составляют:

$\nu = 7$	$\nu = 11$	$\nu = 13$
$I_{св7} = -5{,}8$ А	$I_{св11} = -15$А	$I_{св13} = -30$А
$I_{э7} = 28{,}8$ А	$I_{э11} = 29{,}5$ А	$I_{э13} = 42{,}3$ А

4. Определение действующего значения полного тока в цепи конденсаторной батареи

$$I_{св\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{1}^{13} I_{св\nu}^2}}{I_{свном}} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$$I_{свном} = \frac{Q_{свном}}{\sqrt{3} \cdot U_{свном}} = \frac{2 \cdot 450}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 49{,}5 \text{ А}$$

Ток основной частоты в цепи конденсаторной батареи

$$I_{св1} = I_{свном} \cdot \frac{U_ш}{U_{свном}} = 49{,}5 \frac{10}{10{,}5} = 47\text{А}$$

где: $U_ш = 10$ кВ напряжение на шинах подстанции

Численное значение полного тока составляет:

$$I_{св\Sigma} = \frac{\sqrt{47^2 + 2{,}8^2 + 5{,}8^2 + 15^2 + 30^2}}{49{,}5} \cdot 100\% = 123\%$$

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Чертежи и текстовые документы основного комплекта, проекта (рабочего проекта) | Форма Ф09-82 лит2 | Взамен Ф09-79 | Нач. ОТП

5. Определение гармоник напряжения и коэффициента искажений

Гармоники напряжения составляют:

$$\nu=5. \quad U_5=\frac{\sqrt{3}\cdot I_{свз}\cdot X_{свз}}{10\cdot U_{ном}}=\frac{\sqrt{3}\ .2,8\ .24,4}{10.10}=1,56\ \%$$

Напряжения 7-й, II-й и I3-й гармоник рассчитываются аналогично и составляют:

$U_7 = 1,8\%$ $U_{11} = 2,86\ \%$ $U_{13} = 4,95\ \%$

Коэффициент искажений в сети I0 кВ составляет

$$К_{нс} = \sqrt{1,56^2+ 1,8^2 + 2,86^2+ 4,95^2} = 6,2\ \%$$

Расчеты гармоник тока, напряжения, коэффициента искажений для остальных режимов производятся аналогично. Гармоники тока во всех ветвях схем замещения для всех режимов приведен на рис. I-8.

Результаты расчетов гармоник тока для всех режимов сведены в таблицу 2, результаты расчетов гармоник напряжения и коэффициентов искажений приведены в таблице 3.

Анализируя данные, приведенные в таблицах 2 и 3 следует отметить перегрузку батарей конденсаторов токами высших гармоник во всех режимах, которая в ряде режимов является недопустимой ($I_{свΣ} > I30\%$); кроме того следует отметить, что значения коэффициентов искажений в ряде режимов превышают допустимое ГОСТ I3I09-67 значение 5 %.

Это объясняется возникновением резонансных (или близких к ним) режимов на частоте той или иной гармоники, причем резонансные контуры образуются емкостью батарей конденсаторов и индуктивностью сети.

Таблица 2

	Режимы	I			II			III			IV			V			VI			VII			VIII		
		пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН	пит. сеть	БК ВН	БК* НН
Токи гармоник, генерируемые преобразователями, А	I_3										—														
	I_5										32														
	I_7										23														
	I_9										—														
	I_{11}										14,5														
	I_{13}										12,3														
Токи гармоник в различных элементах схемы эл.снабжения	I_3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	I_5	38	4	2	39	4,2	2,9	34	—	2	34	2,8	—	31	—	—	42	6	3	40	5,4	2,6	30,8	—	—
	I_7	53	11	13,5	19	3,8	5,3	36	—	9	28	5,8	—	22,4	—	—	128	34	38	79	21	24	22	—	—
	I_9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	I_{11}	16,5	8,5	3,65	24	12,8	1,85	10,5	—	2,2	28,5	15	—	14,1	—	—	6,5	8	2,2	17	15	6,4	13,9	—	—
	I_{13}	21,6	15,8	3,5	32	23,5	2,05	9,5	—	1,5	41,5	30	—	11,9	—	—	11,6	10	2	26,5	24	5,3	11,8	—	—
Действующее значение полного тока в цепи БК, %		—	111	127	—	108	107	—	—	113	—	123	—	—	—	—	—	121	226	—	119	168	—	—	—

* Токи в БК НН приведены к напряжению 10кВ

Расчетные значения гармоник тока

Таблица 3

	Режимы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Гармоники напряжения, %	U_3	—	—	—	—	—	—	—	—
	U_5	1,75	1,79	1,56	1,56	1,42	2,4	2,28	1,76
	U_7	3,3	1,21	2,3	1,8	1,43	10,2	6,3	1,75
	U_9	—	—	—	—	—	—	—	—
	U_{11}	1,65	2,41	1,05	2,86	1,42	0,82	2,15	1,75
	U_{13}	2,58	3,8	1,13	4,95	1,43	1,72	3,94	1,76
Коэффициент искажений $K_{нс}$, %		4,75	5,03	3,18	6,2	2,85	10,7	8,0	3,42

Расчетные значения гармоник напряжения и коэффициента искажения

Попутно следует отметить, что естественный коэффициент искажений (режимы У и УШ без конденсаторных батарей) не превышает нормативной величины 5%.

Таким образом, нереактированные конденсаторные батареи являются усилителями гармоник тока, напряжения и коэффициента искажения, и, следовательно, в таком виде должны быть исключены из схемы. В свою очередь, исключение батарей из схемы превысит требуемое Мосэнерго потребление реактивной мощности из городских электросетей, поэтому для решения этой задачи нужны реактированные конденсаторные батареи 10 кВ и 380 В. Однако, следует учесть, что в настоящее время отечественная электропромышленность выпускает и разрабатывает реактированные батареи только в виде силовых фильтров высших гармонических для сетей 6-10 кВ.

Ввиду сказанного, а также учитывая, по сведениям п/я Г-4617, все более широкое применение тиристорных преобразователей на площадке п/я В-2616, следует признать целесообразным и перспективным решением рекомендовать для корпуса 41 силовые фильтры высших гармоник.

ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТКРМ

Применение для питания двигателей постоянного тока тиристорных преобразователей приводит, как правило, к недопустимому ухудшению показателей качества электроэнергии (изменения и несинусоидальность напряжения), что вызывает необходимость применения специальных быстродействующих компенсирующих устройств. Как известно, в качестве таких устройств могут применяться:

а) синхронные компенсаторы с быстродействующей системой возбуждения;

б) статические компенсаторы, состоящие из нерегулируемой конденсаторной батареи (фильтров высших гармоник) и регулирующего звена в виде индуктивности с тиристорами. Принципиальная схема статического компенсатора приведена на рис. I.

Синхронные компенсаторы являются сложными и громоздкими устройствами, имеющими вращающиеся части. Статические компенсаторы имеют ряд преимуществ перед синхронными компенсаторами: более высокое быстродействие, отсутствие вращающихся частей. Эти преимущества имеют особое значение при выборе типа компенсатора.

Кроме того статический компенсатор имеет меньшие удельные активные потери.

Реактивная мощность Q , выдаваемая статическим компенсатором в сеть, регулируется за счет переменной составляющей реактивной мощности индуктивности;

Приложение. 3

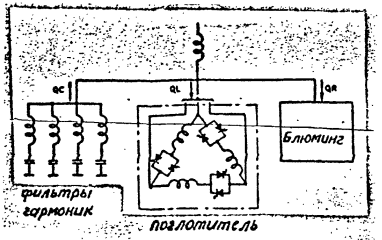


Рис.1. Однолинейная схема статического компенсатора.

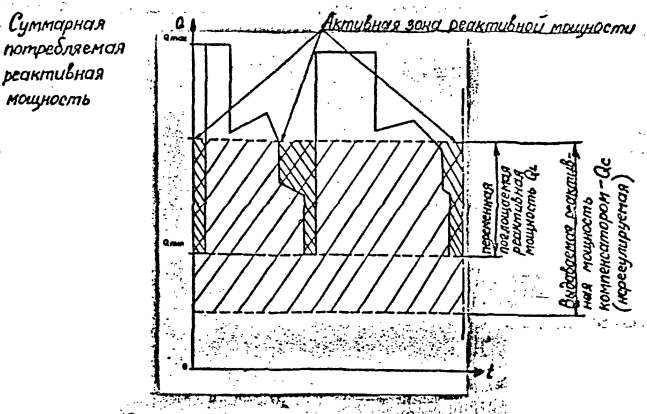


Рис.2. График колебаний суммарной потребляемой реактивной мощности.

Диапазон регулирования компенсатора за период 2х характерных пропусков блюминга.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Основн. компл. рабоч. чертежей и текстов документов и проектной документации до стад. проектиров.	Форма	Взамен	Нач. отд.
				Ф09-79л-тг	Ф09-78	

М4157-3

Лист 50

$Q = Q_{c_1} - Q_L$, где Q_{c_1} – реактивная мощность конденсаторной батареи (фильтров высших гармоник).

Реактивная мощность Q_L, потребляемая индуктивностью, меняется в зависимости от величины угла управления тиристоров: максимальное значение будет при полностью открытых тиристорах (паузы в прокате), минимальное – при закрытых (прокатка). Работа статического компенсатора иллюстрируется на рис. 2.

gost.e-ecolog.ru