

А. М. Repin. Step AC-to-DC converter. / А. М. Репин. Ступенчатый преобразователь переменных напряжений в постоянное. // Гос. Ком. Изобр. Откр. (ГКИО СССР). Авт. Свид. Из. (АСИ СССР). № SU 959237. БИ. № 34. 5.9.1982. Заявл. 3.9.1980. № 2978068/24-07. МПК H02M7/06.

Анонс. Впервые в авторском дизайне и с АСИ публикуется описание данного изобретения. Но качество, ошибки в сканкопиях описания не исправлены. По ясным причинам.



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 959237

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение: "Ступенчатый преобразователь переменных напряжений в постоянное"

Автор (авторы): Репин Аркадий Михайлович

Заявитель:

Заявка № 2978068

Приоритет изобретения 3 сентября 1980 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

14 мая 1982 г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела





О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 959237

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 03.09.80 (21) 2978068/24-07

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 15.09.82. Бюллетень № 34

Дата опубликования описания 15.09.82

(51) М. Кл.³

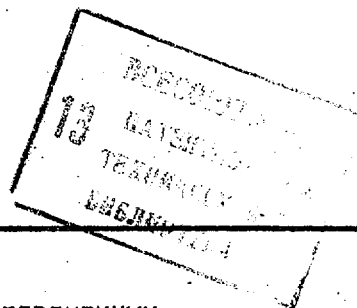
H 02 M 7/06

(53) УДК 621.314.
.6(088.8)

(72) Автор
изобретения

А.М.Регин

(71) Заявитель



(54) СТУПЕНЧАТЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОСТОЯННОЕ

Изобретение относится к электро-
технике и может быть использовано
как средство преобразования электри-
ческой энергии во вторичных источни-
ках электропитания.

Известны 1,2,...,m-лучевые вен-
тильные преобразователи переменных
напряжений в постоянное с последую-
щей фильтрацией его переменной сос-
тавляющей содержащие m источников
переменных ЭДС, сдвинутых по фазе
на 360/m эл.град. относительно друг
друга и неуправляемые или управляе-
мые преобразовательные элементы,
например, вентили, образующие совме-
стно с указанными ЭДС и линиями сое-
динения m однолучевых ячеек преоб-
разования, соединенных между собой
в параллель. Причем ЭДС и вентили
имеют одинаковое направление вклю-
чения по всех лучах, а к выходу пре-
образователя через сглаживающий
фильтр, например электростатический

элемент, подключена нагрузка [1]
и [2].

Известны также 1,2,...,m-фазные
мостовые преобразователи перемен-
ных напряжений в постоянное с по-
следующей фильтрацией переменной
составляющей, содержащие m источни-
ков преобразуемых ЭДС, сдвинутых
по фазе на 360/m эл.град. относи-
тельно друг друга, неуправляемые
и/или управляемые преобразовательные
элементы (вентили), образующие 2,
3,...,Л вентильных ячеек из соеди-
ненных последовательно согласно двух
вентильных плеч в каждой из них,
и Л линий, каждая из которых соеди-
няет соответствующий выход источни-
ков ЭДС с внутренней точкой соеди-
нения вентильных плеч одной из Л
вентильных ячеек. Причем ЭДС и вен-
тили имеют одинаковое направление
включения во всех источниках ЭДС и
вентильных ячейках и совместно с со-
ответствующими линиями образуют Т-об-

разные ячейки преобразования. Вентильные ячейки соединены при этом параллельно между собой и образуют Л-ячейковый вентильный мост, к выходу которого через сглаживающий фильтр подключена нагрузка. Преобразуемые ЭДС в этих устройствах, формируются как непосредственно на неразделенных обмотках трансформатора, электрических машин, так и путем соответствующего соединения их отдельных частей. При амплитудно-фазовой симметрии токообразующих ЭДС указанные соединения ячеек преобразования обеспечивают n -кратное увеличение частоты f_n пульсации выходного напряжения U_0 по отношению к частоте f преобразуемых ЭДС и резкое снижение коэффициента пульсации $K_n = \Delta U_0 / V$ с ростом n , L , где ΔU_0 - уровень или полный размах мгновенного значения выходного напряжения U_0 от минимума до максимума, V_0 - его среднее значение.

Дальнейшее эффективное подавление пульсации обеспечивается сглаживающими фильтрами, что в совокупности с уменьшением ее уровня трансформаторно-вентильным путем является важным достоинством указанных преобразователей [3].

Недостатками таких устройств являются относительно низкие качественные и режимно-энергетические показатели и ограниченные функциональные и конструктивно-технологические возможности при необходимости обеспечения питанием сравнительно высоковольтной нагрузки.

Наиболее близким к предлагаемому является преобразователь переменных напряжений в постоянное с последующей фильтрацией его переменной составляющей, содержащий N ячеек преобразования, выполненных каждая из последовательно соединенных источника ЭДС, линии и вентильной ячейки, распределенных по ступеням и включенных параллельно однонаправленно в каждой из них, причем один выход одной из ступеней подключен к одному из входов сглаживающего фильтра, принятых за исходные, однополярный с этим входом выход которого соединен с нагрузкой [4].

Этот преобразователь частично устраняет минусы лучевых и мостовых (одноступенчатых) схем, однако вследствие малого числа конкретных схем-

ных реализаций ступенчатого типа, содержащих к тому же одинаковое и ограниченное число ячеек преобразования в каждой ступени при небольшом (равном двум - четырем) общем числе ступеней, он обладает ограниченными возможностями.

Кроме того, подключение сглаживающего фильтра непосредственно на выходе устройства приводит к относительно плохим его массо-габаритным и стоимостным показателям (МГСП), что обусловлено, в частности, необходимостью выбора электростатических элементов (например конденсаторов) не только на полное (номинальное) высокое напряжение нагрузки, но и с соответствующим по пульсациям и переходным процессам (броскам напряжения) запасом.

Это устройство обеспечивает питанием лишь одну нагрузку, в то время как в ряде случаев их имеется несколько. В связи с этим, в сглаживающий фильтр включают дополнительные фильтрующие звенья с электростатическими элементами в поперечных и электромагнитными элементами, либо резисторами вместо них в продольных ветвях каждого звена фильтра. Последнее приводит, однако, к увеличению массы и объема электростатических элементов (конденсаторов), обусловленных высоким напряжением на каждом из них, влиянию каждой нагрузки одновременно на все источники преобразуемых ЭДС и друг на друга ввиду непосредственной их гальванической связи; снижению КПД устройства вследствие дополнительных потерь активной мощности, рассеиваемой в балластных резисторах; ухудшению качественных и режимно-энергетических показателей устройства в целом.

Кроме того, при большой постоянной времени электростатического элемента, устанавливаемого в таких устройствах в первую поперечную ветвь сглаживающих фильтров, в схемах формируются узкие токовые импульсы (броски тока) значительной амплитуды, что также снижает надежность и коэффициенты использования вентиля и источников ЭДС (трансформаторов) высоковольтных преобразователей, приводя к дополнительному ухудшению их МГСП.

Цель изобретения - расширение конструктивно-технологических возможностей и улучшение качественных и режимно-энергетических показателей, в том числе снижение массы, объема, стоимости, повышение надежности, обеспечение питанием многоканальной нагрузки с одинаковым или/и разными уровнями напряжения без существенных дополнительных потерь активной мощности и, следовательно, без заметного снижения КПД; возможность модульного построения сравнительно высоковольтных устройств путем набора их из более простых (унифицированных) и более низковольтных (менее мощных) полупроводниковых модулей; возможность построения практически неограниченного количества принципиально различных конкретных схемных реализаций устройства, содержащих сглаживающие фильтры различных типов.

Эта цель достигается тем, что в ступенчатом преобразователе переменных напряжений в постоянное с последующей фильтрацией его переменной составляющей, содержащем N ячеек преобразования, выполненных каждая из последовательно соединенных источника ЭДС, линии и вентиляционной ячейки, распределенных по ступеням и включенных параллельно однонаправленно в каждой из них, один выход одной из ступеней подключен к одному из входов сглаживающего фильтра, принятого за исходный, однополярный с этим входом, выход которого соединен с нагрузкой, указанные ступени распределены по группам и звеньям, каждое n -е звено из общего их числа n_X содержит μ_X групп с $i_X \mu$ ступенями в каждой μ -й группе и $\nu_{X i \mu}$ ячейками преобразования в каждой i -й ступени, другой вход исходного сглаживающего фильтра соединен с однополярным с ним выходом исходной ступени или группы, к остальным i -м ступеням или их группам подключены дополнительно введенные сглаживающие фильтры, образующие совместно с соответствующими им ступенями или группами преобразовательно-фильтровые структуры, которые соединены между собой последовательно разнополярными или/и параллельно однополярными выходами, а к свободному из них подключена другим своим выходом нагрузка, при этом общее число ячеек преобразова-

ния и число звеньев связаны между собой соотношением:

$$N : n_X = \nu_X,$$

где $\nu_X = \sum_{\mu=1}^{\mu_X} \nu_X$ - число ячеек преобразования в X -м звене,
 $\nu_{X \mu} = \sum_{i=1}^{i_X \mu} \nu_{X i \mu}$ - число ячеек преобразования в μ -й группе любого звена,
 $\nu_{X i \mu}$ - число ячеек преобразования в i -й ступени μ -й группы,
 N, n, μ, i, ν - целые положительные числа.

Кроме того, в разные i -е ступени включены разнотипные ячейки преобразования.

С целью дополнительного расширения длительности и снижения амплитуды токовых импульсов мостовых ступеней с электростатическим элементом в первой поперечной ветви их сглаживающего фильтра, между вентиляционными плечами каждой вентиляционной ячейки данной мостовой ступени с электростатическим элементом в первой поперечной ветви ее сглаживающего фильтра подключен зашунтированный дополнительным электростатическим элементом дополнительный электромагнитный элемент, к средней точке которого подключена линия.

Электромагнитные элементы выполнены в виде линейных дросселей или трансформаторов, магнитно связанных либо не связанных между собой и/или между звеньями сглаживающих фильтров разных ступеней.

С целью дополнительного улучшения качественных показателей, хотя бы одно из звеньев сглаживающих фильтров, содержащих электромагнитный и смежный с ним электростатический элементы, выполнены в виде элемента с совмещенными функциями индуктивности и конденсатора ("индукона").

С целью дополнительного улучшения режимно-энергетических показателей в каждую линию ячеек преобразования мостовых ступеней включен дополнительный "дозировочный" электростатический элемент, например, конденсатор, допускающий смену полярности напряжения на нем.

С целью дополнительного улучшения качественных показателей источники переменных ЭДС и "дозировочные" электростатические элементы выполне-

ны в виде элемента с совмещенными функциями трансформатора и конденсатора ("транскона").

С целью дополнительного снижения амплитуды ЭДС и массо-габаритных показателей, фильтровых конденсаторов, каждая из v_i ЭДС ячеек преобразования или их часть разделены на j_{v_i} секций ($j_{v_i}=0, 1, 2, \dots$) и на их основе образованы дополнительные преобразовательно-фильтровые структуры, включенные своими выходами последовательно разнополярно или/и параллельно однополярно между собой и с основными преобразовательно-фильтровыми структурами.

С целью дополнительного упрощения и повышения КПД при обеспечении питанием многоканальной нагрузки различные каналы многоканальной нагрузки подключены к выходам соответствующих преобразовательно-фильтровых структур с одинаковыми или/и разными уровнями напряжения с общей или/и разными потенциальными точками.

На фиг. 1 изображена общая структурная схема преобразователя; на фиг. 2а и 3 - эквивалентные электрические схемы ряда простейших его реализаций; на фиг. 2б - соответствующие схеме фиг. 2а осциллограммы, иллюстрирующие формы преобразуемых ЭДС, выходного напряжения и напряжения на сглаживающих фильтрах устройства и аналога; на фиг. 4-6 - ряд конкретных принципиальных электрических схем ступенчато-лучевого (фиг. 4а-н), ступенчато-мостового (фиг. 5а-д) и ступенчато-комбинированного (фиг. 6а-в) типов с различными сглаживающими фильтрами и способами их включения, а также при наличии или отсутствии "дозирующих" конденсаторов, последовательном либо частично параллельном соединении преобразовательно-фильтровых структур с магнитно не связанными либо связанными между собой электромагнитными элементами и включенными в вентильные ячейки дополнительными электромагнитными элементами, зашунтированными дополнительными конденсаторами.

Преобразователь 1 с подключенной к его выходам 2 и 3 нагрузкой 4 содержит $n=1$, n_x звеньев 5 и 6 от первого 5 по n_x -е 6 звено, каждое из которых состоит из $\mu=1, \mu_x$ групп 7 и 8 от первой 7 по μ_x -ю 8 группу с i_{μ}

$i=1, i_{x\mu}$ степенями 9 и 10 от первой 9 по $i_{x\mu}$ -ю 10 ступень в каждой группе 7 и 8 и с $v_{i\mu}=1, v_{x i\mu}$ ячейками 11 преобразования в каждой ступени 9 и 10.

5 Ячейки 11 преобразования содержат источники 12 преобразуемых ЭДС, соединенные через линии 13 с вентильными ячейками 14, выходы 15 и 16 которых являются выходами 17 и 18 исходной ступени 9, и к ним подключен исходный сглаживающий фильтр 19. К выходам 20-25 остальных ступеней или групп преобразователя 1 подключены 15 дополнительные сглаживающие фильтры 26-30, которые совместно с соответствующими им степенями или группами образуют преобразовательно-фильтровые структуры (ПФС), соединенные между собой последовательно разнополярными или параллельно однополярными 20 выходами 31-36, свободные выходы 37 и 38 которых являются выходами 2 и 3 преобразователя 1. При этом общее число N ячеек преобразования и число n_x звеньев связаны между собой соотношением:

$$N : n_x = v_x$$

30 где $v_x = \sum_{\mu=1}^{\mu_x} v_{x\mu}$ - число ячеек преобразования в n -звене,
 $v_{x\mu} = \sum_{i_{\mu}=1}^{i_{x\mu}} v_{x i_{\mu}}$ - число ячеек преобразования в μ -й группе любого звена,
 $v_{x i_{\mu}}$ - число ячеек преобразования в i -й ступени μ -й группы,
 N, n, μ, i, v - целые положительные числа.

40 Устройство работает следующим образом.

Пусть на выходе сглаживающего фильтра i_{μ} -й ступени формируется напряжение $U_{oi\mu}$, равное амплитуде $S_{\alpha(A)}$ преобразуемых ЭДС. Тогда из фиг. 1 следует, что по отношению к известному 45 одноступенчатому устройству напряжение U_0 на нагрузке 4 преобразователя 1

увеличено в $A = n_x \sum_{\mu=1}^{\mu_x} i_{x\mu}$ раз при

одинаковых с аналогом значениях амплитуды S_{α} фазных или амплитуды $S_{\alpha(A)}$ диагональных ЭДС. Соответственно во 55 столько же раз может быть уменьшена амплитуда $S_{\alpha(A)}$ в преобразователе 1 (фиг. 1) по сравнению с сопоставляемым решением, если требуется обеспе-

чить одинаковое для них напряжение U_0 .

Так как амплитуда $U_{\alpha 06}$ обратного напряжения на вентилях, определяющая их вентиляющую прочность, связана непосредственно с амплитудой $S_{\alpha(A)}$ преобразуемых ЭДС, то уменьшение в A раз амплитуды $S_{\alpha(A)}$ в предлагаемом преобразователе приводит к резкому снижению амплитуды $U_{\alpha 06}$ по сравнению с указанным решением и, следовательно, к соответствующему уменьшению числа вентилях в случае последовательного их соединения в каждом вентиляльном плече.

Снижение амплитуды $U_{\alpha 06}$ в устройстве позволяет использовать менее высоковольтные и, значит, с лучшими МГСП силовые вентили, а уменьшение амплитуды $S_{\alpha(A)}$ упрощает решение проблем, связанных с обеспечением надежной изоляции высоковольтных обмоток трансформаторов.

Так как число вентиляльных плеч и источников преобразуемых ЭДС в устройстве сохраняется по отношению к сопоставляемому решению, то использование менее высоковольтных обмоток трансформаторов, а также меньшего числа вентилях (в случае их последовательного соединения) или с лучшими их МГСП (при одинаковом с аналогом числе) повышает надежность и снижает массу и объем вентиляльного и трансформаторного блоков.

Несмотря на увеличение числа сглаживающих фильтров, на МГСП которых влияют в основном электростатические элементы (конденсаторы), их МГСП в целом также снижены по сравнению с известным преобразователем, так как при одинаковом с ним напряжении U_0 напряжение на каждом электростатическом элементе, включенном в поперечные ветви фильтров, уменьшено в A раз и соответственно в A^2 раз уменьшена пропорциональная квадрату этого напряжения электростатическая энергия в каждом из них, определяющая, как известно, их массу и объем.

При этом, указанные свойства достигаются без ухудшения режимов работы и без увеличения количества ячеек преобразования, и, следовательно, без дополнительного включения новых из них и новых вспомогательных устройств, обеспечивающих нормальное режимное состояние элементов.

Кроме того, устройство позволяет без принятия специальных мер (например, без включения балластных резисторов) обеспечить питанием значительное число нагрузок путем подключения их к разным ступеням или группам с фильтрами, причем как с одинаковыми, так и разными уровнями напряжения, с общей или/и разными потенциальными точками.

Таким образом, по сравнению с известными преобразователями реализация предлагаемого устройства позволяет улучшить ряд качественных и режимно-энергетических показателей и расширить функциональные возможности при одновременной простоте схемно-технического решения.

На фиг. 2а дана простейшая эквивалентная схема двухступенчатого преобразователя с емкостными сглаживающими фильтрами, выполненная согласно фиг. 1 при соблюдении следующих условий реализации: $N=2$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=2$, $\nu_{xi}=1$, или равноценных им условий: $N=2$, $n_x=1$, $\mu_x=2$, $i_x=1$, $\nu_{x\mu}=1$. При этом $N:n_x=\nu_{xi}=2:1=2$, $\nu_{x\mu}=1+1=2$; N , n , μ , i , ν - целые положительные числа.

Преобразователь 39 (фиг. 2а), к выходам 40 и 41 которого подключена нагрузка 42, содержит две ступени 43 и 44 однолучевых ячеек преобразования, зашунтированных каждая конденсаторами 45 и 46, которые совместно со ступенями 43 и 44 образуют ПФС, соединенные между собой последовательно разнополярными выходами 47 и 48, а их свободные выходы 49 и 50 являются выходами 40 и 41 преобразователя 39.

Сущность процессов в преобразователе 39 (фиг. 2а) иллюстрируют осциллограммы (фиг. 2б), на которых индексы напряжений соответствуют позиционным обозначениям элементов (фиг. 2а) за исключением обозначений $U_{1\alpha}$, $U_{2\alpha}$, относящихся соответственно к среднему и мгновенному значениям напряжения на нагрузке двухлучевого одноступенчатого аналога.

Из фиг. 2б видно, что напряжение U_{42} на нагрузке 42 устройства (фиг. 2а) примерно в два раза больше напряжения $U_{1\alpha}$ аналога при одинаковой амплитуде S_{α} преобразуемых ЭДС в них. Соответственно эта амплитуда S_{α} может быть установлена в устройстве (фиг. 2а) в 2 раза мень-

шей, чем в сопоставляемой схеме, в случае необходимости обеспечения одинакового напряжения U_0 .

Аналогично, амплитуда U_{α} обратного напряжения на вентиле в устройстве (фиг. 2а) снижена в 2 раза при одинаковых значениях U_0 , что с учетом совпадающего с сопоставляемым решением числа вентильных плеч приводит к снижению числа вентилях в случае необходимости последовательного их включения, либо возможности установить менее высоковольтные, и следовательно, с лучшими МГСП преобразовательные элементы. Кроме того, устройство (фиг. 2а) может обеспечить питанием две нагрузки с равным по уровню и одинаковым по полярности, либо с одинаковым по уровню и противоположным по полярности напряжением, либо три нагрузки с разным по уровню и полярности напряжением, что без принятия специальных мер недостижимо в известном устройстве.

При N-ступенчатом варианте рассмотренной реализации (фиг. 2а) те же показатели S_{α} , U_0 , U_{α} вообще более улучшаются, в частности, среднее значение выходного напряжения при этом составляет $U_0 \approx NS_{\alpha}$. В то же время, известно, что сумма последовательно соединенных симметричных по амплитуде и форме ЭДС, сдвинутых по фазе на $360/N$ эл.град. относительно друг друга, равна нулю, и, следовательно, подобная схемная реализация известного преобразователя с одним общим для всех ступеней сглаживающим фильтром на выходе схемы принципиально не выполнима, что свидетельствует о его ограниченных функциональных возможностях и одновременном устранении этого недостатка в предлагаемом устройстве.

Улучшение ряда показателей и расширение различных возможностей в устройстве иллюстрируют схемные реализации, приведенные на фиг. 3-6.

На фиг. 3а, б даны эквивалентные электрические схемы двухступенчатых реализаций преобразователя 51 и 52 с двумя (фиг. 3а) и тремя (фиг. 3б) ячейками преобразования и одним емкостным фильтром 53-56 в каждой из ступеней 57-60. При этом, согласно общей структурной схеме (фиг. 1) соблюдены следующие условия реализации: $N=4$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=2$, $\nu_{xi}=2$ (фиг. 3а) и $N=6$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=2$,

$\nu_{xi}=3$ (фиг. 3б) или равноценных им условий: $N=4$, $n_x=1$, $\mu_x=2$, $i_x\mu=1$, $\nu_{x\mu}=2$ и $N=6$, $n_x=1$, $\mu_x=2$, $i_x\mu=1$, $\nu_{x\mu}=3$. Причем $N:n_x=\nu_x=4:1=4$, $\nu_{x\mu}=2+2=4$ (фиг. 3а) и $N:n_x=\nu_x=6:1=6$, $\nu_{x\mu}=3+3=6$ (фиг. 3б).

Как видно из фиг. 3а, б, источники ЭДС и преобразовательные элементы имеют одинаковое направление включения во всех ячейках преобразования, а преобразовательно-фильтровые структуры, образованные ступенями 57-60 и сглаживающими фильтрами 53-56, соединены между собой последовательно разнополярными выходами 61-64. К их свободным выходам 65-68, являющимся выходами 68-72 преобразователя 51-52, подключена нагрузка 73 и 74, на которой формируется напряжение U_0 , содержащее постоянную U_0 и переменную $U_{0\sim}$ составляющие. При этом кратность частоты колебаний этой переменной составляющей (пульсации), обеспечиваемая известными преобразователями, сохранена в указанных реализациях устройства, и, тем самым, сохранено важное достоинство известных решений при одновременном улучшении МГСП сглаживающих фильтров и устройства в целом.

При $N/2$ двухлучевых или $N/3$ трехлучевых ступеней с емкостным фильтром в каждой из них схемные реализации устройства обеспечивают улучшение режимных показателей U_0 , S_{α} , U_{α} примерно в $N/2$ или $N/3$ раз (при одинаковых значениях S_{α} , U_0 , U_{α} соответственно) по сравнению с одноступенчатым аналогом с N ячейками преобразования в них.

По сравнению с известным преобразователем с одним общим фильтровым конденсатором включение дополнительных $N/2 - 1$ или $N/3 - 1$ фильтровых конденсаторов в предлагаемом устройстве снижает напряжение на них в $N/2$ или $N/3$ раз и, соответственно, уменьшает в $(N/2)^2$ или $(N/3)^2$ раз пропорциональную их массе и объему электростатическую энергию в них.

Рассмотренные схемные реализации устройства содержат одно звено и одну группу, либо одно звено с соответствующим числом групп при одной ступени в каждой из них, либо ряд звеньев с одной группой в каждом звене и одной ступенью в каждой группе. Причем, во всех случаях каждая сту-

пень реализации содержит одинаковое число ячеек преобразования при всех $i=1, i_x$.

На фиг. 3в дана эквивалентная электрическая схема, содержащая две ПФС с фильтрами 75 и 76 и ступенями 77 и 78, в каждой из которых число ячеек преобразования различно. Соблюдены следующие условия реализации: $N=3$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=2$, $\nu_1=1$, $\nu_2=2$, причем $N:n_x=\nu_x=3:1=3$, $\nu_x\mu=1+2=3$.

Из фиг. 2 и 3а, видно, что число ступеней в каждой ПФС схемных реализаций устройства одинаково. Эквивалентная электрическая схема при различном числе ступеней в каждой из двух ПФС приведена на фиг. 3г. Одна из ПФС содержит одну ступень 79 с индивидуальным сглаживающим фильтром 80, а другая - две ступени 81 с общим для них сглаживающим фильтром 82.

Таким образом, конкретные результаты улучшения качественных и режимно-энергетических показателей зависят от конкретных значений чисел N , n_x , μ_x , $i_x\mu$, $\nu_x\mu$, а также от способа подключения сглаживающих фильтров. При этом последние могут быть не только емкостного, но также индуктивного или иного типов. Достижение положительных свойств проявляется в этих случаях различным образом в зависимости от конкретных схемных реализаций сопоставляемых решений. Причем, если при однозвенном, групповом соединении ступеней с произвольным их числом $i_x\mu$ в μ -х группах и числом $\nu_x\mu$ ячеек преобразования в $i_x\mu$ -х ступенях улучшение потенциальных величин по сравнению с одноступенчатым устройством зависит от числа A_x , определяемого суммой всех i_x ступеней всех групп звена, то при n_x -звенном соединении улучшение, свойственное однозвенному варианту, возрастает в n_x раз. Тем самым, общее улучшение A показателей схемы определяется произведением $n_x A_x$.

Аналогичным образом улучшаются качественные и режимные показатели и расширяются функциональные и конструктивные возможности предлагаемого устройства по отношению к равноценной реализации известного.

При этом, в любом случае не накладывается каких-либо ограничений на способ формирования преобразуемых ЭДС, тип ячеек преобразования

и тип преобразовательных элементов. Указанные ячейки могут быть выполнены как лучевого (фиг. 2 и 3), так и Т-образного или любого иного типа. Преобразуемые ЭДС могут быть сформированы как непосредственно на неразделенных обмотках трансформаторов, электрических машин, так и/или путем соответствующей комбинации соединений их отдельных частей. Преобразовательные элементы могут быть как неуправляемыми, так и/или управляемыми, а также механическими и/или электронными и/или полупроводниковыми и пр. Отдельные ступени, группы или звенья могут представлять собой самостоятельные модули, более низковольтные и существенно менее мощные, чем вентильный преобразователь в целом.

Из всего следует, что согласно общей структурной схеме (фиг. 1) или эквивалентным схемам (фиг. 2 и 3 или подобным им) возможна реализация практически неограниченного числа конкретных принципиальных электрических схем, что свидетельствует о широких схемно-функциональных и конструктивно-технологических возможностях предлагаемого устройства, улучшения его ряда показателей.

Некоторые варианты таких конкретных схем с соответствующими им векторными диаграммами, иллюстрирующими формирование в фазовой плоскости фазных, диагональных и токообразующих ЭДС, приведены на фиг. 4-6. Изображены соответственно ступенчато-лучевые, ступенчато-мостовые и ступенчато-комбинированные схемные реализации при различных значениях $N=m$, $N=M$, μ_x , $i_x\mu$, $\nu_x\mu$, указанных под схемами, а также различных типах сглаживающих фильтров, местах и способах их включения.

Реализации на фиг. 4-6 представляют собой однозвенные $n_x=1$ схемы, содержащие две (фиг. 4б, з-п, 6а, б), три (фиг. 4а, ж, 6в), четыре (фиг. 4е) и шесть (фиг. 4д) лучевые или две (фиг. 5а-в, 6) и три (фиг. 5г, д) мостовых ступеней. Каждая из таких ступеней содержит, в свою очередь, соответственно две (фиг. 4д), три (фиг. 4а, б, е, 5а, г, 6), четыре (фиг. 4ж, 6в), шесть (фиг. 4б, з, и, 5а, г, д) девять (фиг. 4к, л, н, 5б, г), двенадцать (фиг. 4м, о) и двадцать четыре (фиг. 4п) ячейки преоб-

разования при общем их числе в устройстве равному девяти (фиг. 4а, б, 5а, в) двенадцати (фиг. 4д-и, 5г, в), восемнадцати (фиг. 4к, л, н), двадцати одной (фиг. 5г), двадцати четырем (фиг. 4м, о) и, сорока восьми (фиг. 4п) ячейкам.

Образование преобразуемых ЭДС в фазовой плоскости, их векторная направленность и фазовые сдвиги показаны на векторных диаграммах, приведенных у соответствующих им схем (фиг. 4-6). При этом, формирование двенадцати фазосдвинутых ЭДС (фиг. 4в, г) является общим для схем (фиг. 4д, е), а также для других подобных схем, образованных, например, путем подключения к вторичным обмоткам трансформаторов, показанных на фиг. 4в, двух-ячейковых (однофазных) или трех-ячейковых (трехфазных) вентильных мостов с последовательно-согласно соединенными между собой фильтрами, изображенными, например, на фиг. 4д, е.

При этом, преобразуемые ЭДС являются фазными либо линейными или диагональными в лучевых и мостовых схемах, могут быть сформированы в конкретных реализациях различным образом: непосредственно, т.е. прямым снятием напряжения с неразделенных вторичных обмоток (фиг. 4а, б, д, е, 5а, г), либо путем соответствующего, например, в зигзаг, соединения их разделенных частей (фиг. 4а, б, ж-п, 5а-г, 6).

Использование частей обмоток может осуществляться также различным образом: автономно, т.е. при одно-, двухразовом - в лучевых (фиг. 4а-и) или двухразовом за период ЭДС участии данной части обмотки в мостовых (фиг. 5а, г, 6) схемах, либо комплексно, т.е. при многократном за период ЭДС участии данной части обмотки с целью формирования разных, сдвинутых по фазе переменных ЭДС (фиг. 4о, п, 5б, г, д).

Причем фазы таких переменных ЭДС $\psi_{i\mu}$ -х ячеек преобразования данной $i\mu$ -й ступени могут быть сдвинуты симметрично на $360/\nu_{xi\mu}$ эл.град. относительно друг друга (фиг. 4а, д, к, м, н, о, п, 5а-д, 6), а фазы переменных ЭДС последующей ступени могут быть сдвинуты на $360/m$ - в лучевых (фиг. 4а, б, д-з, к-п) или $360/M$ - в мостовых ступенях (фиг. 5в) эл.град.

по отношению к ЭДС предыдущей ступени.

Отдельное звено сглаживающего фильтра данной ступени (фиг. 4-6) или группы (фиг. 4а, д) может быть выполнено в виде Г- (фиг. 4 и 5, без учета первых конденсаторов в продольной ветви фильтра, показанных пунктиром) или П- (фиг. 4 и 5, с учетом таких конденсаторов) образного фильтра. Причем в смежных ступенях такие фильтры могут быть как одинакового (фиг. 4а, б, д-з, к, л, н, 5а-д), так и разного (фиг. 4а, м, о, п, 6) типов.

Вместе с тем, при соединении звеньев, групп или ступеней одинакового типа, содержащих соответствующие однотипные сглаживающие фильтры (фиг. 4д-ж, к, л, н, 5б, в), в преобразователе повышаются коэффициенты однотипности и технологичности устройства, а также расширяются возможности использования преимуществ модульного построения преобразователей.

Так как, в преобразователе соблюдаются условия $\nu_{xi\mu} < m$ (в лучевых) и $\nu_{xi\mu} < L$ (в мостовых схемах), то длительность $\lambda_{i\mu}$ открытого состояния $\nu_{i\mu}$ -го вентиля в предлагаемом устройстве больше длительности λ известных п-или Л-ячейковых вентильных преобразователей.

Следовательно, использование источников ЭДС в предлагаемом устройстве улучшается по времени их работы по сравнению с известным устройством при одинаковой постоянной времени сглаживающих фильтров в них.

Причем схемные реализации устройства допускают параллельное включение однополярными выходами хотя бы части преобразовательно-фильтровых структур (фиг. 4л-п, 5б, 6а, в), либо их групп или звеньев (фиг. 6б). В то же время разные ступени таких ПФС могут содержать разнотипные ячейки преобразования (фиг. 6) при параллельно-последовательном (фиг. 5б, 6а, в) или последовательно-параллельном (фиг. 6б) соединении ПФС.

Так как различные ПФС устройства соединены между собой последовательно, то регулирование (стабилизация) выходного напряжения может быть осуществлено посредством преобразовательных элементов лишь одной такой ПФС (фиг. 2-6) в широ-

ком (фиг. 2-5) или локализованном (фиг. 6в) диапазоне. При этом в качестве управляемых преобразовательных элементов могут быть установлены любые приборы ключевого типа - тиристоры, транзисторы, магнитные усилители, герсиконы с неуправляемыми вентилями и пр.

В случаях, когда конкретная реализация вентильного преобразователя содержит ПФС из схем мостового типа с электростатическим элементом (например конденсатором) в первой поперечной ветви их сглаживающих фильтров, дальнейшего увеличения длительности и, как следствие, снижения амплитуды импульсов тока вентиля и источников ЭДС можно достичь, если между вентильными плечами каждой вентильной ячейки данного вентильного моста дополнительно подключить зашунтированный дополнительным электростатическим элементом электромагнитный элемент (например, индуктивность), а линию подсоединить к его средней точке (фиг. 5а, д, 6в).

В этом случае дополнительный электромагнитный элемент обеспечивает расширение интервала протекания тока через вентили и источник ЭДС, а дополнительный электростатический элемент обеспечивает циркуляцию энергии, накапливаемой в дополнительном электромагнитном элементе.

Причем электромагнитные элементы фильтров могут быть выполнены в виде линейных дросселей, трансформаторов или иных элементов, магнитно не связанных (фиг. 4д, ж, 6) или связанных (фиг. 4а, б, е, з, и, л-п, 5) между собой (фиг. 4 и 5) и (фиг. 4б, е, м, 5а, в, д) или (фиг. 4а, з, л-н, п, 5б) между звеньями сглаживающих фильтров разных ступеней.

Дальнейшего улучшения МГСП сглаживающих фильтров можно достичь путем включения в них элементов с совмещенными функциями индуктивности и конденсатора ("индуконов"), так как в этом случае вместо двух конструктивно и функционально разделенных элементов (электростатического и электромагнитного) используется один.

Последнее также способствует расширению функционально-конструктивных возможностей предлагаемого решения по сравнению с известными, что особенно проявляется в многоступен-

чатых схемах или/и при наличии многоступенчатых фильтров,

Дополнительного улучшения режимно-энергетических показателей вентильного преобразователя, содержащего мостовые ступени, можно достичь, если в каждую линию ячеек преобразования включить дополнительный (дозировующий) электростатический элемент, например, конденсатор, допускающий смену полярности напряжения на нем (фиг. 4а, б).

Такое включение позволяет без дополнительных потерь активной мощности улучшить качество потребляемой энергии за счет компенсации реактивной мощности сглаживающих фильтров, а также улучшить качество переходных процессов в них вследствие форсирования установления процессов и соответствующего перераспределения (дозирования) энергии реактивных элементов.

Если в последнем случае источниками переменных ЭДС являются трансформатор или электрическая машина, то дополнительного улучшения МГСП вентильного преобразователя можно достичь путем выполнения этих источников ЭДС и дозирующих электростатических элементов мостовых ступеней в виде трансформаторов с конденсаторными обмотками в виде "трансконов". Достижимые при этом положительные свойства обеспечиваются, как и в случае включения "индуконов", за счет совмещения функций двух элементов в одном, что расширяет функционально-конструктивные возможности устройства.

При этом средние значения U_{0i} напряжений U_{0i} всех i -х ступеней суммируются арифметически ($U_0 = \sum U_{0i}$), а их пульсации - геометрически ($\Delta U_0 = \sum \Delta U_{0i} < \sum \Delta U_{0i}$).

Следовательно, коэффициент пульсаций $K_n = \Delta U_0 / U_0$ выходного напряжения в этом случае меньше арифметической суммы коэффициентов пульсации K_{ni} отдельных ступеней

$$K_n < \sum K_{ni} = \sum \frac{\Delta U_{0i}}{U_{0i}}$$

что также выгодно отличает предлагаемое устройство от решений, основанных на секционировании обмоток.

Вместе с тем, возможность такого секционирования не исключается в предлагаемом устройстве, что без изменения кратности частоты пульсации, но с целью дополнительного снижения требуемого значения амплитуды

преобразуемых ЭДС и массо-габаритных показателей фильтровых конденсаторов при заданном выходном напряжении можно достичь, если хотя бы в i -й ступени разделить ν -е обмотки на $j\nu_i$ частей (секций) и, образовать на их основе дополнительные лучевые или/и мостовые ступени с фильтрами упомянутой структуры, последовательно или/и параллельно согласно включенными между собой и фильтрами исходных ступеней.

Таким образом, в предлагаемом ступенчатом вентильном преобразователе переменных напряжений в постоянное с последующей фильтрацией его переменной составляющей достигнуто улучшение ряда качественных и режимно-энергетических показателей и расширены функциональные и конструктивные возможности при одновременной простоте схемно-технического решения.

Формула изобретения

1. Ступенчатый преобразователь переменных напряжений в постоянное с последующей фильтрацией его переменной составляющей, содержащий N ячеек преобразования, выполненных каждая из последовательно соединенных источника ЭДС, линии и вентильной ячейки, распределенных по ступеням и включенных параллельно однонаправленно в каждой из них, один выход одной из ступеней подключен к одному из входов сглаживающего фильтра, принятого за исходный, однополярный с этим входом, выход которого соединен с нагрузкой, отличающийся тем, что, с целью расширения конструктивно-технологических возможностей и улучшения качественных и режимно-энергетических возможностей и улучшения качественных и режимно-энергетических показателей, указанные ступени распределены по группам и звеньям, каждое n -е звено из общего их числа n_x содержит μ_x групп с $i_{x\mu}$ ступенями в каждой μ -й группе и с $\nu_{xi\mu}$ ячейками преобразования в каждой i_{μ} -й ступени, другой вход исходного сглаживающего фильтра соединен с однополярным ему выходом исходной ступени или группы, к остальным i_{μ} -ступеням или их группам подключены дополнительно введенные сглаживающие фильтры, образующие совместно с соответствующими

ими им ступенями или группами преобразовательно-фильтровые структуры, которые соединены между собой последовательно разнополярными или/и параллельно однополярными выходами, а к свободному из них подключена другим своим выводом нагрузка, при этом общее число ячеек преобразования и число звеньев связаны между собой соотношением

$$N: n_x = \nu_x,$$

где $\nu_x = \sum_{\mu=1}^{\mu_x} \nu_{x\mu}$ - число ячеек преобразования в n -м звене,

$\nu_{x\mu} = \sum_{i_{\mu}=1}^{i_{x\mu}} \nu_{xi\mu}$ - число ячеек преобразования в μ -й группе любого звена,

$\nu_{xi\mu}$ - число ячеек преобразования в i -й ступени μ -й группы,

N, n, μ, i, ν - целые положительные числа.

2. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что, в разные i_{μ} -е ступени включены разнотипные ячейки преобразования.

3. Преобразователь по п. 2, отличающийся тем, что, с целью дополнительного расширения длительности и снижения амплитуды токовых импульсов мостовых ступеней с электростатическим элементом в первой поперечной ветви их сглаживающего фильтра, между вентильными плечами каждой вентильной ячейки данной ступени подключен зашунтированный дополнительным электростатическим элементом дополнительный электромагнитный элемент, к средней точке которого подключена линия.

4. Преобразователь по п. 3, отличающийся тем, что электромагнитные элементы выполнены в виде линейных дросселей или трансформаторов, магнитно связанных либо не связанных между собой и/или между звеньями сглаживающих фильтров разных ступеней.

5. Преобразователь по п. 3, отличающийся тем, что, с целью дополнительного улучшения качественных показателей, хотя бы одно из звеньев сглаживающих фильтров, содержащих электромагнитный и смежный с ним электростатический элемент, выполнено в виде элемента с совмещенными функциями индуктивности и конденсатора.

6. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что, с целью дополнительного снижения амплитуды ЭДС и массо-габаритных показателей фильтровых конденсаторов, каждая из ν ЭДС ячеек преобразования или их часть разделены на $j_{\nu i}$ секций ($j_{\nu i}=0,1,2,\dots$) и на их основе образованы дополнительные преобразовательно-фильтровые структуры, включенные своими выходами последовательно разнополярно или/и параллельно однополярно между собой и с основными преобразовательно-фильтровыми структурами.

7. Преобразователь по п. 2, отличающийся тем, что, с целью дополнительного улучшения режимно-энергетических показателей, в каждую линию ячеек преобразования мостовых ступеней включен дополнительный ("дозировочный") электростатический элемент, например, конденсатор, допускающий смену полярности напряжения на нем.

8. Преобразователь по п. 2, отличающийся тем, что, с целью дополнительного улучшения качественных показателей, источники переменных ЭДС и "дозировочные" элек-

тростатические элементы выполнены в виде элемента с совмещенными функциями трансформатора и конденсатора.

9. Преобразователь по п. 2, отличающийся тем, что, с целью дополнительного упрощения и повышения КПД при обеспечении питанием многоканальной нагрузки, различные ее каналы подключены к выходам соответствующих преобразовательно-фильтровых структур с одинаковыми или/и разными уровнями напряжения, с общей или/и разными потенциальными точками.

Источники информации,

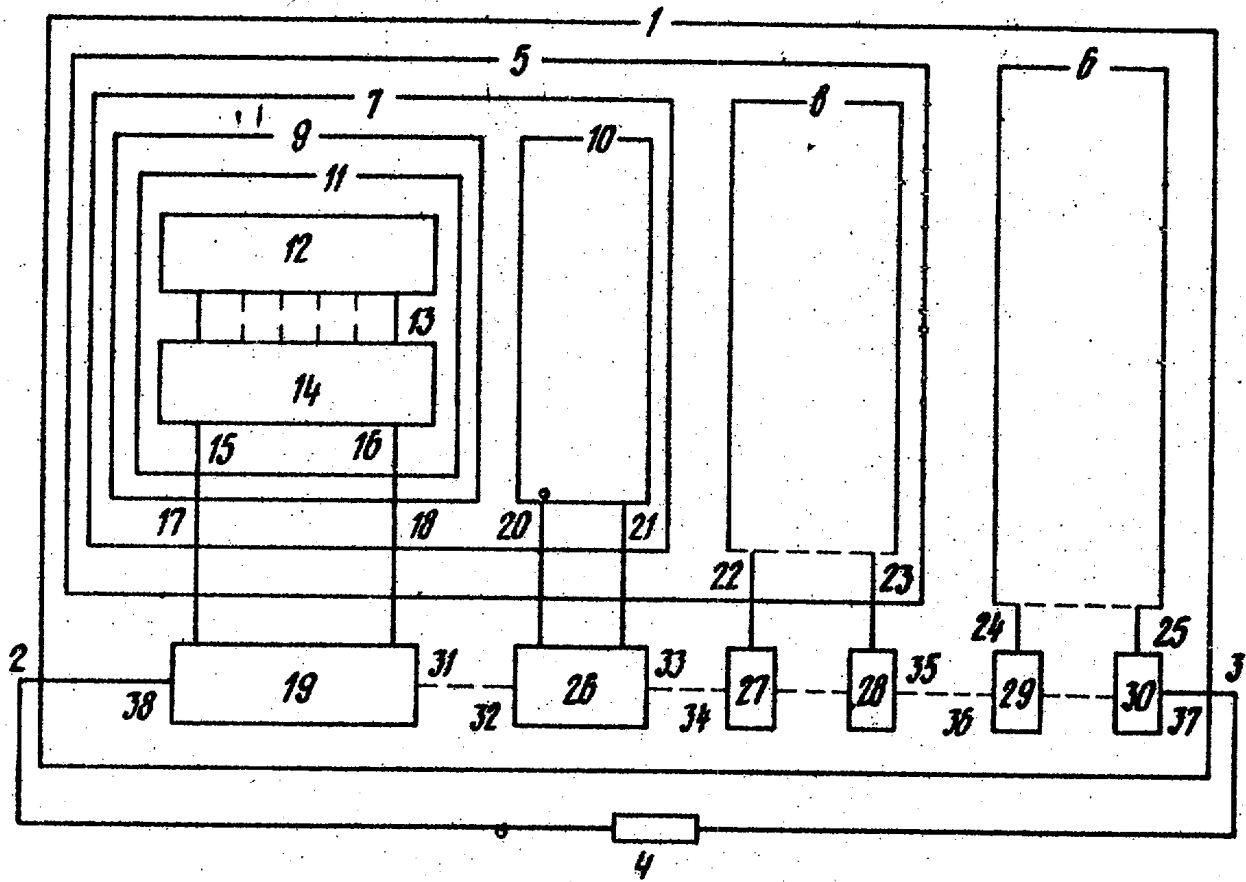
принятые во внимание при экспертизе

1. Терентьев Б.П. Электропитание радиоустройств. М., "Связь", 1948, с. 52, 57, 69.

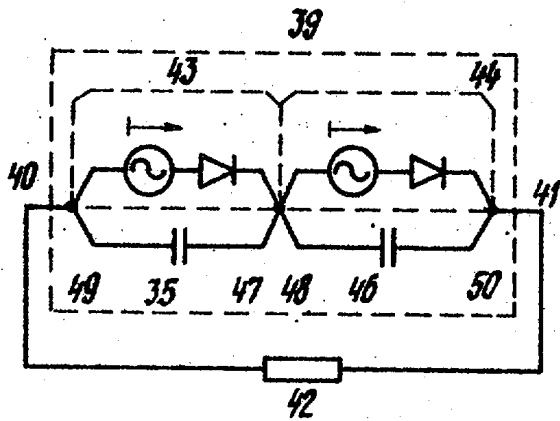
2. Журнал "Вопросы радиоэлектроники", сер. ЭВТ, 1970, вып. 9.

3. Устройства вторичного электропитания РЗА. Материалы семинара. М., МДНТП, 1976.

4. Белополюский И.И., Тихонов В.И. Транзисторные стабилизаторы на повышенные и высокие напряжения. М., "Энергия", 1971, с. 60.

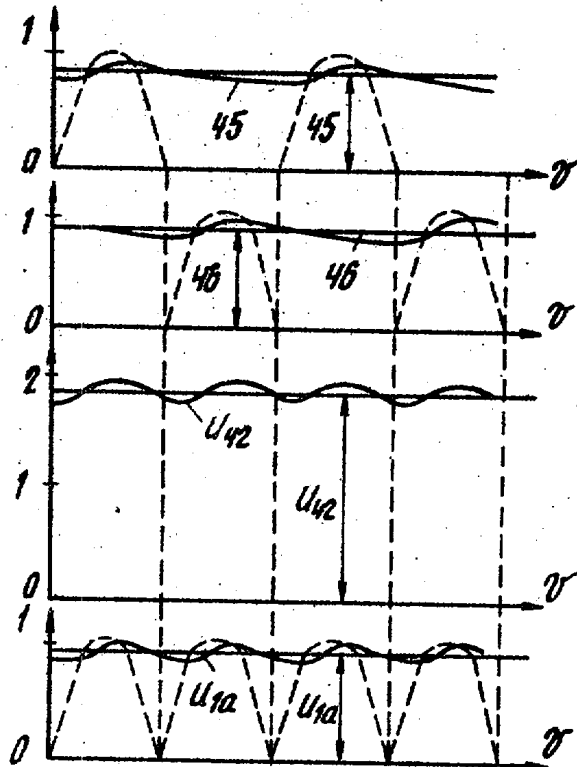


Фиг. 1

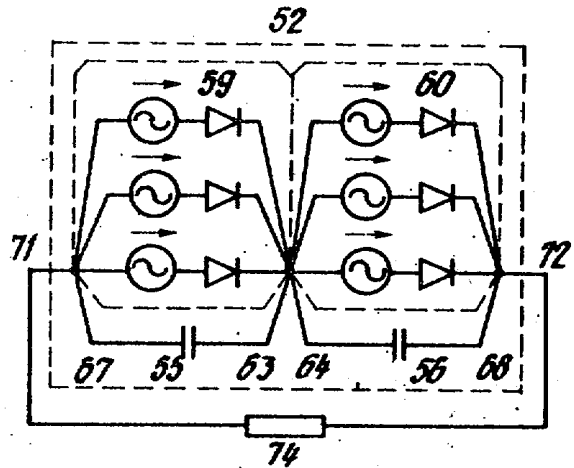
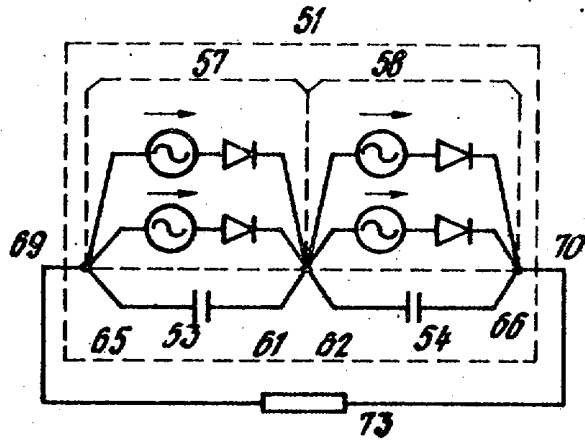


$N=2, n_x=1, m_x=1, l_x=2, \nu_{xi}=1$
 a

δ

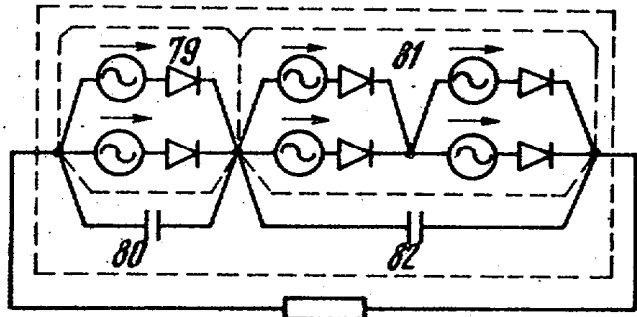
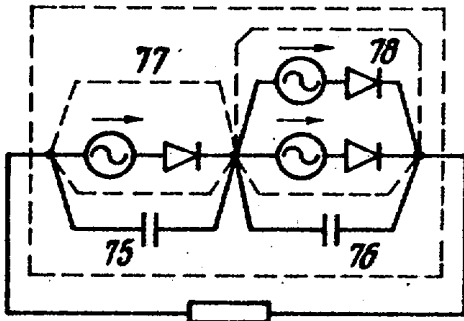


Фиг. 2



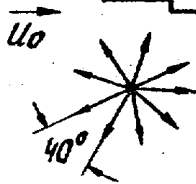
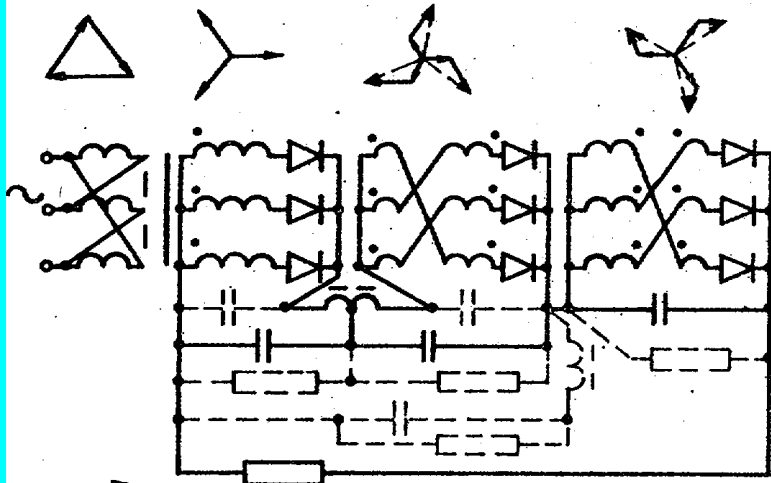
a. $N=4, m_x=1, \mu_x=1, i_x=2, \gamma_{x1}=2$

б. $N=6, m_x=1, \mu_x=1, i_x=2, \gamma_{x1}=3$



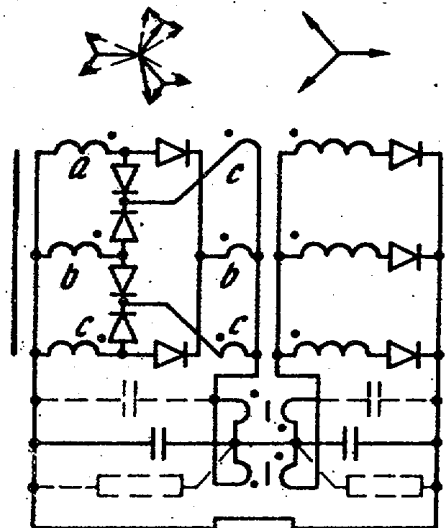
в. $N=3, m_x=1, \mu_x=1, i_x=2, \gamma_{x1}=1, \gamma_2=2$ Фиг.3

г.



a

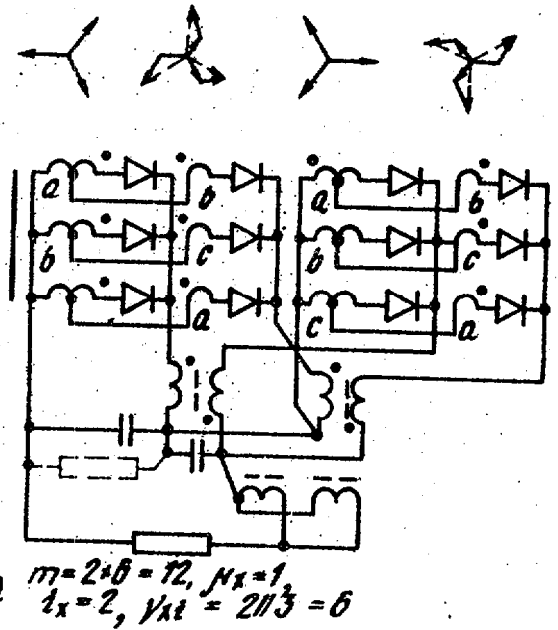
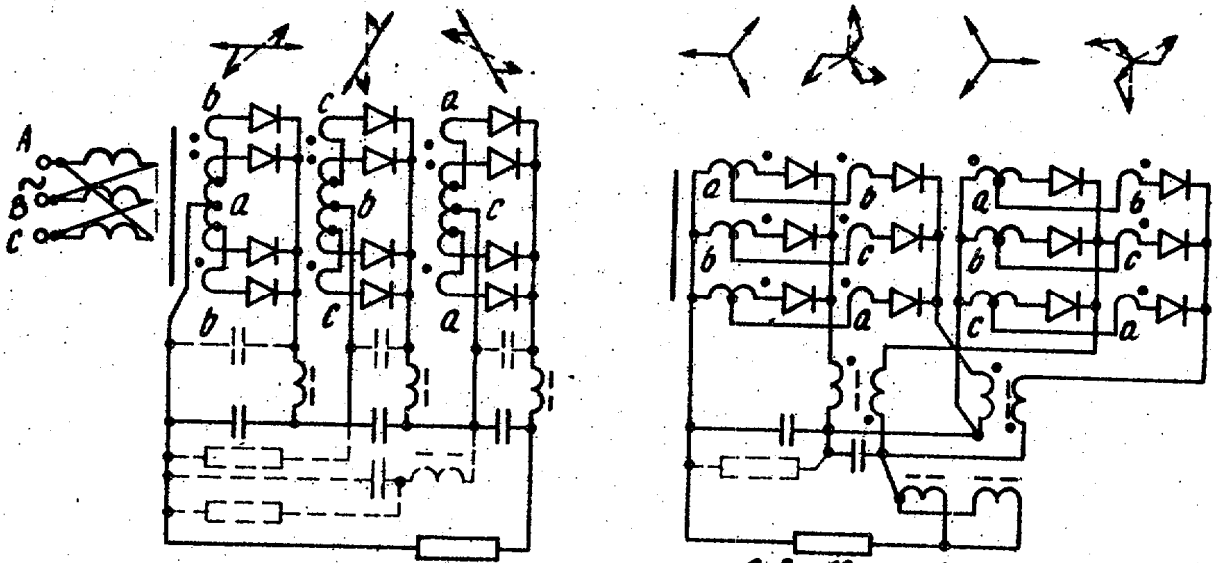
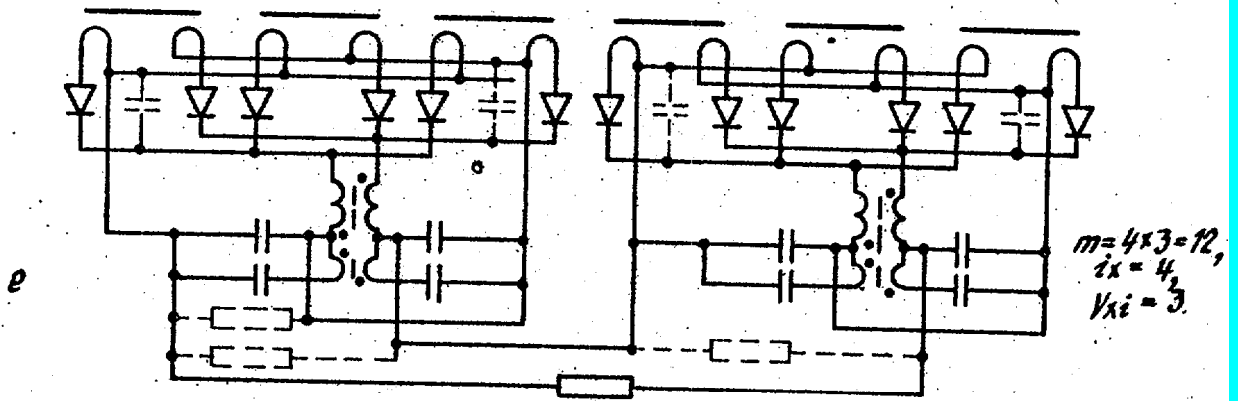
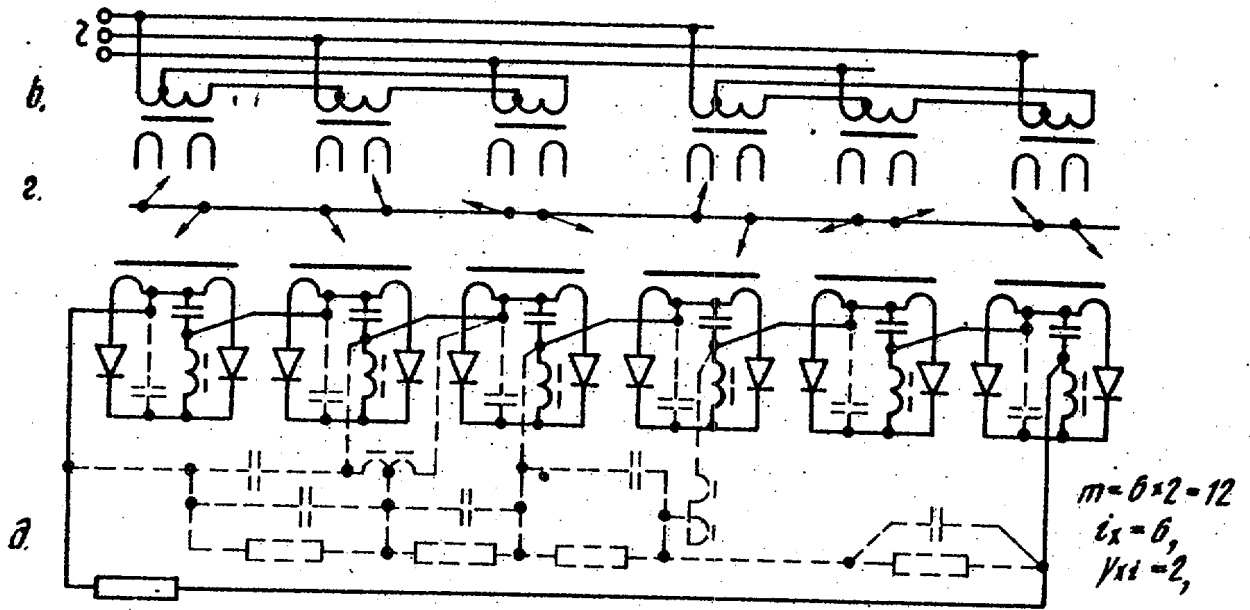
$m=3 \times 3=9, \mu_x=1,$
 $i_x=3, \gamma_{x1}=3$
 $(\mu_x=2, i_{x1}=1, i_{x2}=2$
 $\gamma_{x1}=3, \gamma_{x2}=3)$



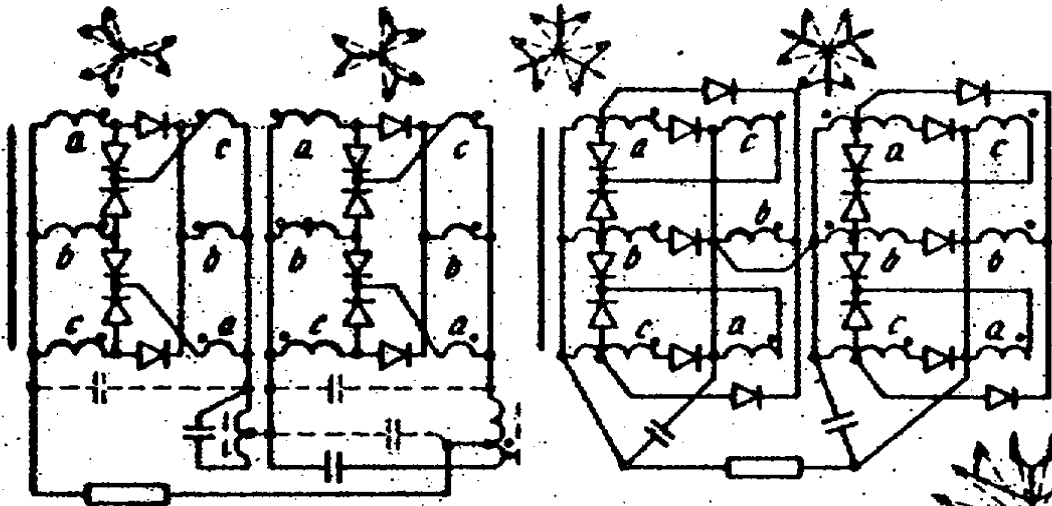
$m=1 \times 6 + 1 + 3 = 9, \mu_x=1,$
 $i_x=2, \gamma_{x1}=2/3=6, \gamma_{x2}=3$

б.

Фиг.4

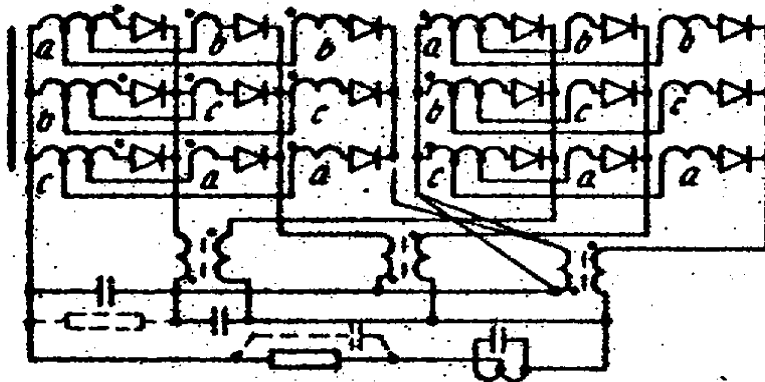
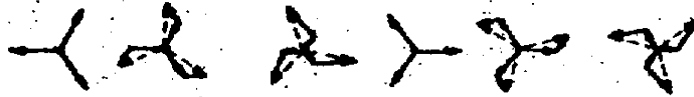


Фиг. 4

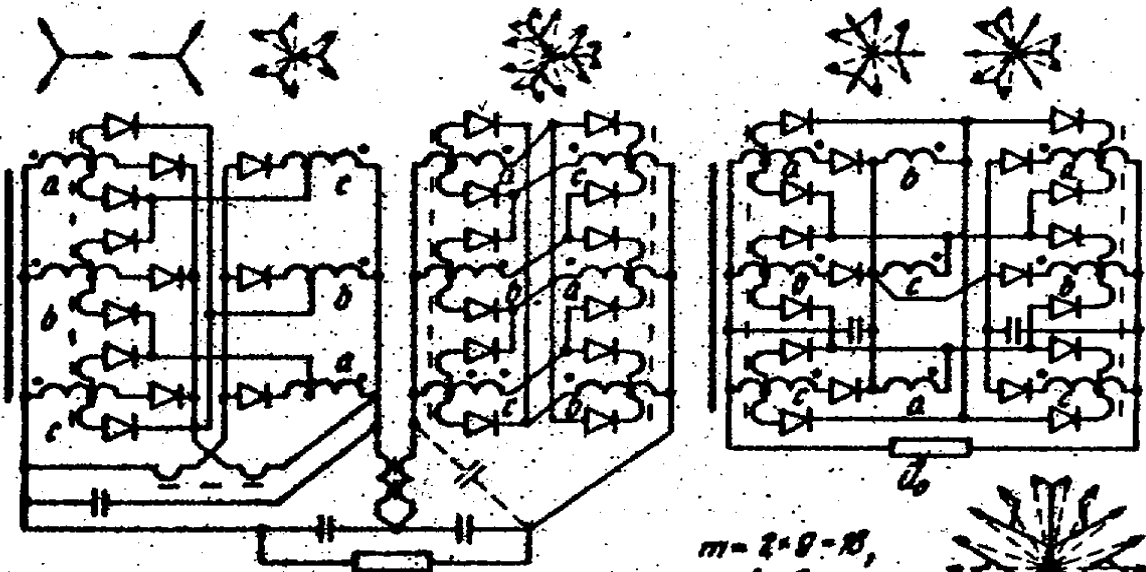


U. $m=2 \cdot 6=12, \mu_k=1,$
 $i_k=2, \gamma_{ki}=2N3=6$

Н. $m=2 \cdot 9=18,$
 $i_k=2, \gamma_{ki}=3N3=9$



$m=2 \cdot 9=18,$
 $\mu_k=1$
 $i_k=2$
 $\gamma_{ki}=3N3=9$

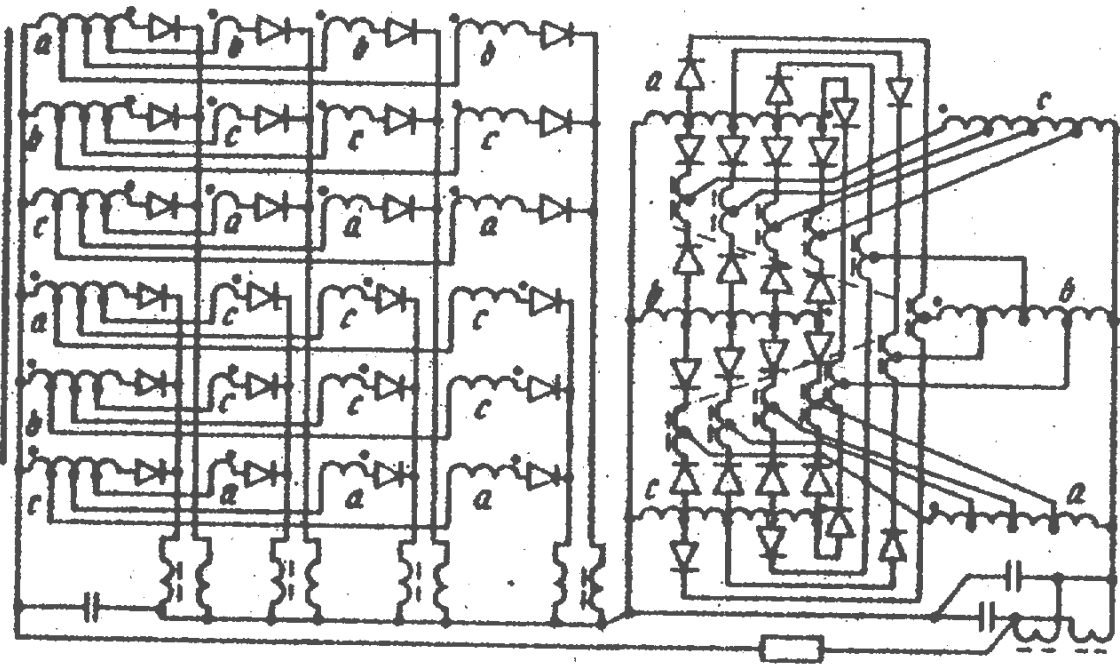
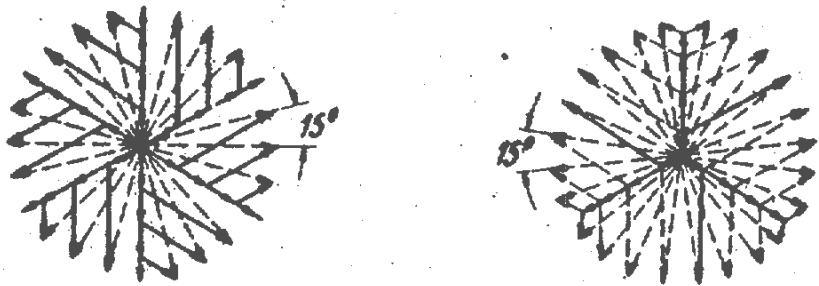
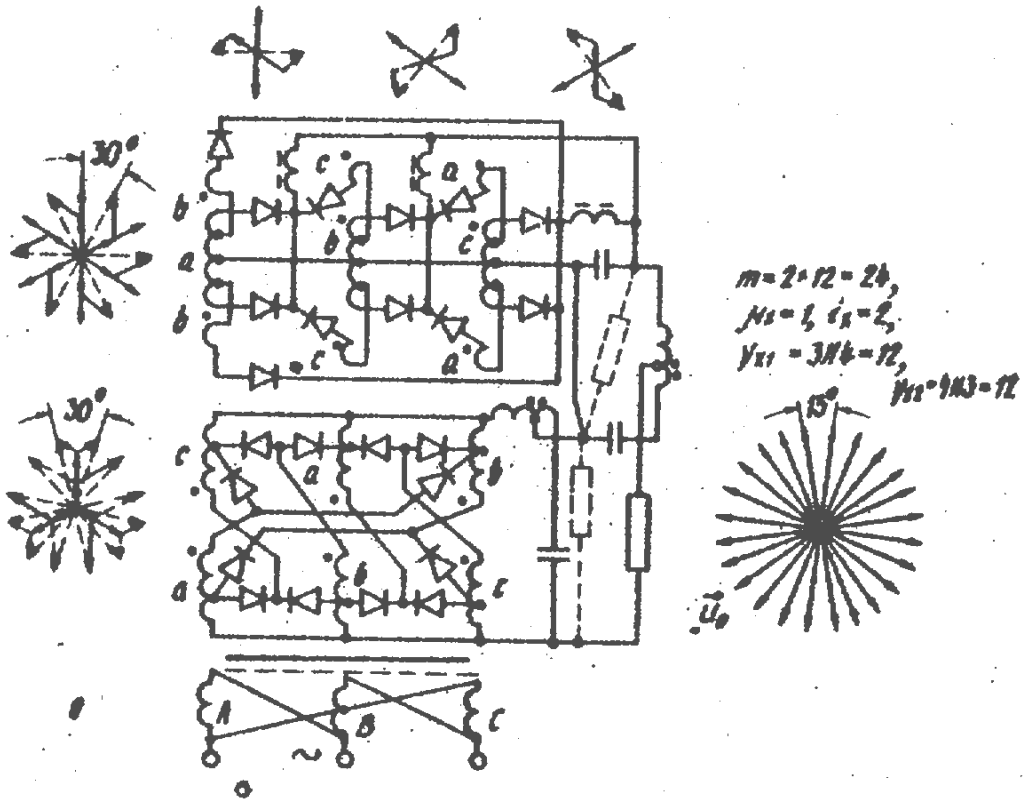


U. $m=2 \cdot 12=24, \mu_k=1, i_k=2,$
 $\gamma_{ki}=(2N3)N(1N3)=12, \gamma_{ki}=12$

Н. $m=2 \cdot 9=18,$
 $i_k=2,$
 $\gamma_{ki}=3N3=9$

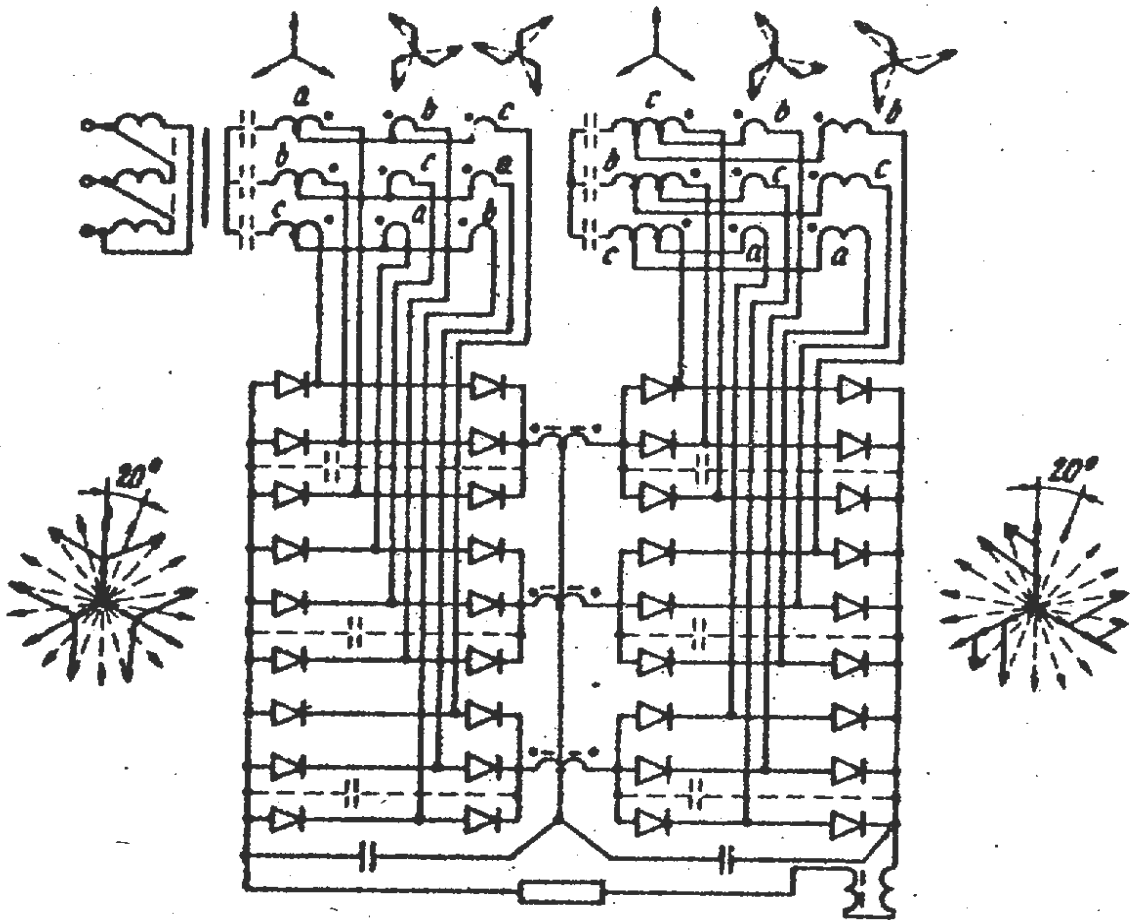
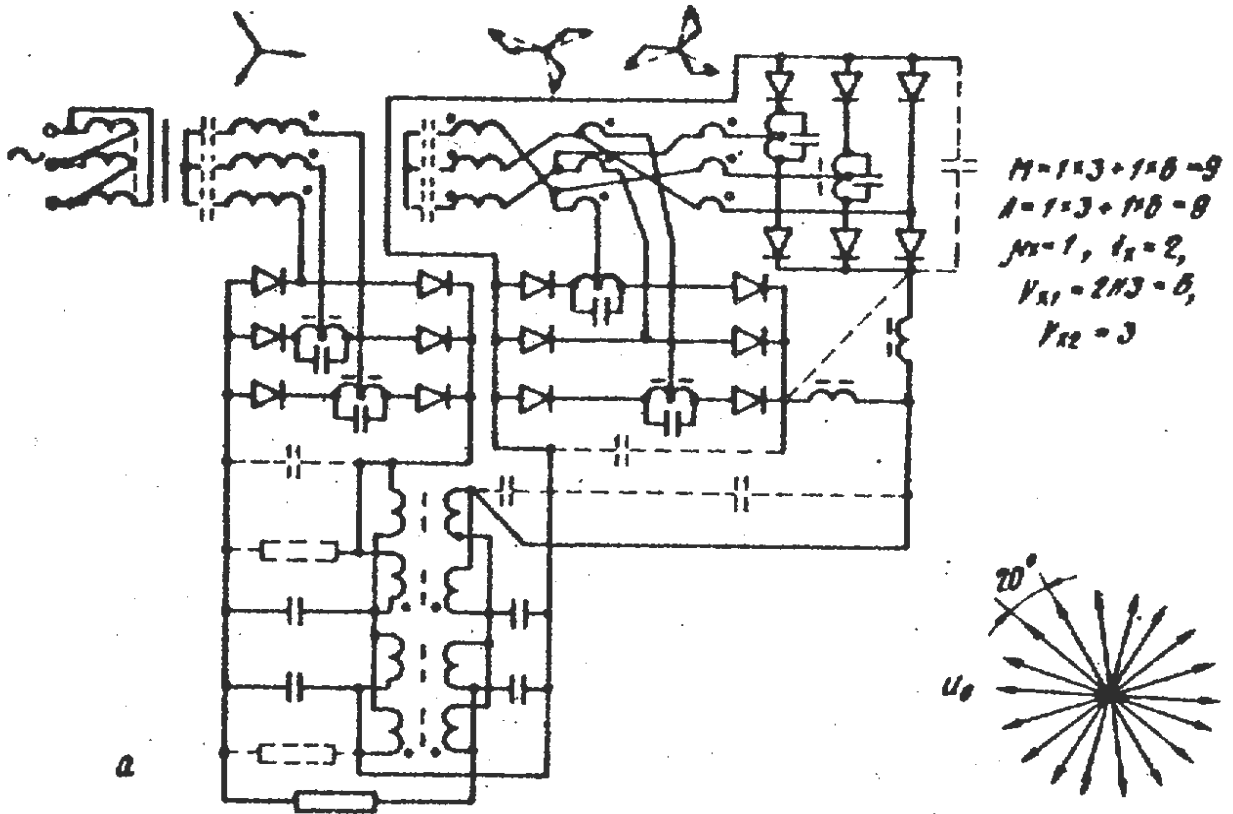


Фиг. 4

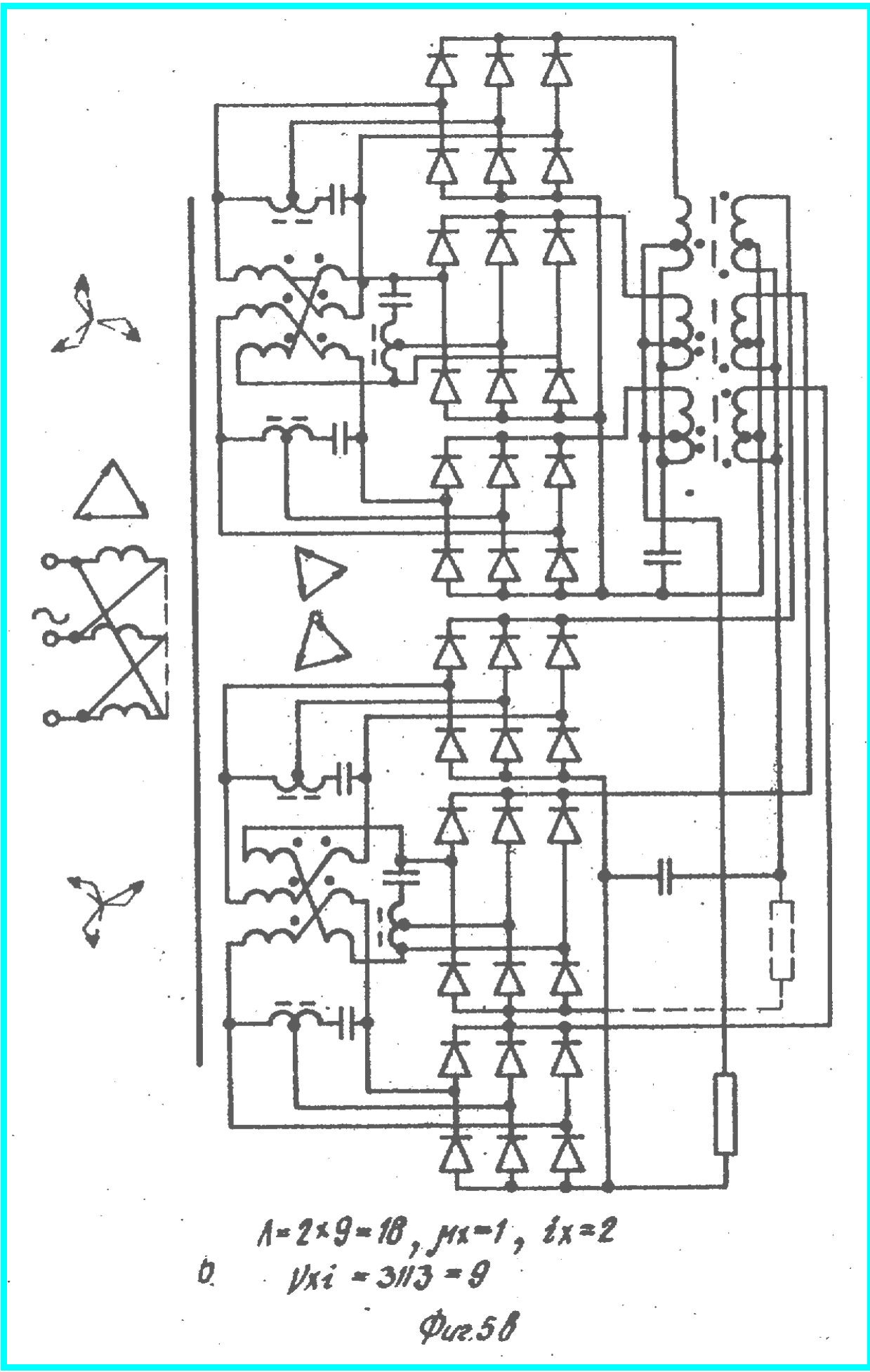


$n. m = 2 \cdot 20 = 40, \mu_s = 1, i_s = 2, \nu_{11} = 8M3 = 24,$

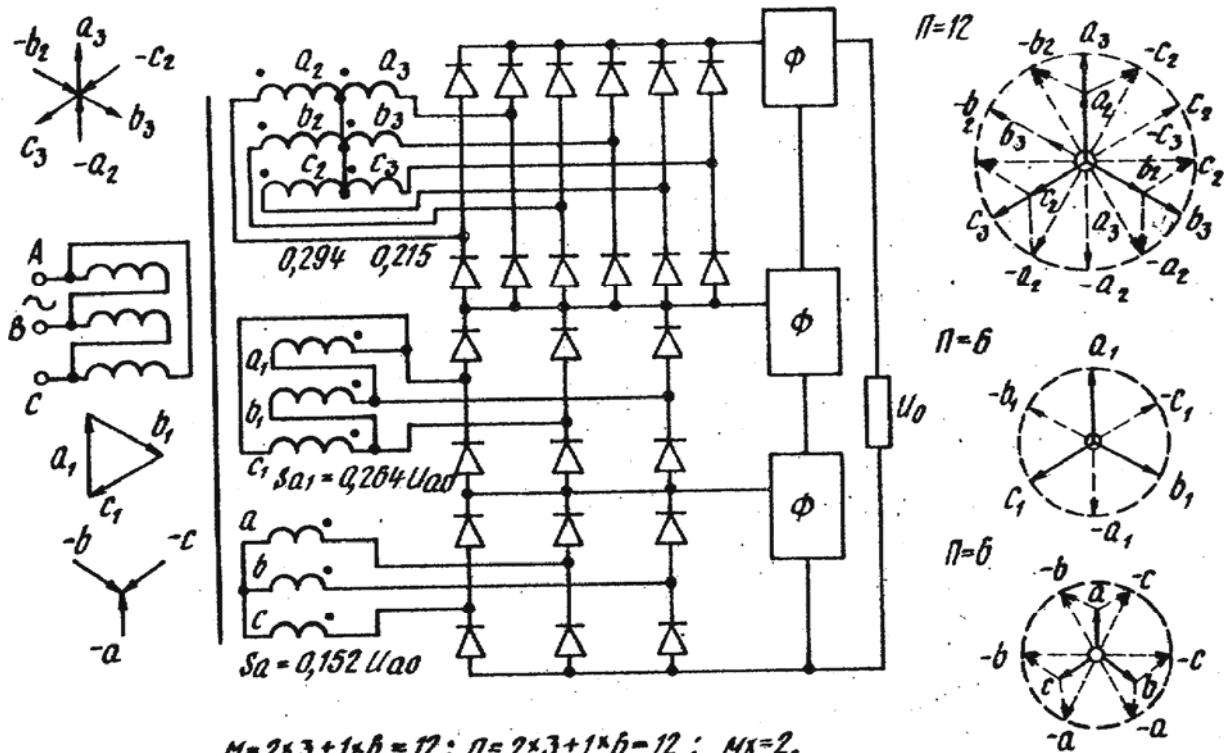
Фиг. 9



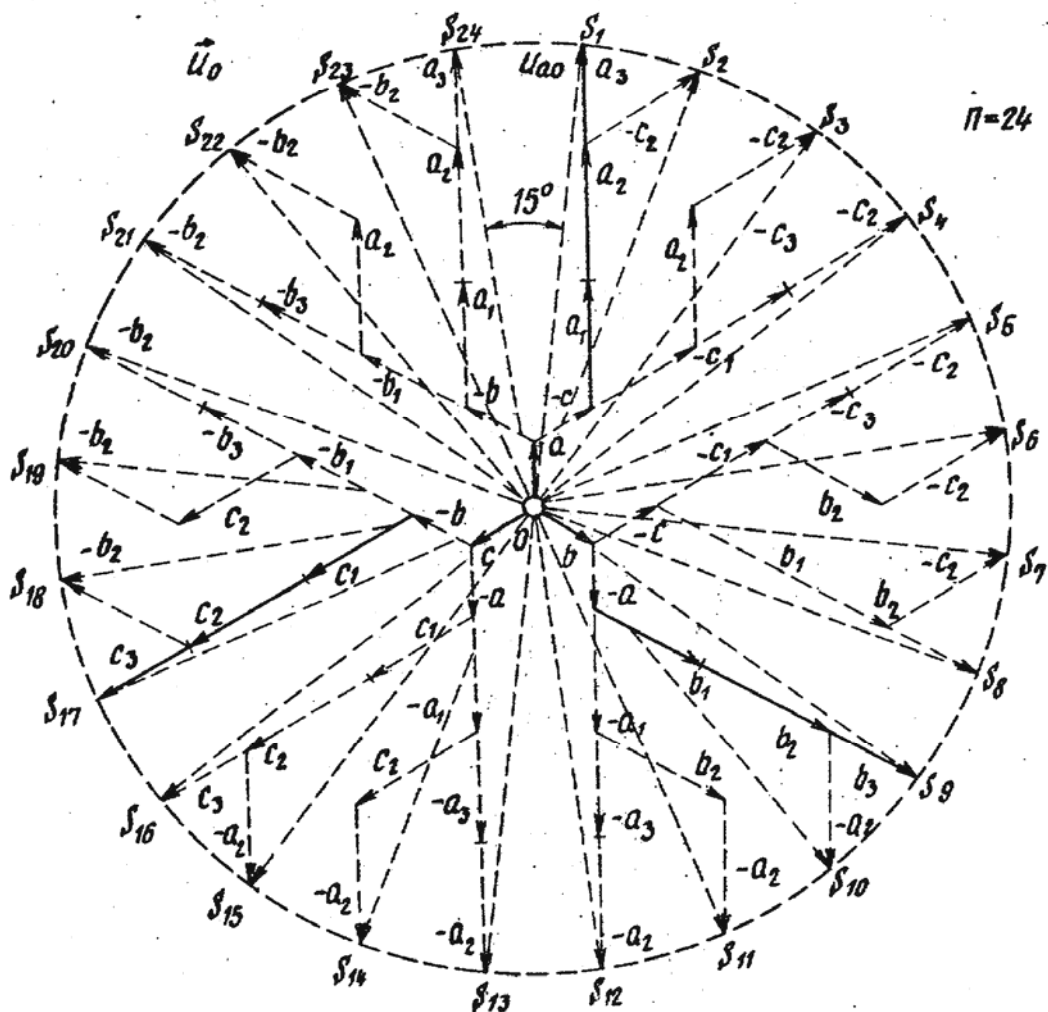
б $N = 2 \times 5 = 10, A = 2 \times 5 = 10,$
 $M = 1, i_1 = 2, V_{X1} = 3 \times 3 = 9$
 Фиг. 5



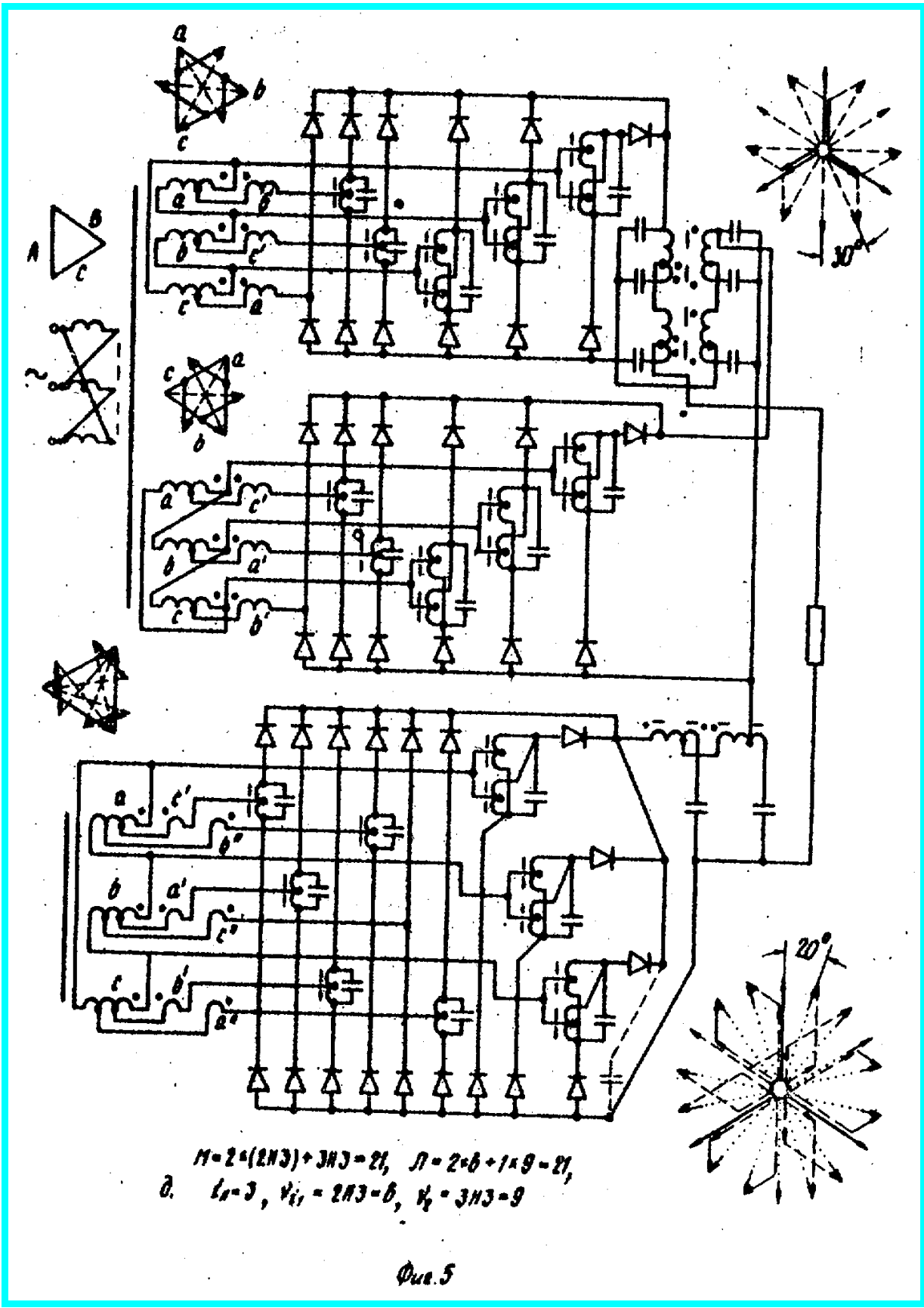
$\lambda = 2 \times 9 = 18, \mu x = 1, ix = 2$
 $V_{xi} = 3113 = 9$
 Фур.5б



$M = 2 \times 3 + 1 \times 6 = 12$; $\Pi = 2 \times 3 + 1 \times 6 = 12$; $M \times \kappa = 2$,
 $i_{x1} = 2$, $i_{x2} = 1$, $v_{i1} = 3$, $v_2 = 6$, $B = 24$, $\Pi = 24$



Фиг. 52



ВНИИПИ Заказ 7023/74 Тираж 721 Подписное

 Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4