

# Источники питания.

## Многофазные трансформаторы-преобразователи. Многофазные выпрямители

**В статье приводится обзор сетевых источников питания, дается краткое описание многофазных трансформаторов и источников питания.**

**Владимир Казаков**

kvladimir3@yandex.ru

**Р**ынок электронной продукции заполнен разнообразными преобразователями электрической энергии и источниками питания. Как сегодня выбрать наиболее приемлемую схему или конструкцию источника питания? Попробуем коротко ответить на этот вопрос.

### Однофазные источники питания

Сетевые источники питания для бытовых электронных приборов, в том числе для всех типов компьютеров, имеют небольшие размеры, недороги и достаточно надежны (рис. 1).

Входное напряжение сети блоком коммутации К преобразуется в импульсы с частотой 100–700 кГц. Трансформатор Т1 понижает напряжение до необходимого значения, обеспечивая гальваническую развязку от входной сети. Пониженное напряжение выпрямляется диодами VD, и фильтр F2 сглаживает пульсации этого напряжения, которые состоят из двух составляющих: пульсации с частотой 50 Гц, связанные с напряжением входной сети; пульсации с частотой 100–700 кГц с выхода блока коммутации К. Стабилизатор S поддерживает значение выходного напряжения источника питания. Для этого он управляет скважностью импульсов на выходе блока коммутации. В более старых схемах сетевое напряжение предварительно выпрямляется диодами, частично сглаживается конденсаторами и только потом подается на блок коммутации. Этот блок на рис. 1 выделен серым цветом. Какие изменения произошли в последнее время? Изготовители стали ис-

пользовать полимерные быстродействующие предохранители многократного действия, предназначенные для защиты источников питания от перегрузок и аварий. Внедряются трансформаторы MTS, меньшие в 64 раза, чем предшественники с ферритовыми сердечниками.

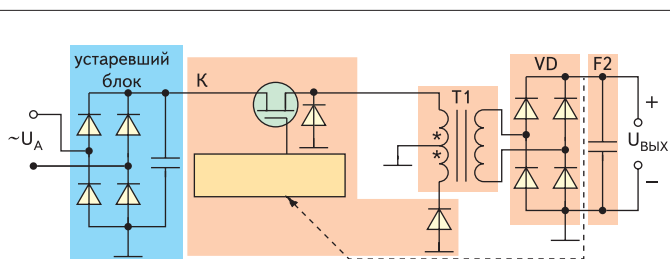
Аналогичные схемы используются и в современных мощных источниках питания: различного назначения на промышленных предприятиях, электрического железнодорожного и городского транспорта, непосредственно на всех видах самоходных транспортных средств. Это различные источники питания AC/AC, DC/DC, AC/DC и DC/AC. Других изменений на рынке источников сетевого электропитания не было.

### Многофазные источники питания

Производителями трансформаторов достаточно большое внимание уделяется многофазным трансформаторам. Причина в основном заключается в следующем. Линейные безынерционные приводы станков, линейные двигатели железнодорожного транспорта имеют наилучшие показатели, если конструкция этих двигателей многофазная. Для питания таких двигателей необходимо многофазное напряжение.

Однако многофазное напряжение можно очень эффективно использовать также в некоторых сварочных аппаратах и в источниках питания. Это связано с тем, что с увеличением числа фаз напряжения сети пульсации выпрямленного напряжения уменьшаются. В качестве примера сравним пульсации напряжений, полученных путем выпрямления напряжения сети диодными мостами, без сглаживания фильтрами.

Из таблицы 1 видно, что использование 24-фазного напряжения не требует сглаживающего фильтра. Значит, при использовании такого напряжения блоки питания могут не содержать ненадежные электролитические конденсаторы и различные дроссели для сглаживания пульсаций выпрямленного сетевого напряжения, что сократит размеры блока питания примерно на 20–50% и увеличит надежность блока питания в 2–4 раза.



**Рис. 1.** Структурная схема источника питания

Таблица 1. Сравнение пульсаций выпрямленного напряжения при различном числе его фаз

Число фаз напряжения	1	3	6	12	24
Пульсации, в % от $U_{\text{макс}}$	100	14,06	14,06	3,45	0,38
Необходимость использования сглаживающего фильтра	Неизбежен				
	В источниках питания всех электронных приборов и приводов постоянного тока	В источниках питания всех электронных приборов и приводов постоянного тока	В источниках питания всех электронных приборов и приводов постоянного тока	В источниках питания большинства электронных приборов	—
	Не используется				
	При грубой дуговой сварке; грязной гальванике; зарядке батарей	При грубой дуговой сварке; грязной гальванике; зарядке батарей; питании некоторых видов электротранспорта	При грубой дуговой сварке; грязной гальванике; зарядке батарей; питании некоторых видов электротранспорта	При питании некоторых видов электронной аппаратуры, приводов постоянного тока; дуговой сварке; гальванике; зарядке батарей; питании электротранспорта	Сглаживающий фильтр не используется ни в одном из электрических приборов, т. к. на платах блоков сверхчувствительной аппаратуры имеются дополнительные сглаживающие конденсаторы

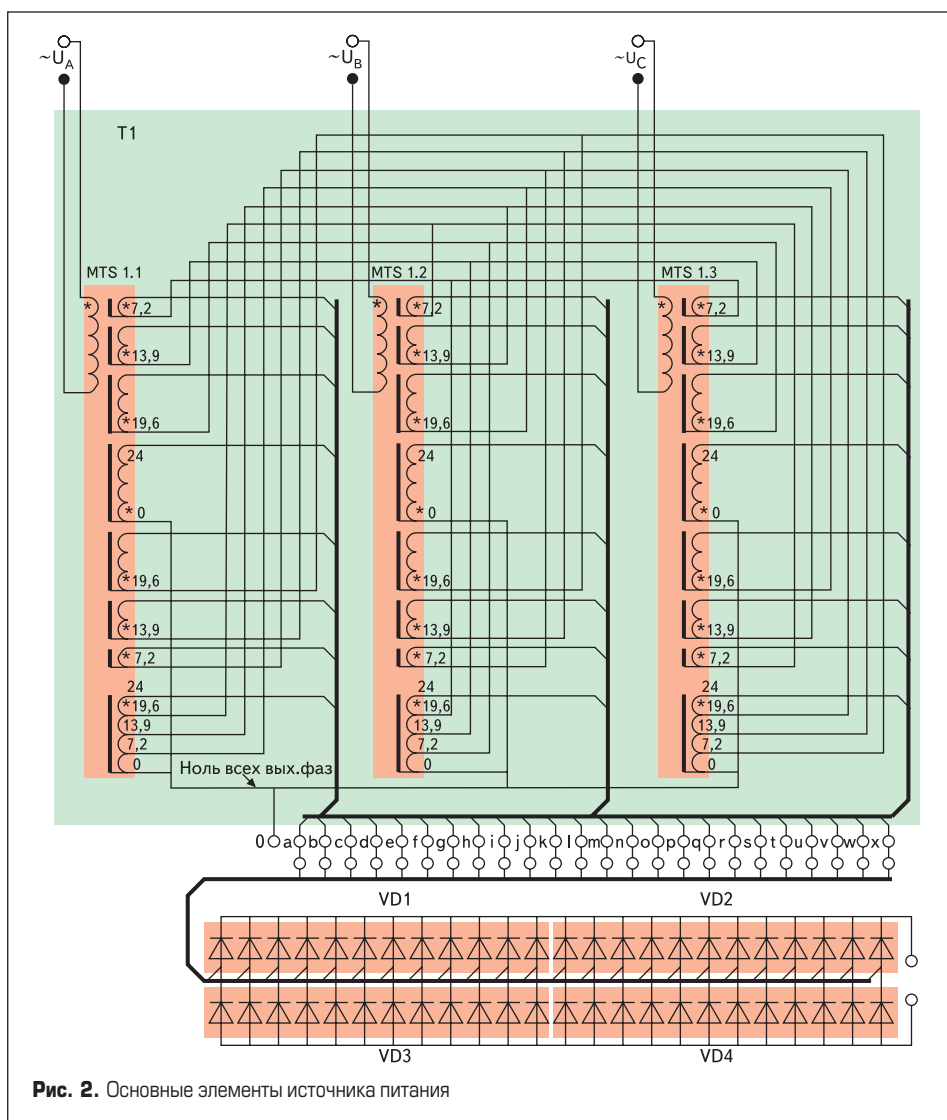


Рис. 2. Основные элементы источника питания

Как получить желанное 24-фазное напряжение, ведь распространено только трехфазное сетевое напряжение?

Многие разработчики создают различные сложные конструкции сердечников трансформаторов-преобразователей. Изготавливать такие трансформаторы сложно, их стоимость в 100–150 раз превышает стоимость обычного трансформатора даже при серийном производстве, а надежность снизится в 2–3 раза.

Для создания надежной конструкции трансформатора, качественно преобразующего 3-фазное напряжение в 24-фазное, нами используется классическая надежная схема включения «зигзаг» обмоток трехфазного трансформатора. Так построены трансформаторы-преобразователи MTS. На рис. 2 приведена схема источника питания для компьютера с одним выходным напряжением. При использовании трансформатора с большим числом вто-

ричных обмоток можно получить несколько выходных напряжений. При сравнительной простоте схемы размеры источника питания получаются вдвое меньше, чем у аналогов, поскольку трансформатор MTS, работающий на частоте 50 Гц, имеет такие же размеры, как и зарубежные предшественники, работающие на 100 кГц. Стабилизации схема не требует, так как не имеет элементов, снижающих выходное напряжение при изменении тока нагрузки. Стабильность напряжения сети статистически достаточна для нормальной работы компьютера и иной бытовой электронной аппаратуры.

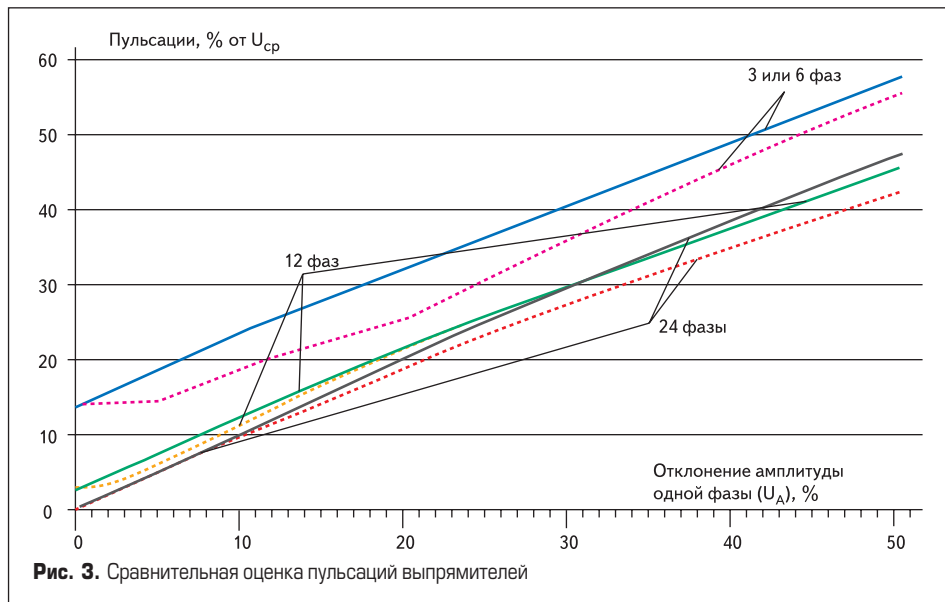
На рис. 2 показаны основные элементы источника питания: T1 — понижающий 3-фазный трансформатор, со свободными входными выводами, которые можно подключить к сети по схеме «звезда» или «треугольник»; MTS1.1, MTS1.2, MTS1.3 — обмотки 3-фазного трансформатора, включенные по схеме «зигзаг» для получения 24-фазного напряжения; a, b, c, ..., x — выходные выводы 24-фазного напряжения, соединенные по схеме «звезда», 0 — нулевой вывод; VD1–VD4 — диодные сборки, где ток одного диода составляет 4% от  $I_{\text{ном}}$  нагрузки.

Все многофазные источники питания, независимо от их конструкции, весьма чувствительны к качеству электрической энергии сети. График, приведенный на рис. 3, показывает зависимость пульсации выходного напряжения от отклонения амплитуды одной фазы входного напряжения. На графике представлена сравнительная оценка пульсаций выпрямителей: 3-фазного, 6-фазного, 12-фазного и 24-фазного, где сплошные линии изображают зависимость пульсации выходного напряжения, если амплитуда одной из фаз выше средней амплитуды фаз, пунктирные — если ниже. Эта же зависимость дана в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная оценка пульсаций выпрямителей: 3-фазного, 6-фазного, 12-фазного и 24-фазного

$\Delta U_{\Delta}$ , % от $U_{\text{иск}}$	Пульсации $U$ , % от $U_{\text{ср}}$			
	3 ф	6 ф	12 ф	24 ф
0	14,06	14,06	3,45	0,38
+1	15,05	15,05	4,44	1,38
+2	16,04	16,04	5,43	2,37
+5	18,97	18,97	8,36	5,31
+10	23,71	23,71	13,11	10,06
+20	32,59	32,59	22,09	19,05
+50	54,83	54,83	44,85	41,98
-1	14,1	14,1	4,02	1,38
-2	14,14	14,14	4,61	2,39
-5	14,81	14,81	6,62	5,46
-10	19,57	19,57	11,87	10,34
-20	25,96	25,96	21,78	20,99
-50	57,53	57,53	47,64	47,38

Из графика на рис. 3 видно, что при несимметричном напряжении сети амплитуда пульсаций многофазных выпрямителей возрастает, и без сглаживающих фильтров они применяться не могут. Однако практика показывает, что стандартная 3-фазная сеть практически симметрична (в таблице 1 соответствующая строка выделена желтым цветом), и ощутимых



аппаратурой пульсаций на выходе источника питания не возникает.

Как рассчитать точно число витков трансформатора-преобразователя? Можно воспользоваться таблицей 3, где даны соотношения витков вторичных обмоток 3-фазного трансформатора, включаемых по схеме «зигзаг».

Например, число витков фазы а равно  $N_a = k_{\text{вит}} \times 0,5 \times N_A \times k_{\text{тр}}$ , где  $N_A$  — число витков первичной обмотки;  $k_{\text{тр}}$  — коэффициент трансформации (меньше 1) 3-фазного трансформатора; 0,5 — учитывает наличие встречной фазы m. При расчете учитывается, что выходное напряжение источника равно амплитудному выходному напряжению трансформатора.

### Преимущества многофазных источников питания и области их применения

Преимущества многофазных источников питания является их простая конструкция и стоимость, в 5–6 раз меньшая, чем у однофазных аналогов, поскольку эти схемы содержат трансформатор, цена которого такая же, как у однофазного аналога по мощности, и сборки недорогих диодов. Новые модульные 50-герцевые трансформаторы по размерам сопоставимы с размерами 100-килогерцевых ферритовых аналогов, для работы которых используется дорогая схема возбуждения. В итоге, многофазные источники питания в 5–6 раз дешевле при тех же габаритах, что и у названных аналогов, но обладают большей надежностью.

Области применения:

- в офисах и конструкторских бюро различных организаций часто используется 3-фазная сеть питания. В этом случае желательно комплектовать компьютеры более надежными многофазными источниками питания;
- экономически целесообразно комплектовать такими источниками многочисленные станции сотовой радиосвязи;
- использование многофазных источников питания устраняет вредное для глаз мерцание ламп освещения и рекламы;

- многофазные трансформаторы при такой же цене, как и однофазные, улучшают работу устройств дуговой сварки;
- на предприятиях, связанных с гальваникой и производством металлов методом электролиза, например, алюминия, поскольку такие источники не уменьшают  $\cos \varphi$  электрических сетей, не создают напряжения высших гармоник. Обычные выпрямители и стабилизаторы в таких производствах снижают  $\cos \varphi$  до 0,4. Это сильно перегружает и перегревает кабельные и проводные сети региональной и единой энергосистемы, перегружает и быстро изнашивает генераторы на электростанциях;
- для сетей питания электрического железнодорожного и городского транспорта данные источники также незаменимы, многофазные трансформаторы-преобразователи гасят параметрические резонансы и перенапряжения в электрических сетях, что увеличивает их надежность и качество электроэнергии.

### Выбор источника питания при отсутствии 3-фазной питающей сети

При отсутствии 3-фазной сети получение 3-фазного напряжения становится слишком дорогим и нецелесообразным. В этом случае приходится довольствоваться существующими на рынке однофазными устройствами.

Однако такие фирмы, как Curamik Electronics GmbH, Diskom GmbH, планировали использовать бесшумные сверхкомпактные двигатель-генераторы для получения 3-фазных и многофазных напряжений из однофазного, для установки в мощных компьютерных системах. Стоимость подобных генераторов всего в 1,5 раза выше, чем стоимость трансформатора такой же мощности. Патентованная автором генераторная часть этих преобразователей схожа с трансформаторами класса MTS, так как статорная обмотка тоже выполнена из АРМКО и заменяет большую часть магнитопровода статора.

Возможно, скоро читатели смогут приобрести компактные надежные источники пита-

**Таблица 3.** Относительное число витков выходных обмоток для схемы «зигзаг». Знак «-» означает встречное включение

Выходная фаза	Кэфф-т числа витков 3-фазной вых. обмотки в схеме «зигзаг»		
	$k_{\text{вит}} \text{ для фазы а}$	$k_{\text{вит}} \text{ для фазы b}$	$k_{\text{вит}} \text{ для фазы с}$
a	1	0	0
b	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	0	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$
c	$1/\sqrt{3}$	0	$-1/\sqrt{3}$
d	$1/2\cos 15^\circ$	0	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$
e	0	0	-1
f	0	$1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$
g	0	$1/\sqrt{3}$	$-1/\sqrt{3}$
h	0	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$
i	0	1	0
j	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	0
k	$-1/\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$	0
l	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	$1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	0
m	-1	0	0
n	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	0	$1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$
o	$-1/\sqrt{3}$	0	$1/\sqrt{3}$
p	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	0	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$
q	0	0	1
r	0	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$
s	0	$-1/\sqrt{3}$	$1/\sqrt{3}$
t	0	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	$1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$
u	0	-1	0
v	$1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	$-(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	0
w	$1/\sqrt{3}$	$-1/\sqrt{3}$	0
x	$(1+\sqrt{3})/2\cos 15^\circ$	$-1/2\sqrt{3}\cos 15^\circ$	0

ния с такими преобразователями однофазного напряжения в 24-фазное.

В следующих номерах журнала планируется рассказать о силовых ключах, транзисторах, микросхемах и процессорах на основе материала «тетракарбон» — упорядоченной модификация углерода (патент Великобритании). Надежность и характеристики этих компонентов на несколько порядков превосходят параметры сегодняшних аналогов: например, доказана возможность производства чипов с тактовыми частотами порядка 100 ГГц с потреблением 0,01 В/10<sup>-6</sup> А, памяти 100 и более 1 Тбайт/мм<sup>2</sup>. Эти чипы могут заинтересовать кардиохирургов, так как данный материал легко вживить в ткани человеческого организма, а для электропитания чипов достаточно температурного перепада в живой ткани. Силовые транзисторы из нового материала могут коммутировать токи до 10 и более кА, при этом падение напряжения в канале не превышает 10<sup>-3</sup> В. Коммутируемые транзисторами напряжения — до 50 кВ. Тактовая частота ключей на этих транзисторах превышает 100 МГц.

### Литература

1. Казаков В. В. Новые модульные трансформаторы // Компоненты и технологии. 2006. № 8.
2. [www.curamik.de](http://www.curamik.de), [www.diskom.de](http://www.diskom.de)