Repin. AC to DC high-voltage converter.

А. М. Репин. Преобразователь переменных напряжений в постоянное. // Гос. Ком. Изобр. Откр. (ГКИО СССР). Авт.Свид.Из. (АСИ СССР). № SU 928569. БИ. № 18. 15.5.1982. Заявл. 10.4.1980. № 2906661/24-07. Международный Класс H02M7/10.

Анонс. Впервые при авторском дизайне и с Авторским Свидетельством (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

№ 928569

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий выдал настоящее авторское свидетельство на изобретение:

"Преобразователь переменных напряжений в постоянное"

Автор (авторы): Репин Аркадий Михайлович

Заявитель:

Заявка № 2906661 Приоритет изобретения 10 апреля 1980г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР

14 января 1982г.

Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР.

Председатель Комитета

Начальник отдела

Союз Советских Социалистических Республик

Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 928569

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 10.04.80 (21) 2906661/24-07

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 15.05.82. Бюллетень № 18

Дата опубликования описания 15.05.82

(51) М. Кл.[3] H 02 M 7/1

(53) УДК 621,314.6(088.8)

(72) Автор изобретения А.М.Репин

(71) Заявитель -

(54) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОСТОЯННОЕ

1

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано для преобразования электрической энергии во вторичных источниках электропитания, преимущественно для получения сравнительно высокого напряжения при наличии более низковольтных модулей.

Известны 1-, 2-, 3-, m-лучевые вентильные преобразователи переменного напряжения в постоянное, содержащие m источников переменных ЭДС, сдвинутых по фазе на $360^{\circ}/m$ относительно друг друга; и вентили, образующие m однолучевых выпрямителей, соединенных в параллель, каждый из которых состоит из последовательно соединенных одной из ЭДС и вентиля, причем последние имеют одинаковое направление включения во всех лучах, а к выходу преобразователя подключена нагрузка [1],[2] и [3].

Недостатками этих лучевых преобразователей являются сравнительно небольшая (не более $2\pi/m$) длительность открытого состояния вентиля, ограничивающая коэффициент его использования во времени, невысокое (менее амплитуды S_a ЭДС) значение среднего напряжения U_o на нагрузке при заданном значении S_a, сравнительно большое значение амплитуды S_a, требующееся для обеспечения заданного значения U_o, и, как следствие, определенные технические трудности при обеспечении надежной изоляции вторичных обмоток трансформатора в случае высоковольтной нагрузки, приводящие к увеличению его массо-габаритных и стоимостных показателей (МГСП); получение низкого напряжения U_o и необходимость ограничения амплитуды S_a в случаях наличия вентилей с данной допустимой амплитудой $U_{a\,обр}$ обратного напряжения, как следствие, необходимость использования последовательного соединения вентилей в каждом луче, приводящая к увеличению МГСП вентильного блока, особенно

2

при необходимости установки теплоотводящих радиаторов; сравнительно высокие МГСП преобразователя в целом, обусловленные указанными выше факторами; а также невозможность получения от одного преобразователя разных по уровню напряжений для питания ряда нагрузок.

Наиболее близким к изобретению является ступенчато-лучевой преобразователь, содержащий соединенные последовательно разнополярными выходами лучевые ступени, к свободным выходам которых подключена нагрузка [4].

Однако вследствие крайне скудного числа известных схемных структур ступенчато-лучевого типа, содержащих к тому же одинаковое и равное двум или трем число лучей в каждой ступени, они обладают весьма ограниченными возможностями, в связи с чем указанные выше недостатки в целом сохраняются.

Цель изобретения - расширение функциональных возможностей, улучшение качественных и режимно-энергетических показателей, а именно увеличение длительности открытого состояния вентилей, превышающей присущее для m-лучевых схем значение, равное $2\pi/m$ при $m>1$ и π при $m=1$, снижение амплитуды фазных ЭДС и амплитуды обратного напряжения на вентилях, влияющих на их массо-габаритные, стоимостные и надежностные показатели, повышение амплитудного и среднего значений напряжения на нагрузке без увеличения преобразуемого напряжения, уменьшение числа вентилей при их последовательном соединении, требующемся в случае необходимости надежного перекрытия возникающего на вентильном плече обратного напряжения, возможность обеспечения питанием многоканальной нагрузки без принятия специальных мер (дополнительных устройств) и, следовательно, без дополнительных потерь энергии, возможность построения более высоковольтных схем на основе сравнительно низковольтных схем лучевого типа, возможность построения любого количества конкретных схемных структур ступенчато-лучевого типа.

Поставленная цель достигается тем, что в преобразователе переменных напряжений в постоянное, содержащем m источников переменных ЭДС и вентили, образующие m-лучей, каждый из которых состоит из последовательно соединенных одного из указанных источника ЭДС и вентиля, причем последние имеют одинаковое направление включения во всех лучах, объединенных в ступени, которые содержат параллельно включенные лучи и соединены между собой последовательно разнополярными выходами, а к свободным выходам первой и последней ступеней подключена нагрузка, все ступени объединены в группы, группы - в звенья, соединенные между собой последовательно, при этом в каждую i_μ-ю ступень включено $\nu_{xi\mu}$ лучей, $i_{x\mu}$ таких ступеней соединены в μ-ю группу с общим числом μ_x групп в n-ном звене, каждое из которых содержит одинаковое число μ_x групп и ν_{xn} лучей так, что $m=n_x\nu_{xn}$ - общее число лучей;

$\nu_{xn}=\sum_{\mu=1}^{\mu_x}\nu_{x\mu}$ - число лучей в n-м звене;

$\nu_{n\mu}=\sum_{i\mu=1}^{i_{x\mu}}\nu_{xi\mu}$ - число лучей в μ-й группе любого звена;

$\nu_{xi\mu}$ - число лучей в i-й ступени μ-й группы;

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

Кроме того, с целью снижения потерь мощности при обеспечении питания ряда нагрузок, последние подключены к выходам соответствующих ступеней как с одинаковым, так и с разными уровнями напряжения, с общей и/или разными потенциальными точками.

При этом на источник переменных ЭДС не накладывается каких-либо ограничений в части способа формирования таких ЭДС. Они могут быть сформированы различным образом - непосредственно или комбинационно.

В первом случае переменная ЭДС включается в луч непосредственно с выхода формирователя или генератора однофазного переменного напряжения или с данной обмотки преобразовательного трансформатора, с обмотки электрической машины. Во втором случае переменная ЭДС формируется путем комбинации сдвинутых по фазе непосредственных ЭДС и/или их частей, например, соединением основных обмоток и/или их частей (отводов) или дополнительных обмоток с обеспечением необходимого фазового сдвига для результирующей ЭДС по отношению к таким же ЭДС других лучей. Причем векторы одних и тех же основных обмоток и/или их частей могут участвовать в формировании разных фазосдви-

нутых векторов переменных ЭДС как данной, так и различных ступеней.

На фиг. 1 изображена структурная схема устройства; на фиг. 2-6 - принципиальные электрические схемы простейших его реализаций при числе $m=9$ (фиг. 2,3), $m=12$ (фиг. 4), $m=18$ (фиг. 5), $m=24$ (фиг. 6).

Преобразователь 1 (фиг. 1) с подключенной к его выходам 2 и 3 нагрузкой 4 содержит n_x звеньев 5-6 от первого 5 по n_x-е 6 звено, каждое из которых состоит из μ_x групп 7-8 от первой 7 по μ_x-ю 8 группу с $i_{x\mu}$ ступенями 9-10 от первой 9 по $i_{x\mu}$-ю 10 ступени в каждой группе 7-8 и с $\nu_{xi\mu}$ лучами 11, соединенными в параллель в каждой ступени 9-10, причем каждый $\nu_{i\mu}$-й луч 12 содержит последовательно соединенные одну из m ЭДС 13 и вентиль 14 при их одинаковом со всеми остальными лучами 11 направлением включения, а все образованные указанным способом ступени соединены между собой последовательно разнополярными выводами 15-20, и свободные выводы 21 и 22 являются выходами 2 и 3 преобразователя 1.

При этом общее число m лучей равно числу $n_x \nu_{xn}$,

где $\nu_{xn}=\sum_{\mu=1}^{\mu_x} \nu_{x\mu}$ - число лучей в n-м звене;

$\nu_{x\mu}=\sum_{i\mu=1}^{i_{x\mu}} \nu_{xi\mu}$ - число лучей в μ-й группе любого n-го звена;

$n_x, \mu_x, i_{x\mu}, \nu_{xi\mu}$ - соответственно число звеньев в преобразователе групп в n-м звене, ступеней в μ-й группе, лучей в i-й ступени μ-й группы;

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

Общее число ступеней равно

$$i_x = n_x \sum_{\mu=1}^{\mu_x} i_{x\mu} \qquad (1)$$

Так как все ступени и нагрузка соединены между собой последовательно, то при протекании тока через нагрузку хотя бы один из вентилей каждой ступени открыт, и нагрузка оказывается под напряжением, равным геометрической сумме токообразующих ЭДС всех i_x ступеней. Из числа $\nu_{xi\mu}$ вентилей и соответствующих им ЭДС $\nu_{i\mu}$-го луча i_μ-й ступени ток проводит тот $\nu_{i\mu}$-й вентиль, $\nu_{i\mu}$-я ЭДС которого имеет в данный момент наиболее (относительно положительного направления) значение по сравнению с остальными ЭДС данной i_μ-й ступени.

Поскольку эти остальные ЭДС i_μ-й ступени определяют в любой момент потенциал подключенных к ним электродов соответствующих вентилей, то, будучи в данный момент меньшими по значению, чем ЭДС открытого вентиля, они между катодами и анодами этих вентилей образуют с этой ЭДС положительную разность потенциалов, запирая их.

Следовательно, при открытом одном из $\nu_{xi\mu}$ вентилей данной i_μ-й ступени остальные $\nu_{xi\mu}-1$ вентилей закрыты, и амплитуда U_{a0} напряжения U_0 на нагрузке равна не арифметической сумме амплитуд S_{ai} i-х ЭДС S_i, определяемой как

$$U'_{a0} = n_x \sum_{i=1}^{i_x} S_{ai}, \qquad (2)$$

или (при амплитудно-фазовой симметрии ЭДС, когда $S_{ai} = S_a$) как

$$U'_{a0} = i_x S_a, \qquad (2)$$

а равна модулю /mod $\vec{U}_0$/ вектора $\vec{U}_0$, равного векторной сумме i_x ЭДС S_i, проводящих в данный момент ток, или, иначе, сумме векторов $\vec{S}_i$ этих i-х ЭДС всех i_x ступеней,

$$U_{a0} = \mathrm{mod}\, \vec{U}_0; \qquad (3)$$

$$\vec{U}_0 = \sum_{i=1}^{i_x} \vec{S}_i, \qquad (4)$$

или, при синусоидальной форме ЭДС и $S_{ai} = S_a$, $\nu_{xi\mu} = \nu_{x0}$

$$U_{a0} = S_a \sin Q_\nu / \sin Q, \qquad (5)$$

где i_x - определяется из (1), а

$$Q_\nu = \pi/\nu_{x0}, \quad Q = \pi/m \qquad (6)$$

из (2-6) очевидно, что $U_{a0} < U'_{a0}$ и при определенных амплитудно-фазовых соотношениях ЭДС амплитуда U_{a0} всегда больше $S_{a\,min}$ или, при $S_{ai\mu} = S_a$, всегда больше (равна) S_a.

Таким образом последовательное соединение лучевых ступеней позволяет при определенных условиях увеличить напряжение U_0 на нагрузке в $A=U_{a0}/S_a$ раз по отношению к амплитуде S_a ЭДС лучевых преобразователей, либо обеспечить в А раз меньшей амплитудой одинаковую с прототипом амплитуду U_{a0}.

Соответствующим образом в преобразователе снижена амплитуда U_{aoo} обратного напряжения на вентиле, определяющая его вентильную прочность, что позволяет использовать значительно менее высоковольтные и, значит, с лучшими МГСП силовые вентили.

При этом длительность $\lambda_{i\mu}$ открытого состояния $\nu_{i\mu}$-го вентиля, будучи при $\nu_{xi\mu} > 1$ не менее $2\pi/\nu_{xi\mu}$, в связи с $\nu_{xi\mu} < m$ всегда больше значения

$2\pi/m$, соответствующего известным m-лучевым преобразователям, что по сравнению с последними улучшает использование вентилей в предлагаемом устройстве по времени их работы.

Более того, в соответствии с условием проводимости вентилей ($U_0 > 0$) вентили некоторых ступеней, в том числе однолучевых, могут, согласно (4), быть открыты даже в тех случаях, когда ЭДС данной ступени имеет отрицательное значение. Это приводит к дальнейшему увеличению длительности $\lambda_{i\mu}$ соответствующих вентилей, обеспечивая еще одно отличие решения от всех известных.

Так как каждая степень устройства представляет собой один из известных преобразователей лучевого типа, то указанная возможность работы вентилей при отрицательных значениях ЭДС, и, соответственно, большая чем $2\pi/\nu_{xi\mu}$ (в однолучевых ступенях - большая, чем π, в том числе равная 2π) длительность $\lambda_{i\mu}$ открытого состояния $\nu_{i\mu}$-го вентиля, является принципиально важной особенностью преобразователя, отличающей его от известных преобразователей лучевого и ступенчато-лучевого типов, что также предопределяет более широкие функциональные возможности устройства.

Увеличение длительности открытого состояния вентилей в преобразователе наряду с уменьшением обратного напряжения на них улучшает использование устанавливаемых в устройство вентилей. Все это приводит к конечному итоге к улучшению массо-габаритных, стоимостных и надежностных показателей трансформаторов, вентилей, системы охлаждения (теплоотвода), всего устройства в целом.

На фиг. 2 приведены принципиальные электрические схемы и соответствующие им векторные диаграммы трех- (фиг. 2а) и двух (фиг. 2б) ступенчатых девятилучевых преобразователей, выполненных (фиг. 1) на одном трехфазном или трех однофазных трансформаторах при соблюдении следующих условий реализации: $m=9$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=3$, $\nu_{x1}=3$ (фиг.2а) и $m=9$, $n_x=1$, $\mu_x=1$, $i_x=2$, $\nu_{x1}=3$, $\nu_{x2}=6$ (фиг. 2б) или равноценных им условий: $m=9$, $n_x=1$, $\mu_x=3$, $i_{x\mu}=1$, $\nu_{x\mu}=3$ (фиг. 2а) и $m=9$, $n_x=1$, $\mu_x=2$, $i_{x\mu}=1$, $\nu_{x1}=3$, $\nu_{x2}=6$ (фиг. 2б).

Преобразователь 1 (фиг. 2а) к выходам 2 и 3 которого подключена нагрузка 4, содержит три ступени 23, 24 и 25 трехлучевых выпрямителей, соединенных между собой последовательно разнополярными выходами и с нагрузкой 4 свободными выходами 2 и 3, являющимися выходами преобразователя 1.

В соответствии с приведенными (фиг. 2а) векторными диаграммами, ступени 24 и 25 обеспечивают по отношению к ступени 23 фазовый сдвиг ЭДС последовательно на 40 эл.град. за счет соединения основных и дополнительных частей обмоток в зигзаг.

В результате на нагрузке 4 формируется напряжение U_0, девять лучей векторной диаграммы которого, приведенных на фиг. 2а, расположены по отношению друг к другу под углом 40°. Модуль вектора, определяющий амплитуду U_{010} выходного напряжения U_0, согласно (5) равен 2,53 S_a, где S_a - амплитуда любой из девяти ЭДС.

Среднее значение U_0 напряжения U_0, определяемое как

$$U_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} U_0(\nu)\,d\nu, \qquad (7)$$

составляет $2{,}48 S_a$.

На фиг. 2б, с сохранением обозначений и типа трансформаторов (фиг.2а) показан двухступенчатый девятилучевой преобразователь, в котором шестилучевая ступень 24 образована соединением трех основных и шести дополнительных частей обмоток, соединенных в зигзаг и обеспечивающих, в соответствии с приведенными на фиг. 2б векторными диаграммами, фазовый сдвиг ЭДС на ±20 эл. град. по отношению к противополярным векторам ЭДС ступени 23.

Преобразователь (фиг. 2б) также составлен в соответствии со структурой (фиг. 1) и число m его лучей определяется из выражения, общего для любых несимметричных однозвенных схем, как

$$m = \sum_{\mu=1}^{\mu_x} \sum_{i=1}^{i_x} \nu_{xi\mu} \qquad (8)$$

Для симметричных схем, в том числе для устройства (фиг. 2а), содержащих i_x ступеней по ν_x лучей в каждой из них, число m равно

$$m = i_x \nu_x. \qquad (9)$$

Если μ-я группа содержит $i_{x\mu}$ ступеней с одинаковым внутри группы чис-

лом $\nu_{x0\mu}$ лучей в каждой i_μ-й ступени, то число определяется как

$$m = i \sum_{\mu=1}^{\mu x} i_{x\mu} \nu_{x0\mu} \quad (10)$$

В соответствии с изложенным под схемами (фиг. 2а, б) указаны необходимые данные по условиям схемной реализации структуры (фиг. 1) определению числа m согласно выражениям (9 и 10) и значения U_{a0}, ω_0 согласно выражениям (5 и 7).

На фиг. 3 приведены принципиальная электрическая схема формирования девяти ЭДС, основанная на использовании одного девятифазного (пространственного), либо трех трехфазных или девяти однофазных трансформаторов (фиг. 3а), векторные диаграммы (фиг. 3б) и варианты принципиальных электрических схем трех- (фиг. 3в), двух- (фиг. 3г) и четырех- (фиг. 3д) ступенчатых девятилучевых преобразователей, реализованных согласно общей структурной схеме (фиг. 1) и в соответствии с условиями реализации, приведенными на фиг. 3в, г, д.

Аналогичным образом реализуются другие типы ступенчато-лучевых вентильных преобразователей, некоторые принципиальные электрические схемы формирования ЭДС которых, векторные диаграммы и принципиальные электрические схемы ряда простейших их вариантов показаны на фиг. 4,5,6 с сохранением общей картины их изображения, принятой на фиг. 3, и присущего им общего свойства, обеспечивающего построение сравнительно высоковольтных преобразователей путем набора их из более низковольтных унифицированных модулей.

Последнее также характеризует расширение функционально-конструктивных возможностей решения по сравнению с известными.

Кроме того, преобразователь позволяет без принятия специальных мер, и, следовательно, без дополнительных устройств и потерь мощности в них, обеспечить питанием значительное число нагрузок, причем как с одинаковым, так и разными уровнями напряжения, с общей или разными потенциальными точками. Используемые при этом вентили могут быть как неуправляемыми, так и управляемыми, а последние - как симметрично управляемыми (в последовательности следующих друг за другом ЭДС), так и управляемыми в любой комбинационной последовательности, например, с помощью микропроцессорной системы управления.

Таким образом, реализуется ступенчато-лучевой вентильный преобразователь переменных напряжений в постоянное, в котором расширены функциональные возможности и достигнуто улучшение ряда качественных и режимно-энергетических показателей при одновременной простоте схемно-технического решения.

Формула изобретения

1. Преобразователь переменных напряжений в постоянное, содержит m источников переменных ЭДС и вентили, образующие m лучей, каждый из которых состоит из последовательно соединенных одного из указанных источника ЭДС и вентиля, причем последние имеют одинаковое напряжение включения во всех лучах, объединенных в ступени, которые содержат параллельно включенные лучи и соединены между собой последовательно разнополярными выходами, а к свободным выходам первой и последней ступеней подключена нагрузка, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью расширения функциональных возможностей, улучшения качественных и режимно-энергетических показателей, все ступени объединены в группы, группы - в звенья, соединенные между собой последовательно, при этом в каждую i_μ-ю ступень включено $\nu_{xi\mu}$ лучей, $i_{x\mu}$ таких ступеней соединено в μ-ю группу с общим числом μ_x групп в n-ом, звене, каждое из которых содержит одинаковое число μ_x групп и ν_{xn} лучей так, что

$m = n_{\mu x x} \nu_{xn}$ - общее число лучей;

$\nu_{xn} = \sum_{\mu=1}^{1x\mu} \nu_{x\mu}$ - число лучей в n-ном звене;

$\nu_{x\mu} = \sum_{i\mu=1} \nu_{xi\mu}$ - число лучей в μ-ой группе любого звена;

- число лучей в i-ой ступени μ-ой группы,

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

2. Преобразователь по п. 1, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью снижения потерь мощности при обеспечении питания ряда нагрузок, последние подключены к выходам соответствующих ступеней как с одинаковым, так и с разными уровнями напряжения, с

общей и-или разными потенциальными точками.

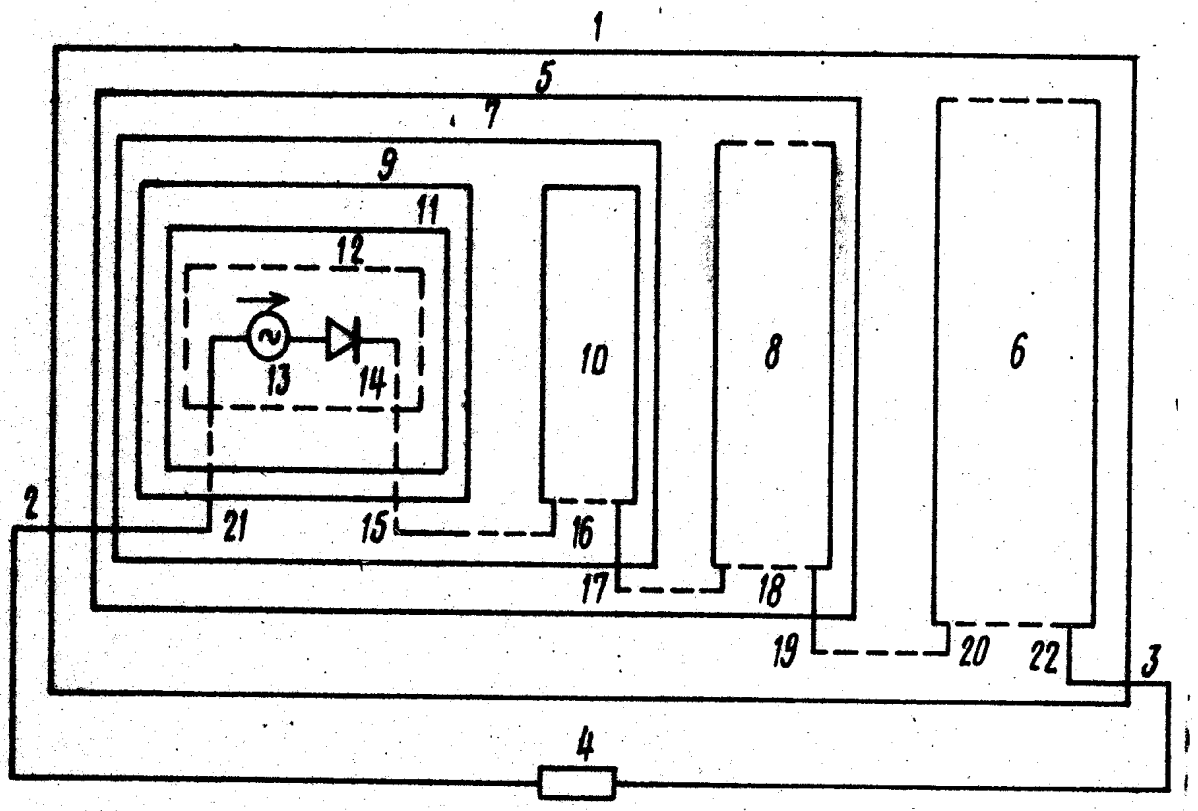
Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Белопольский И.И., Источники питания радиоустройств, М., "Энергия", 1971, с. 69.

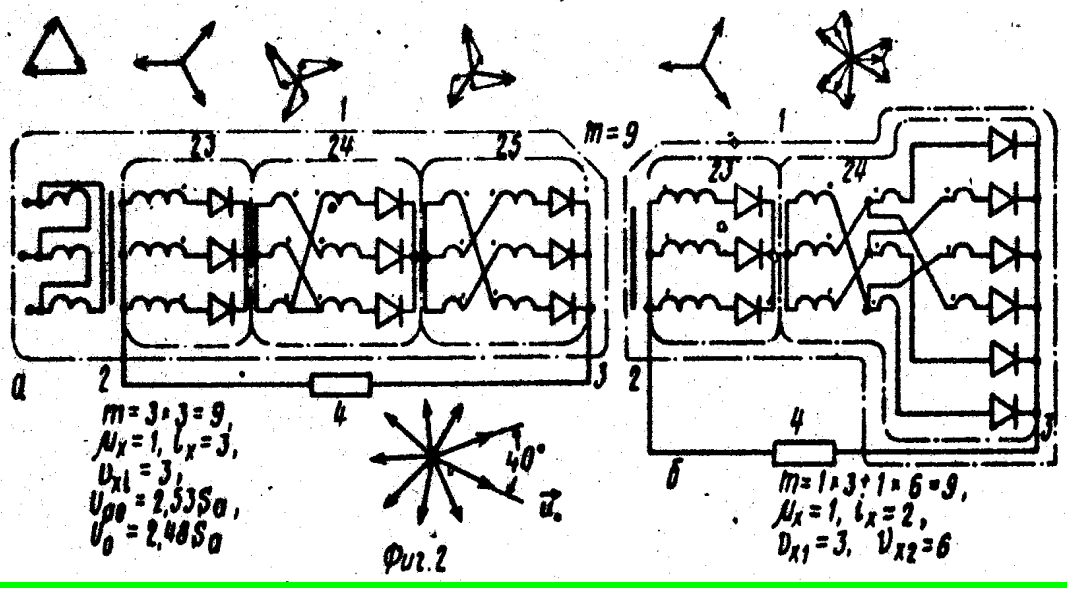
2. Белопольский И.И., Репин А.М., Христианов А.С., Стабилизаторы низких и милливольтовых напряжений.М., "Энергия", 1974, с. 8, 10, 11.

3. Журнал "Приборы и средства автоматизации", 1963, № 3, с. 180.

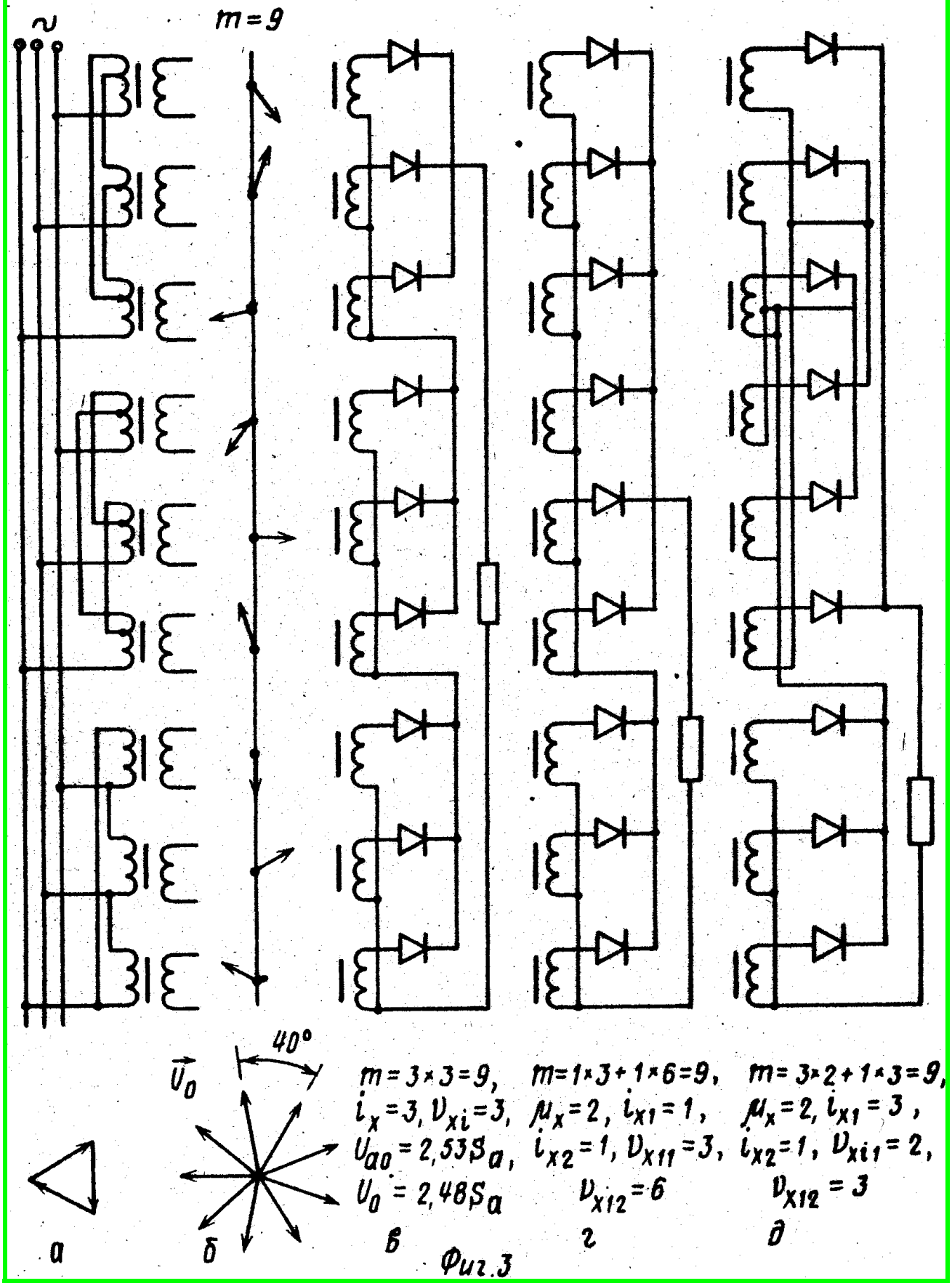
4. Патент СССР № 777, кл. Н 02 М 7/10, 1925.



Фиг.1



Фиг.2

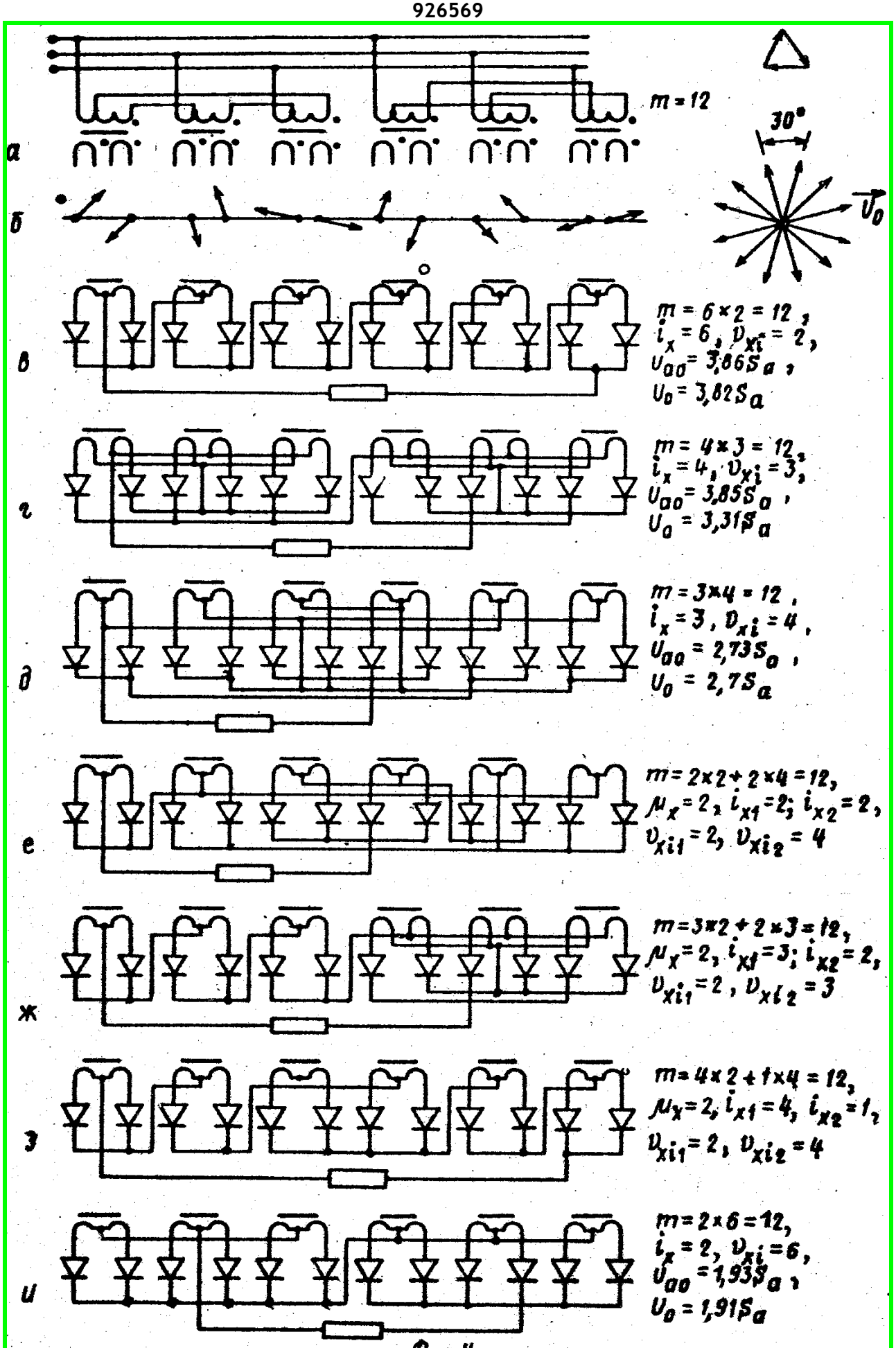


$m=3\times3=9$, $i_x=3$, $\nu_{xi}=3$, $U_{a0}=2{,}53S_a$, $U_0=2{,}48S_a$

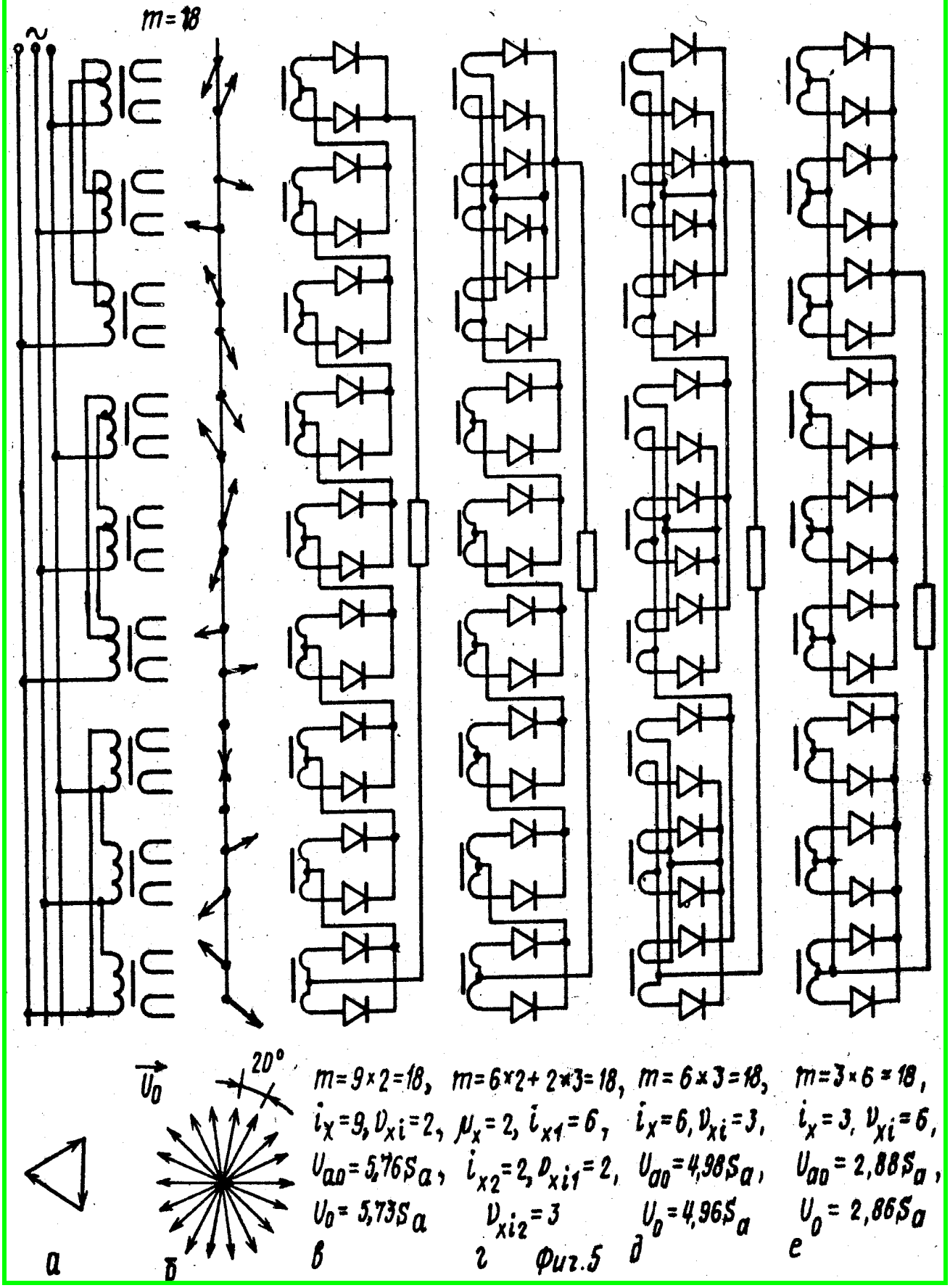
$m=1\times3+1\times6=9$, $\mu_x=2$, $i_{x1}=1$, $i_{x2}=1$, $\nu_{x11}=3$, $\nu_{x12}=6$

$m=3\times2+1\times3=9$, $\mu_x=2$, $i_{x1}=3$, $i_{x2}=1$, $\nu_{xi1}=2$, $\nu_{x12}=3$

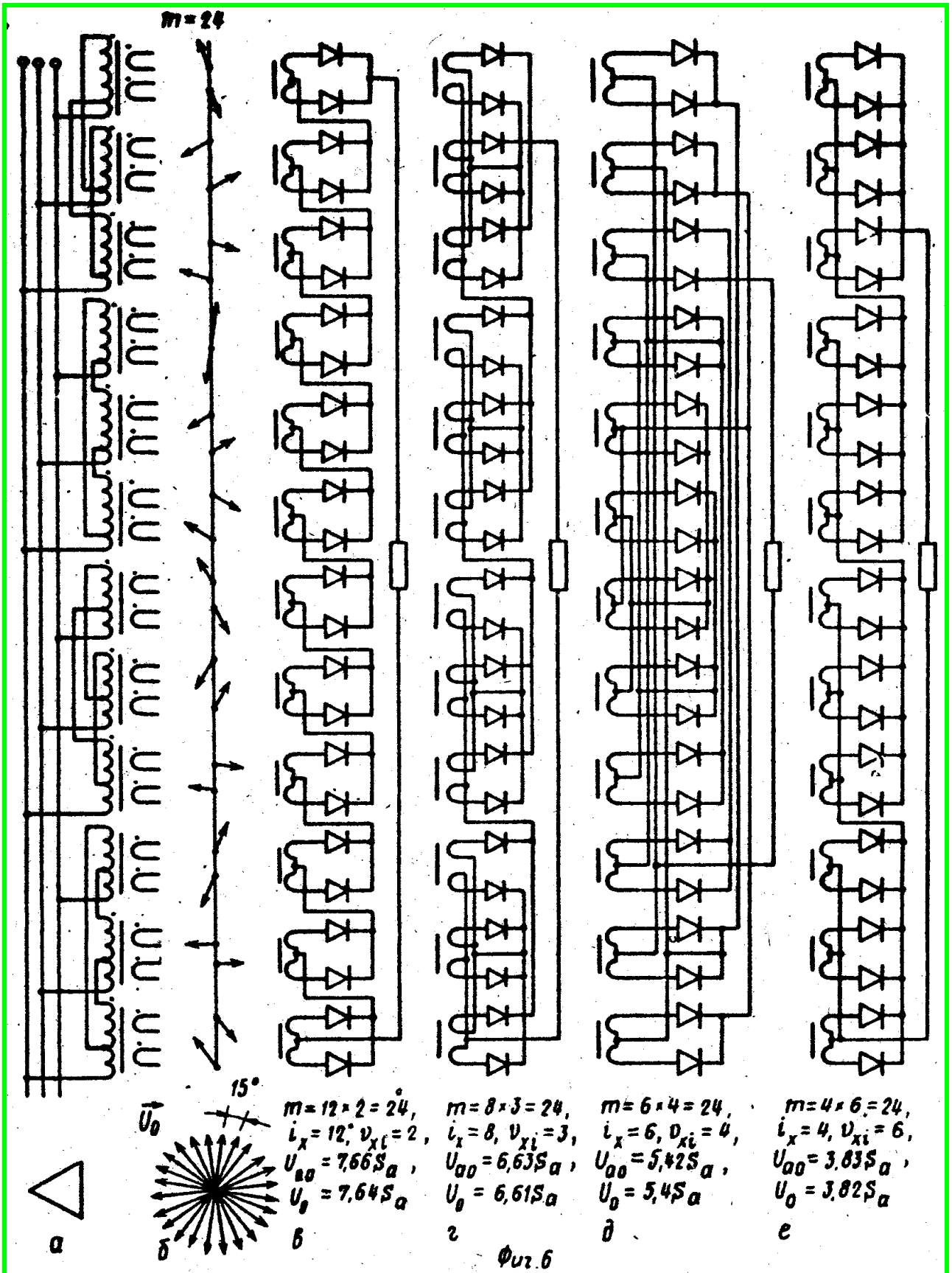
Фиг.3


а
б
в
г
д
е
ж
з
и
m = 12
30°
$\vec{U}_0$
m = 6×2 = 12,
i_x = 6, υ_{xi} = 2,
U_{a0} = 3,86S_a,
U_0 = 3,82S_a
m = 4×3 = 12,
i_x = 4, υ_{xi} = 3,
U_{a0} = 3,85S_a,
U_0 = 3,31S_a
m = 3×4 = 12,
i_x = 3, υ_{xi} = 4,
U_{a0} = 2,73S_a,
U_0 = 2,7S_a
m = 2×2 + 2×4 = 12,
μ_x = 2, i_{x1} = 2; i_{x2} = 2,
υ_{xi1} = 2, υ_{xi2} = 4
m = 3×2 + 2×3 = 12,
μ_x = 2, i_{x1} = 3; i_{x2} = 2,
υ_{xi1} = 2, υ_{xi2} = 3
m = 4×2 + 1×4 = 12,
μ_x = 2, i_{x1} = 4, i_{x2} = 1,
υ_{xi1} = 2, υ_{xi2} = 4
m = 2×6 = 12,
i_x = 2, υ_{xi} = 6,
U_{a0} = 1,93S_a,
U_0 = 1,91S_a

Фиг.4


m=18
~
$\vec{U_0}$
20°
m=9×2=18, i_x=9, ν_{xi}=2, U_{a0}=5,76S_a, U_0= 5,73S_a
m=6×2+2×3=18, μ_x=2, i_{x1}=6, i_{x2}=2, ν_{xi1}=2, ν_{xi2}=3
m=6×3=18, i_x=6, ν_{xi}=3, U_{a0}=4,98S_a, U_0=4,96S_a
m=3×6=18, i_x=3, ν_{xi}=6, U_{a0}=2,88S_a, U_0=2,86S_a
а
б
в
г
д
е

Фиг.5



Фиг.6

ВНИИПИ Заказ 3278/72 Тираж 719 Подписное

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

© А.М. Репин. 11.6.1980. 30.3.1982. 9.2.2018