

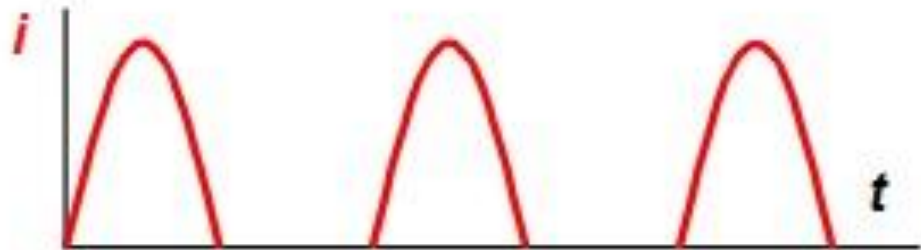
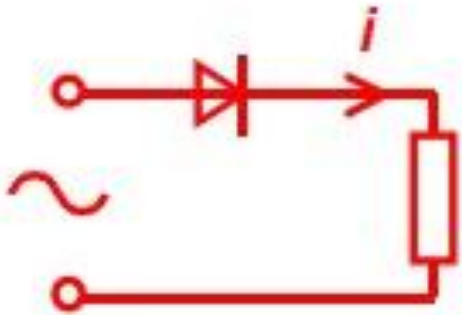
Выпрямительные установки

- Бывают однофазные, двухфазные со сдвигом фаз на 90 и 180 град, трехфазные и многофазные

Четвертьмостовая схема

Простейший выпрямитель состоит из одного единственного вентиля

Так как выпрямленный ток представляет собой в таком случае отделенные друг от друга однополярные полупериоды переменного тока, то такой выпрямитель (называемый по этому признаку полупериодным) применяется редко.



Среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}U_{\text{вх}} \sin \omega t d\omega t \approx 0.45U_{\text{вх}}$$

Действующее значение входного напряжения

$$U_{\text{вх}} = \frac{\pi U_{\text{ср}}}{\sqrt{2}} \approx 2.22U_{\text{ср}}$$

Среднее значение выпрямленного тока:

$$I_{\text{ср}} = \frac{0.45U_{\text{вх}}}{R_{\text{н}}}$$

Действующее значение тока во вторичной обмотке трансформатора:

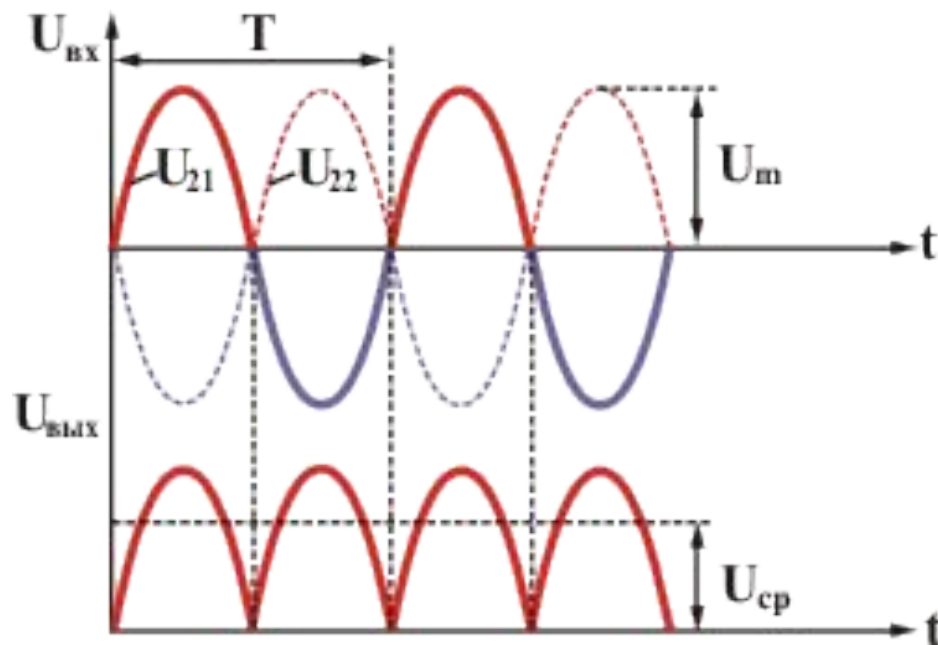
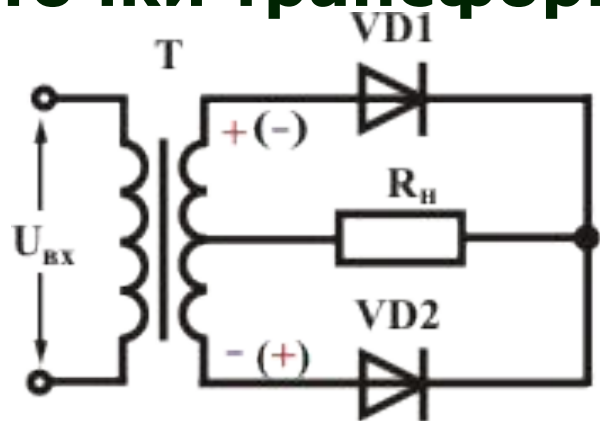
$$I_2 = \frac{U_{\text{вс}}}{R_N} = \frac{\pi U_{\text{Ф}}}{\sqrt{2} R_N} \approx 1.57 I_{\text{Ф}}$$

Коэффициент пульсаций

$$p = \frac{U_{\text{Ф}} \frac{\pi}{2}}{U_{\text{Ф}}} = \frac{\pi}{2} = 1.57$$

Два четвертьмоста параллельно

**Двухполупериодная со средним выводом.
Схема выпрямления с выводом от средней точки трансформатора.**



- Достоинства: удвоенные значения $U_{ср}$ и $I_{ср}$, вдвое меньший коэффициент пульсаций по сравнению с однополупериодной схемой.
Недостатки: наличие трансформатора с двумя симметричными обмотками (что увеличивает его массогабаритные показатели). К тому же на диодах удвоенное обратное напряжение.

- Частота пульсаций двуполупериодного выпрямителя вдвое больше, что является его достоинством. Для такой схемы характерны следующие параметры:

- **$U_{\text{ср}} = 0.9U_{\text{вх}}$**

$U_{\text{вх}} = 1.11U_{\text{ср}}$

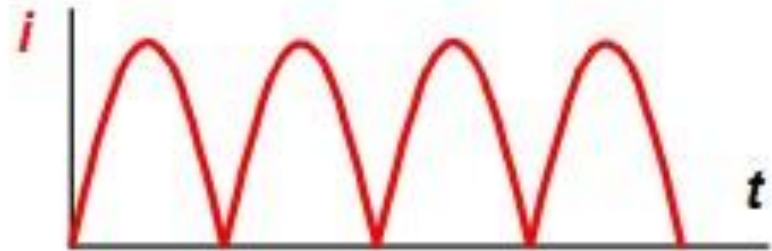
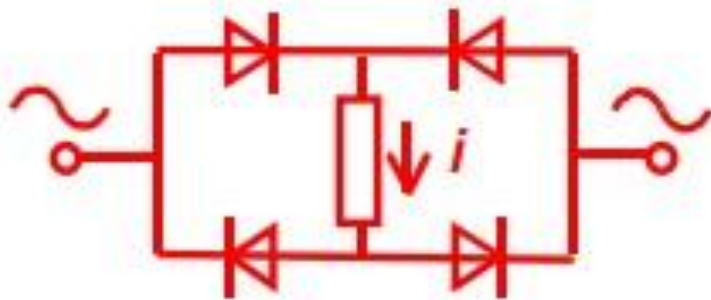
$I_{\text{ср}} = 0.9U_{\text{вх}}/R_{\text{н}}$

$I_2 = 0.78I_{\text{ср}}$

$\rho = 0.67$

МОСТОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

- выпрямляются оба полупериода переменного тока, их называют двухполупериодными. Еще более равномерный выпрямленный ток можно получить при помощи трехфазного мостового выпрямителя.



- Параметры такие же, как и двухполупериодной схемы со средним выводом, кроме обратного напряжения (оно в два раза меньше). Положительная полуволна (с верхнего по схеме вывода трансформатора) проходит через диод VD2, затем через нагрузку, затем через VD3 ко второму выводу трансформатора. При смене направления тока работают диоды VD4, VD1. Недостатком схемы считается удвоенное число диодов.

Трехфазные схемы выпрямления

Три четвертьмоста параллельно (схема Миткевича)

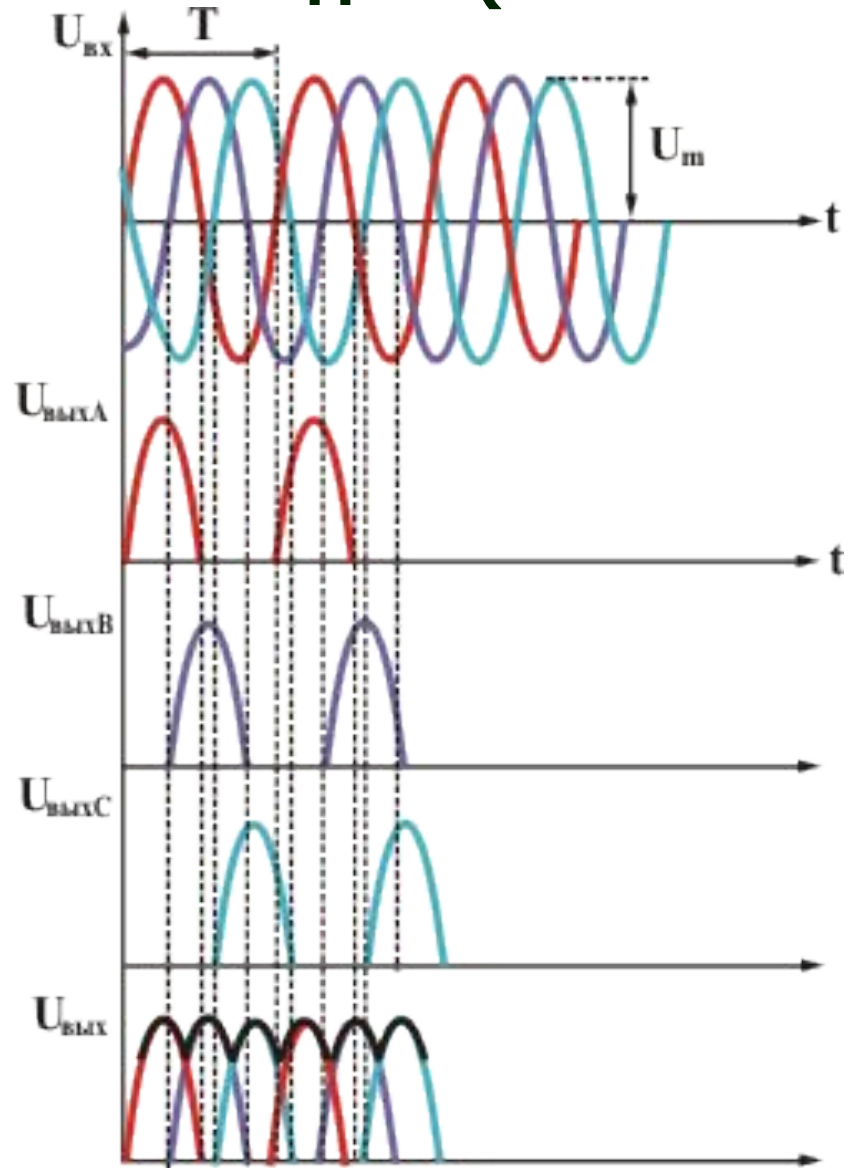
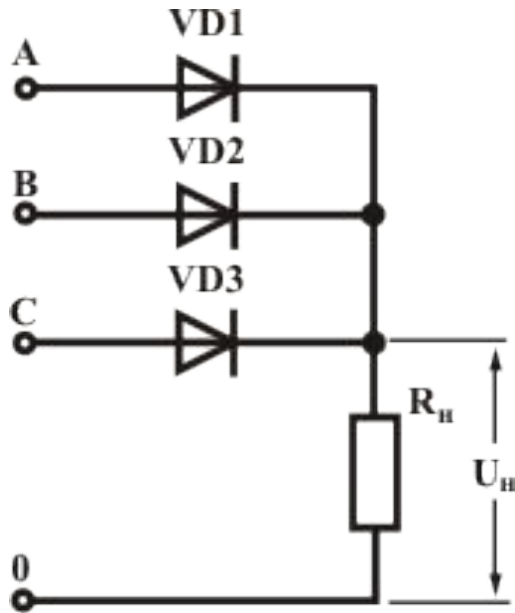
Три полумоста параллельно, объединённые кольцом/треугольником («треугольник-Ларионов»)

Три полумоста параллельно, объединённые звездой («звезда-Ларионов»)

Три двухфазных двухчетвертьмостовых параллельных выпрямителей Миткевича параллельно либо последовательно (6 диодов)

Три полных моста параллельно либо последовательно (12 диодов)

Трехфазная однополупериодная схема выпрямления с нулевым выводом (схема Миткевича)



- Каждая фаза смещена относительно другой на угол 120° . На нагрузке работает та фаза, у которой больше значение положительной полуволны в данный момент времени. В схеме диоды используются в течении $1/3$ периода. При этом необходимо наличие средней точки. Среднее значение выпрямленного напряжения

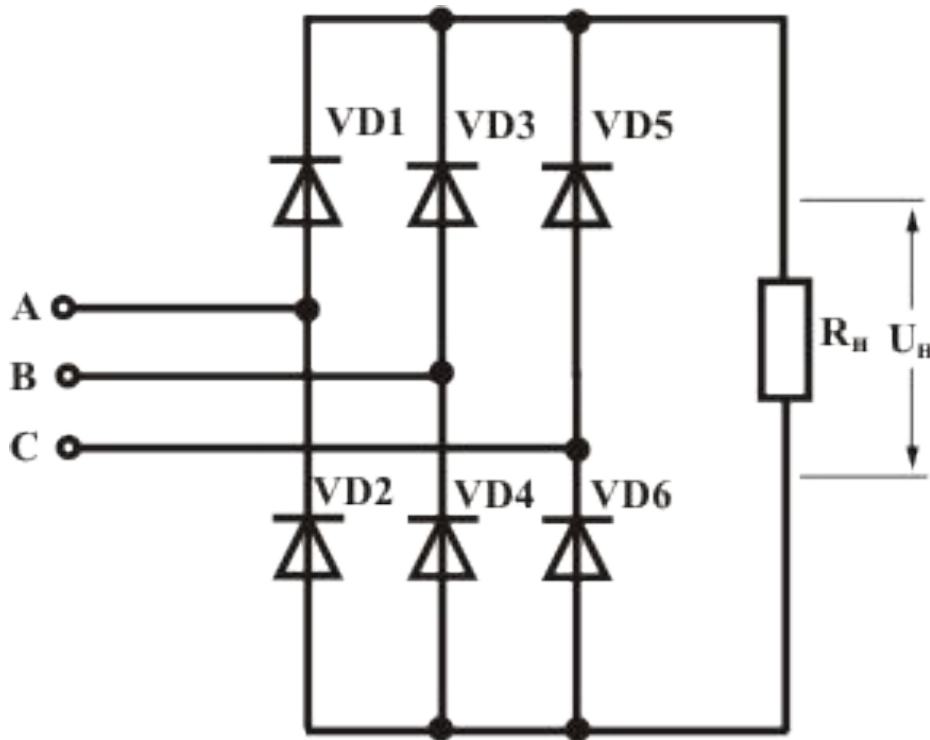
$$U_{\text{ср}} = 1.17U_{\text{вх}},$$

обратное напряжение

$$U_{\text{обр.мах}} = 2.1U_{\text{ср}},$$

коэффициент пульсаций **0.25.**

Трехфазная двуполупериодная схема выпрямления (схема Ларионова)



- По принципу действия такая схема аналогична однофазной двухполупериодной (мостовой).

$$U_{\text{ср}} = 2.34U_{\text{вх}},$$

$$U_{\text{обр.мах}} = 1.05U_{\text{ср}}, \quad \rho = 0.057.$$

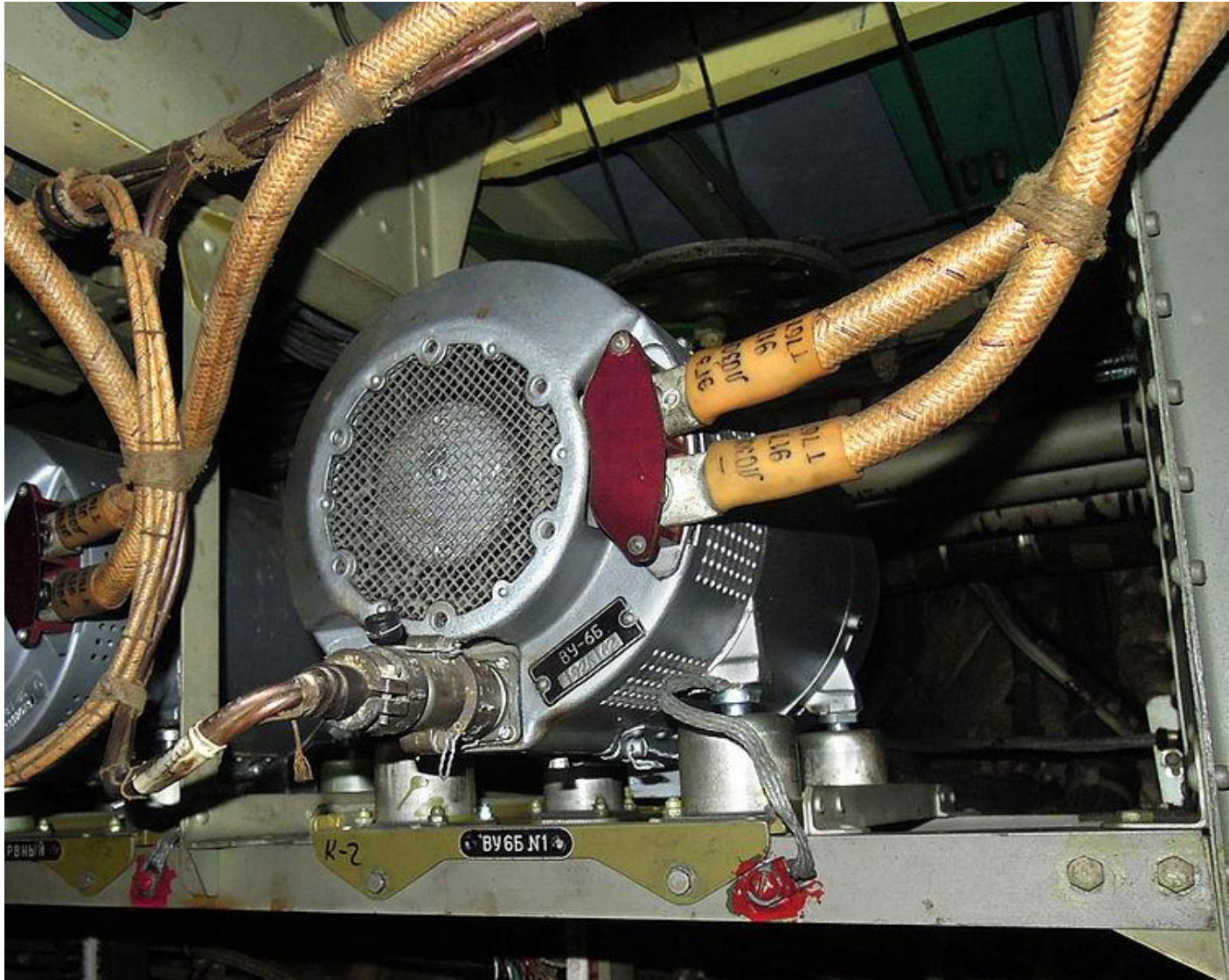
Схема экономична, имеет низкие пульсации. Однако в реальных схемах коэффициент пульсаций составляет 8-10% из-за несимметричности фазных питающих напряжений.

Двенадцатипульсовый статический выпрямитель

- Представляет собой параллельное (или иногда последовательное) включение двух выпрямителей Ларионова со сдвигом фаз входных трёхфазных токов. При этом вдвое увеличивается число выпрямленных полупериодов по сравнению с обычным выпрямителем Ларионова, из-за чего уменьшается относительная амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения и вдвое увеличивается частота пульсаций выпрямленного напряжения, что также облегчает сглаживание выпрямленного напряжения.

Практически такая схема довольно популярна, применяется как в мощных выпрямителях тяговых подстанций электрического транспорта, где важно обеспечить питание коллекторных тяговых электродвигателей с минимальными пульсациями, так и в выпрямительных устройствах летательных аппаратов, где важна электромагнитная совместимость

Двенадцатипульсовое выпрямительное устройство ВУ-6Б в техотсеке [Ту-154](#)



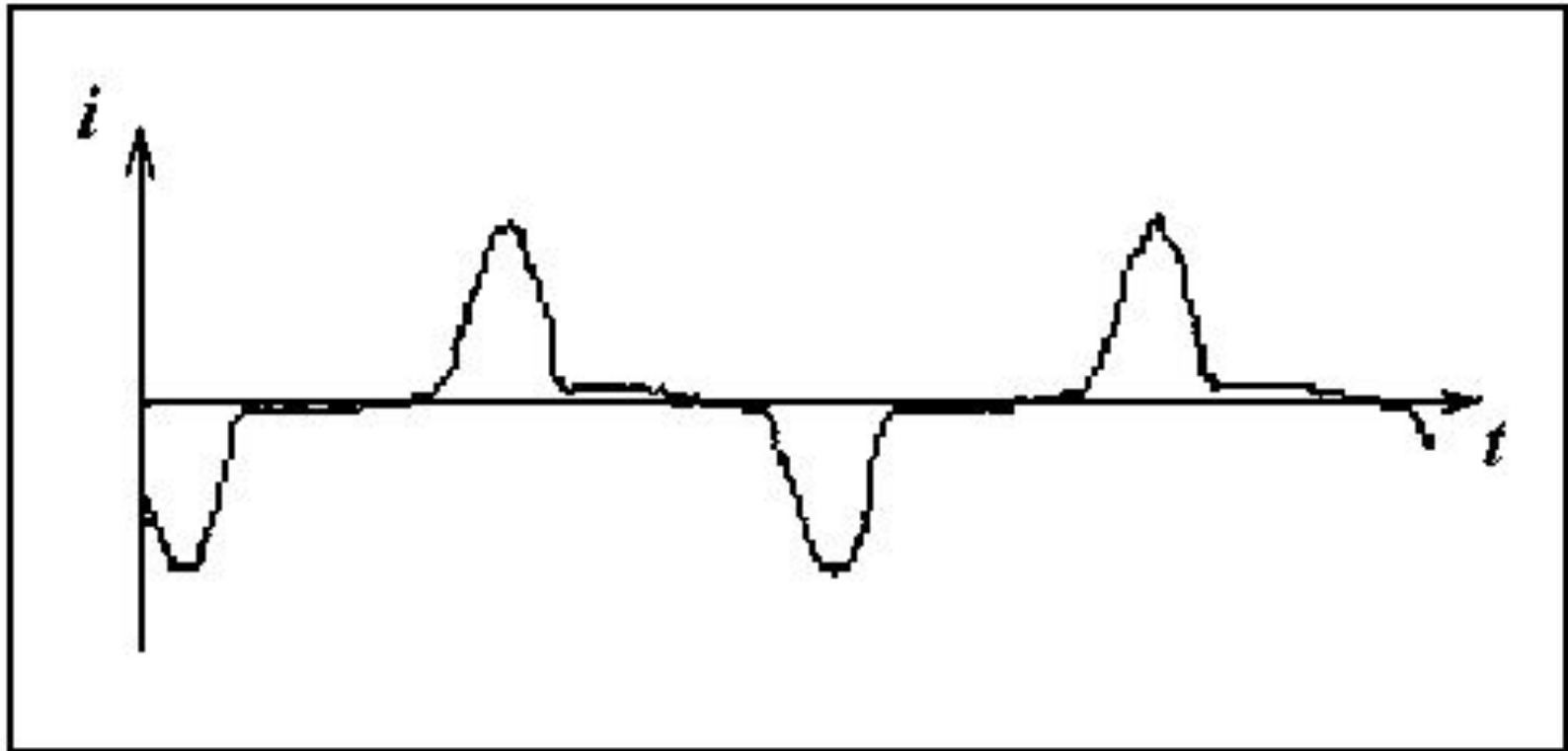
Двенадцатипульсовый выпрямитель с преобразовательным трансформатором мощностью 6,3 МВ*А

В состав выпрямителя, кроме преобразовательного трансформатора ТРМП–6300/35, входят вентиляные конструкции ПВЭ–5, которые собраны из лавинных диодов ВЛ–200 и после реконструкции выполнены на номинальный ток 2400 А. В каждом из двенадцати вентиляных плеч выпрямителя — восемь параллельно и четыре последовательно включенных диода.

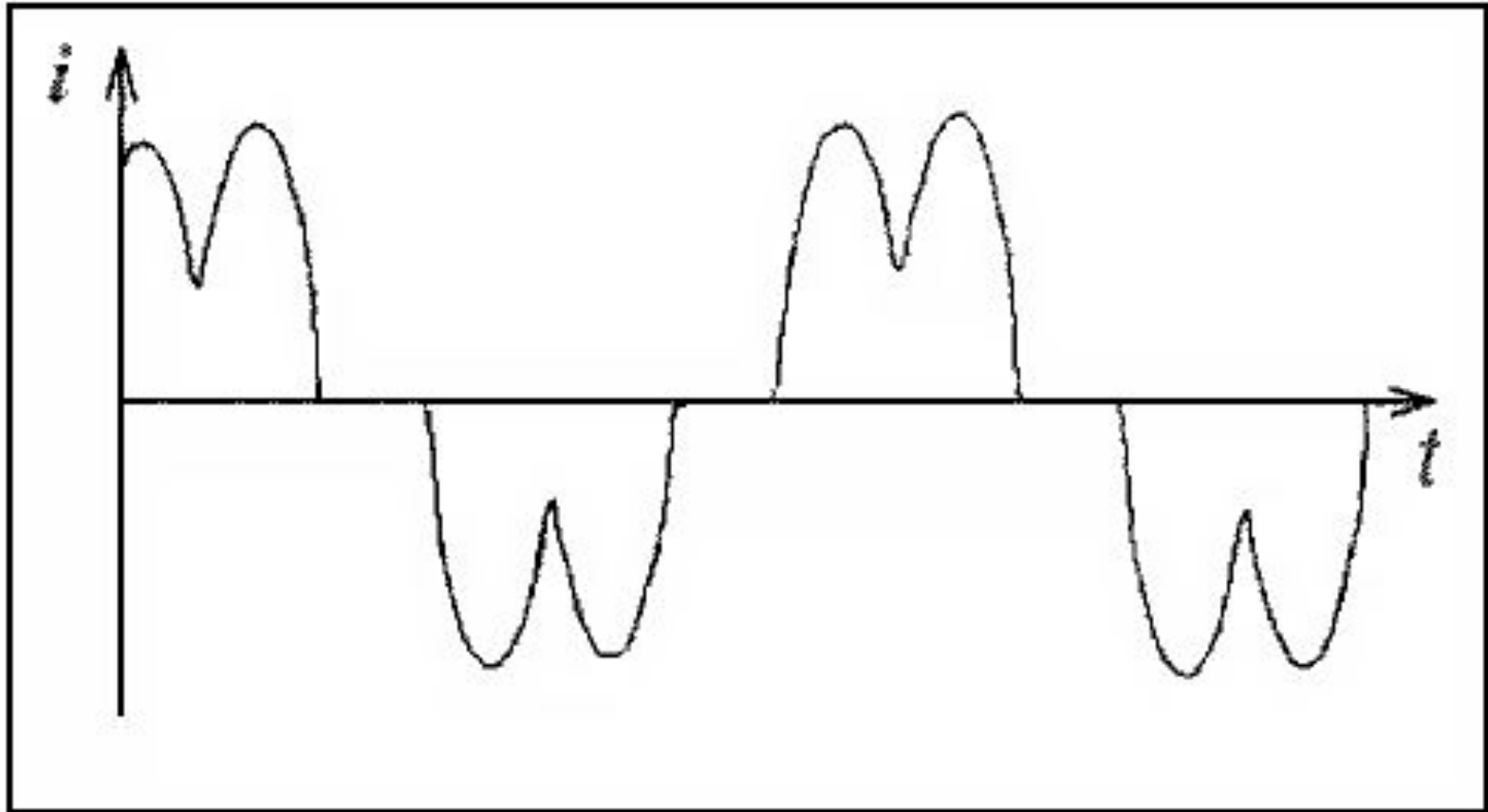
Влияние на сеть:

- искажение формы питающего напряжения;
- падение напряжения в распределительной сети;
- резонансные явления на частотах высших гармоник;
- наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях;
- повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании;
- вибрация в электромашинных системах;
- снижение электрического и механического КПД нагрузок;
- ухудшение характеристик защитных автоматов;
- завышению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок;
- нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах;
- нагрев конденсаторов;
- нагрев кабелей распределительной сети.

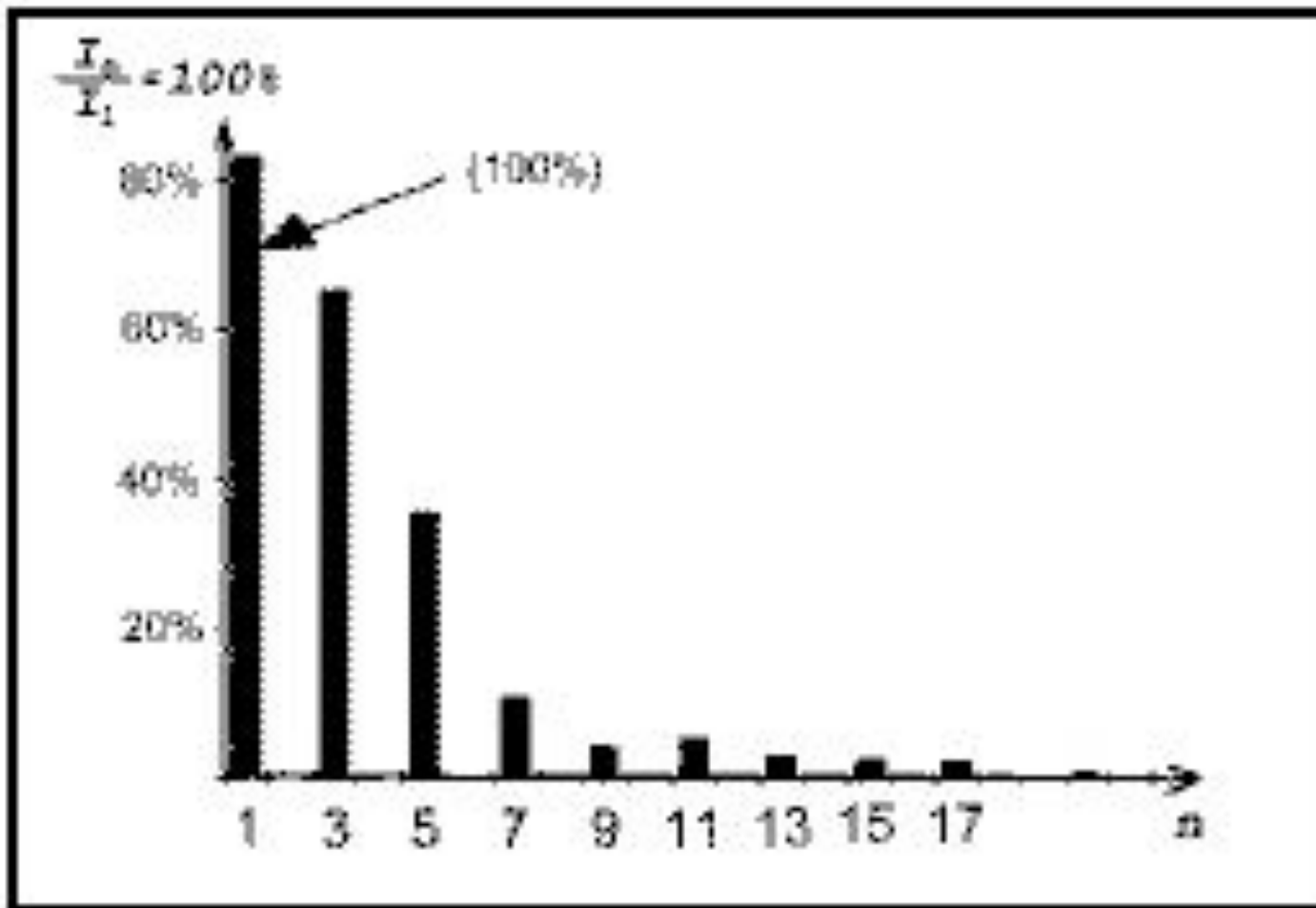
Форма тока для однофазного выпрямителя



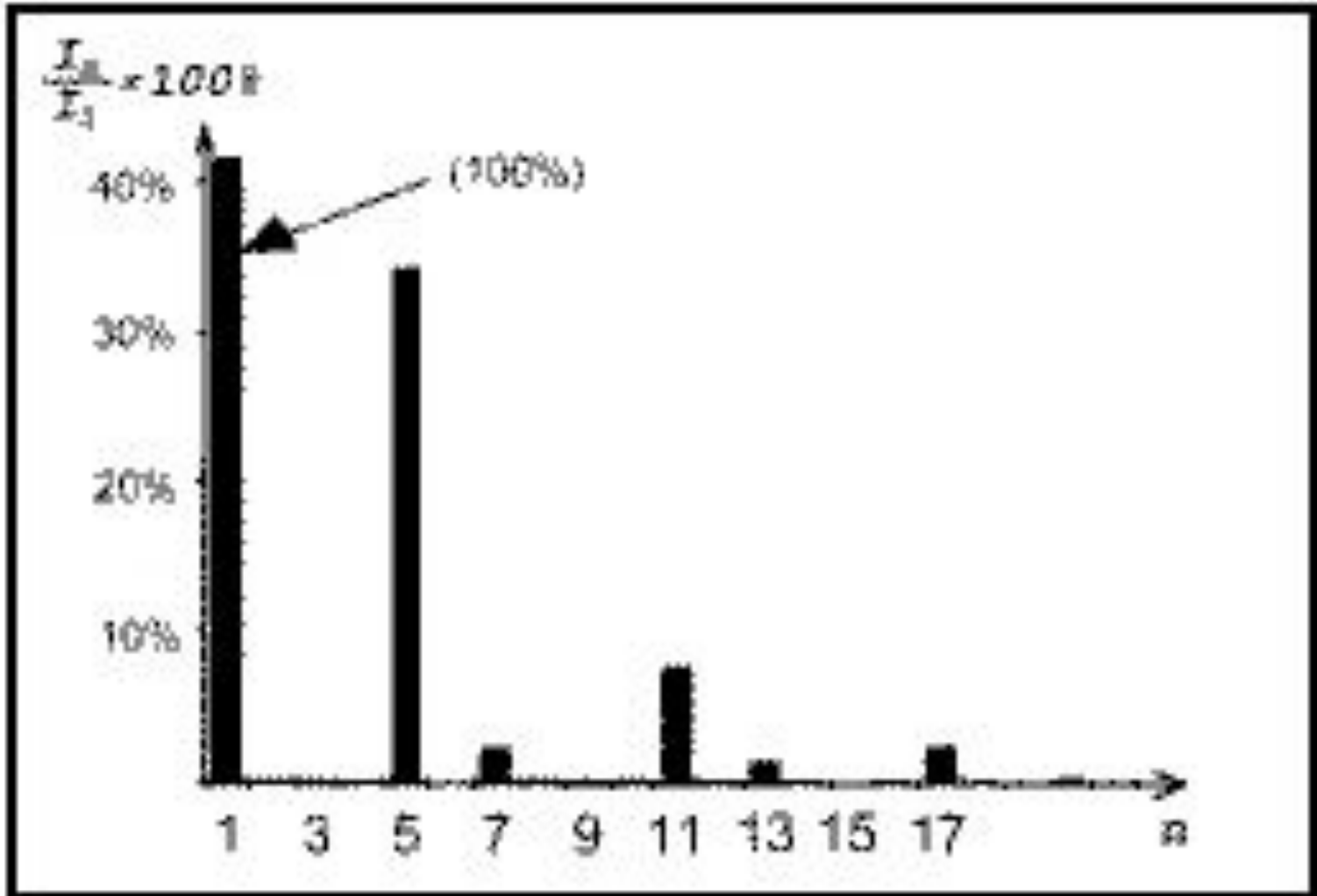
Форма тока для трехфазного выпрямителя



Спектры входных токов выпрямителей: а) однофазного,



б) трехфазного.

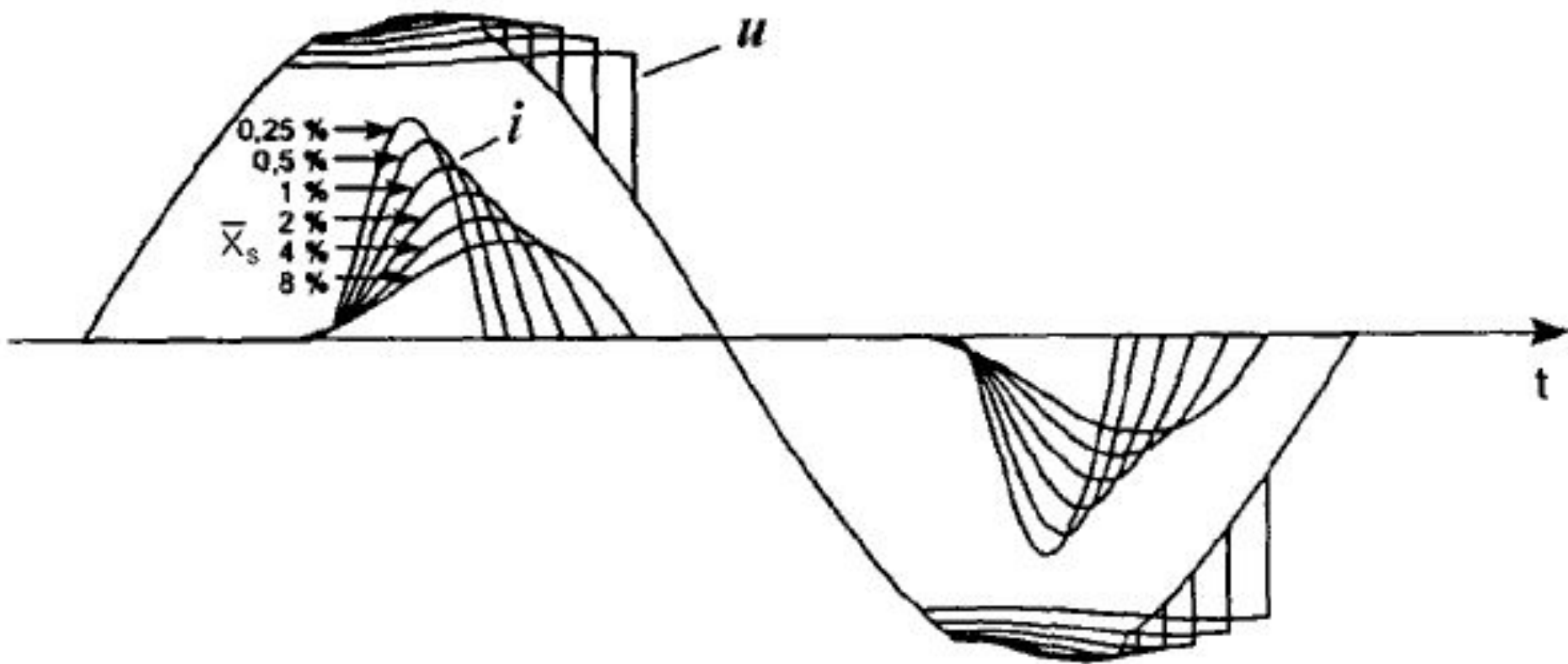


**Спектральный состав тока на входе ИБП (пример -
при 100% нагрузке для ИБП
без входного фильтра и корректора коэффициента
мощности)**

N гармоники, n	однофазный ИБП, I_n / I_1 (%)	трехфазный ИБП, I_n / I_1 (%)
1	100	100
3	65,7	-
5	37,7	33
7	12,7	2,7
9	4,4	-
11	5,3	7,3
13	2,5	1,6
15	1,9	-
17	1,8	2,6

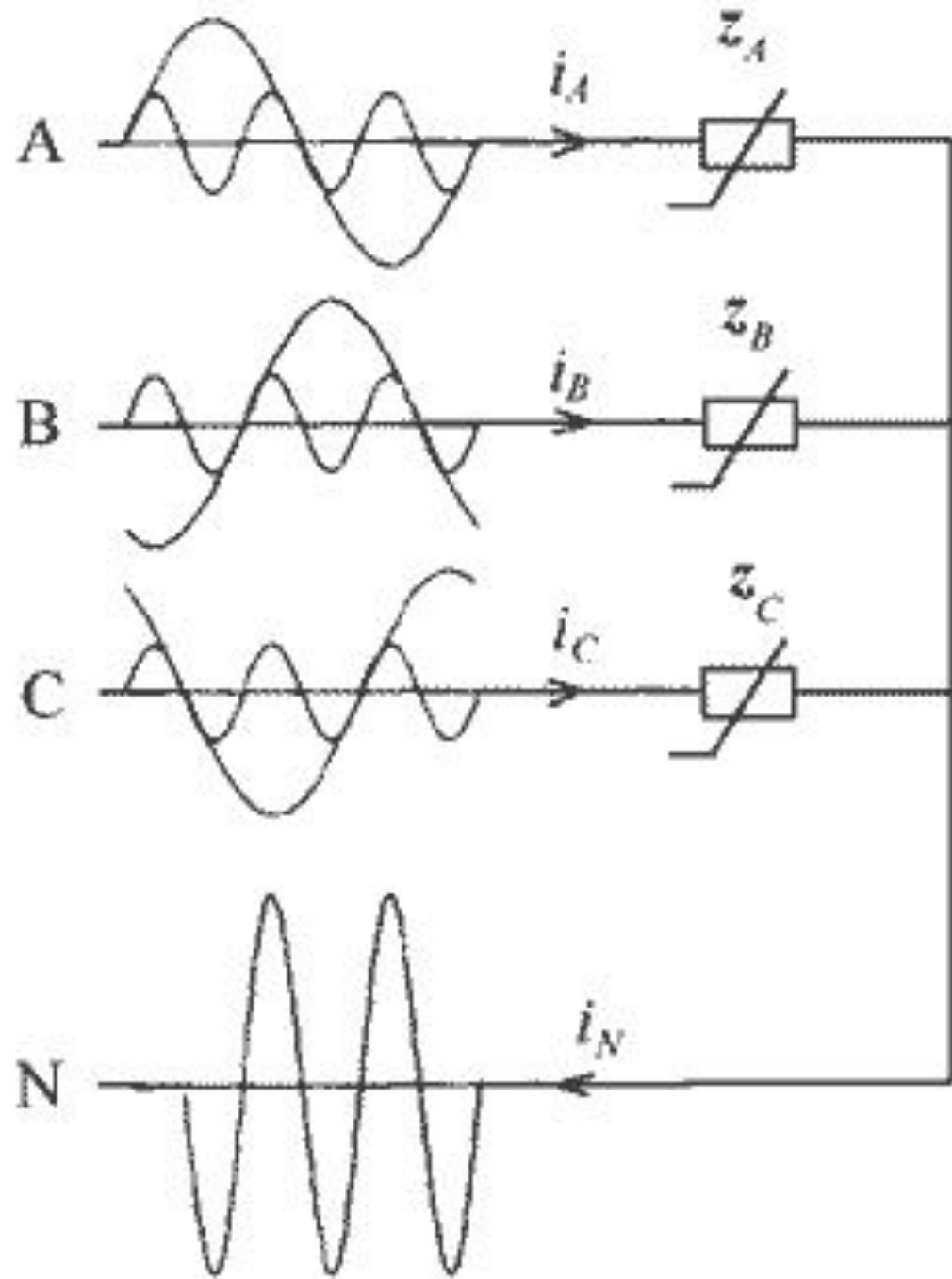
- Полное сопротивление распределительной сети имеет в значительной степени индуктивный характер. Поэтому при очень высоком содержании гармоник токов соответствующее падение напряжения на кабелях и проводах становится намного выше предельно допустимых значений, и в типичных распределительных системах с кабельными трассами длиной более 100 метров может происходить сильное искажение напряжения на нагрузке. Примером таких искажений может служить графики тока и напряжения на входе однофазного выпрямителя в зависимости от величины относительной реактивной составляющей сопротивления входного фидера или внутреннего сопротивления источника питания выпрямителя

Формы напряжения и тока на входе
бестрансформаторного однофазного выпрямителя
в зависимости от относительной реактивной
составляющей сопротивления входного фидера.



Эффект гармоник кратных третьей

- В трехфазных цепях они сдвинуты на 360 градусов друг к другу, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность. Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали



В результате, с учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots}$$

Так, например, при фазных токах равных 37 А, ток нейтрали составляет 55 А при частоте, равной 150 Гц.

Активный выпрямитель

- комплектуется полностью управляемыми вентилями с обратными диодами. С помощью широтно-импульсной модуляции реализуются режимы принудительного формирования сетевого тока. Форму тока приближают к синусоидальной с регулируемой начальной фазой, что и обеспечивает желаемый результат (форму кривой тока и коэффициент мощности).

Преобразователи с автономными инверторами напряжения.

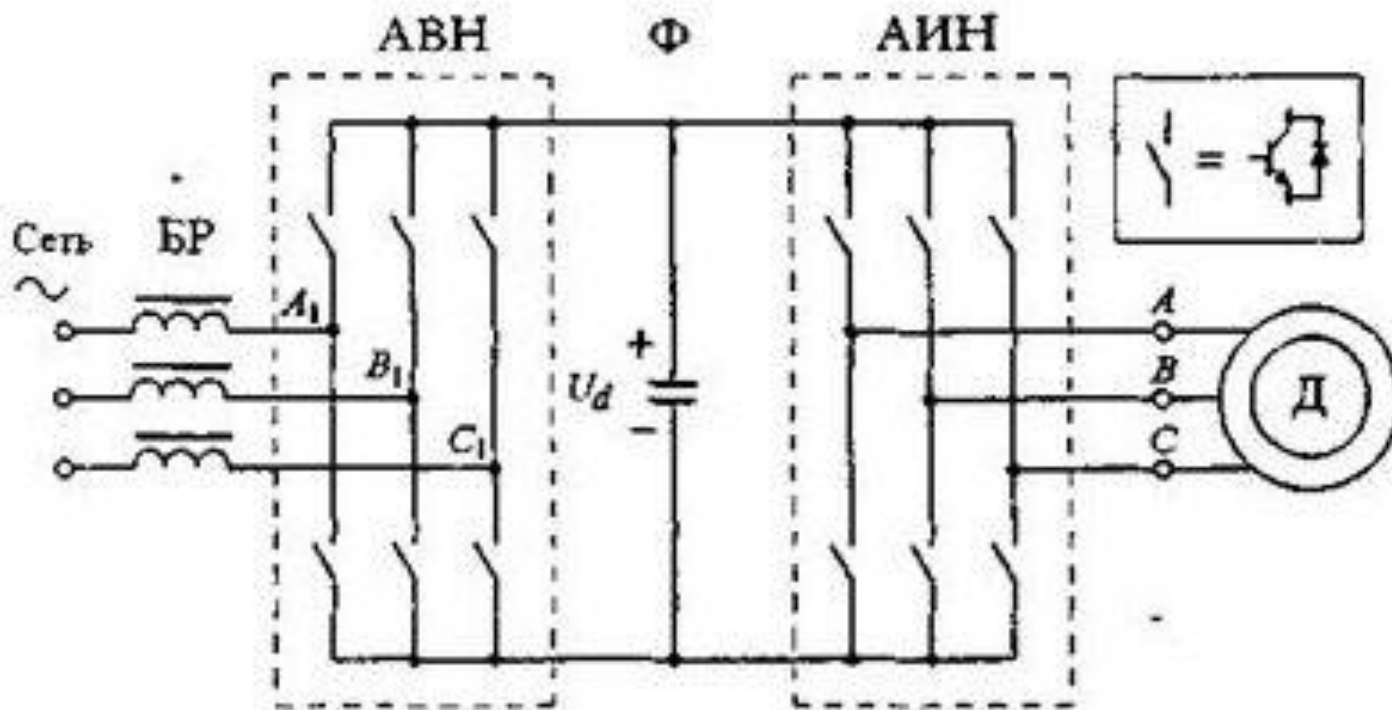


Рис.4 – Структура силовых цепей двухзвенного ПЧ с активным выпрямителем и автономным инвертором напряжения

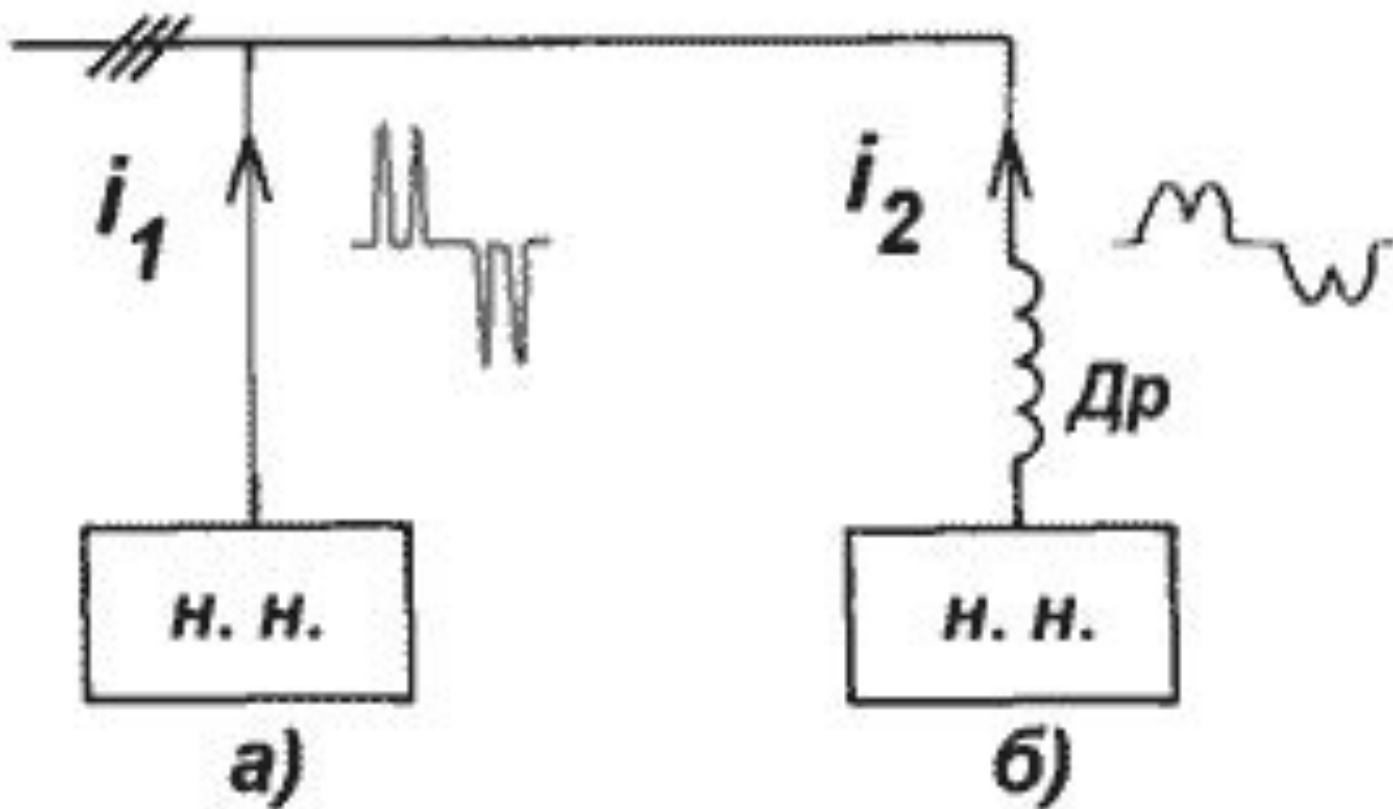
Способы подавления высших гармоник

путем применения:

- линейных дросселей,
- пассивных фильтров,
- разделительных трансформаторов,
- магнитных синтезаторов,
- активных кондиционеров гармоник.

Включение линейных дросселей

- Такой дроссель имеет малое значение индуктивного сопротивления на основной частоте 50 Гц и значительные величины сопротивлений для высших гармоник, что приводит к их ослаблению



**Кривые токов нелинейных нагрузок:
а) без дросселя, б) при
последовательном включении
дросселя.**

Значения коэффициента искажения тока на входе трехфазного мостового выпрямителя при различных значениях относительного индуктивного сопротивления дросселя на основной частоте ($X_{др}$)

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n \geq 2} I_n^2}}{I_1}$$

- коэффициент искажения тока.

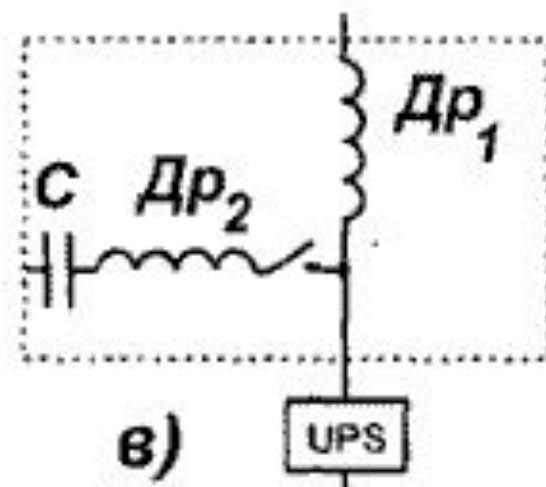
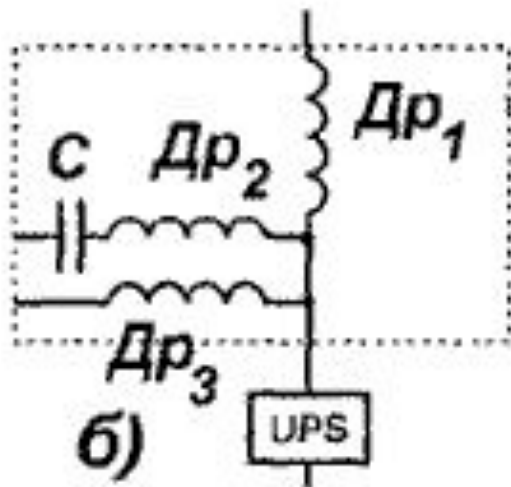
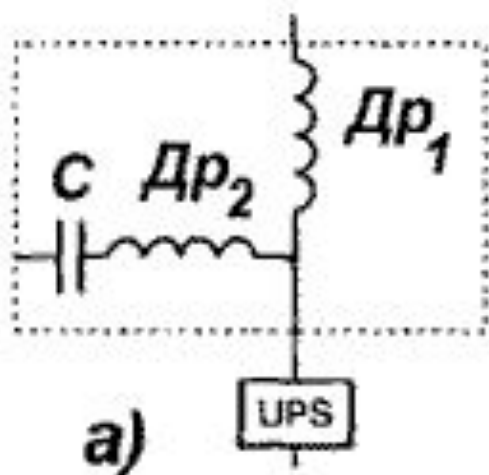
$X_{др} \%$	1	2	3	4	5	8
$K_u \%$	75	52	45	40	35	28

Применение пассивных фильтров.

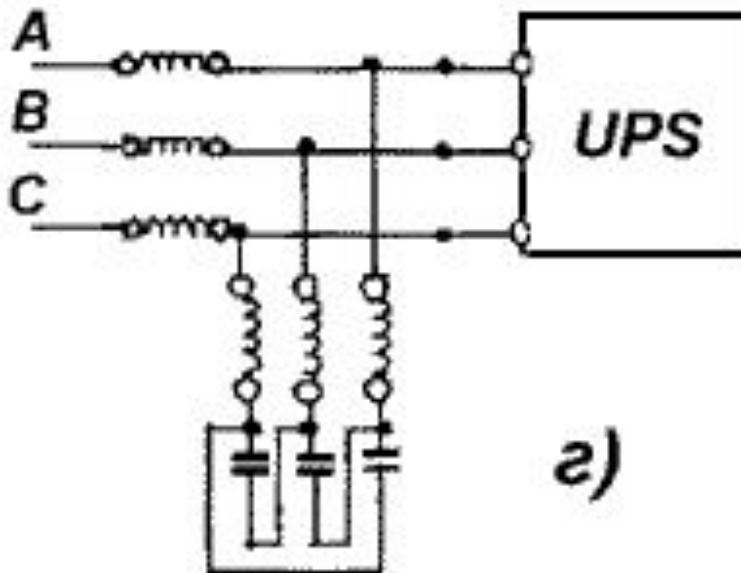
Различают следующие разновидности пассивных фильтров:

- некомпенсированный LC-фильтр;
- скомпенсированный LC-фильтр;
- некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором

Пассивные фильтры:



- а) некомпенсированный LC-фильтр;
- б) компенсированный LC-фильтр;
- в) некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором;
- г) трехфазный вариант LC фильтра.



- фильтры нашли широкое применение в системах с источниками бесперебойного питания (UPS).
- Возможность использования некомпенсированных LC-фильтров должна быть проанализирована с точки зрения согласования характеристик ДГУ и параметров фильтра. (Значительная емкостная составляющая потребляемого от генератора тока)

Применение специальных разделительных трансформаторов.

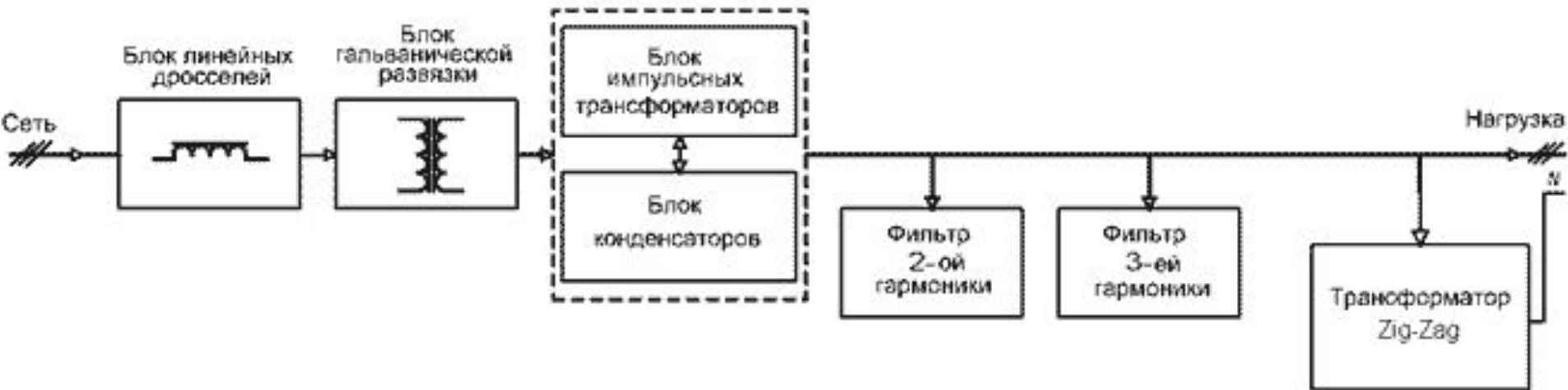
- Разделительный трансформатор с обмотками "треугольник-звезда" позволяет эффективно бороться с гармониками, кратными третьей, при сбалансированной нагрузке.

- Для ослабления влияния несимметрии нагрузки и уменьшения тока нейтрали применяют "перекрестную" (зигзагообразную) систему обмоток, где вторичная обмотка каждой фазы разбита на две части и размещена на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

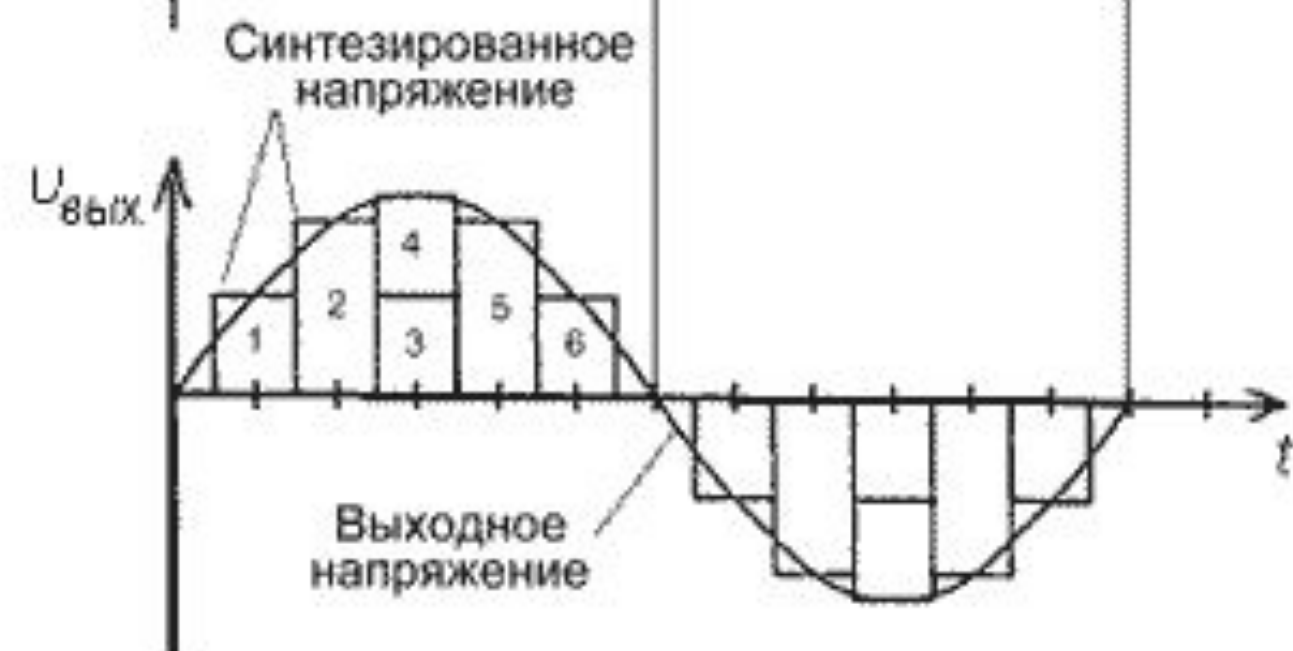
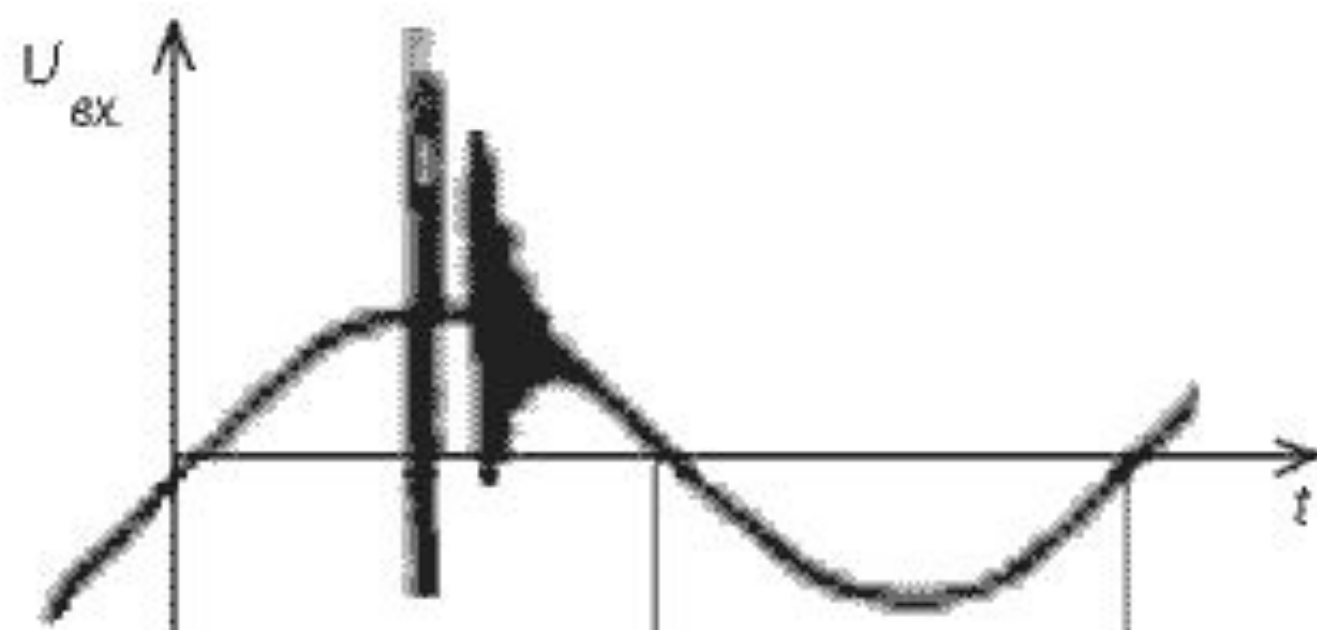
Применение магнитных синтезаторов.

- обеспечивает защиту нагрузки от различных искажений электропитания, в частности, от провалов и выбросов напряжения, импульсных и высокочастотных помех, наличия высших гармоник, вызывающих искажения синусоидальной формы входного напряжения.

Блок-схема магнитного синтезатора



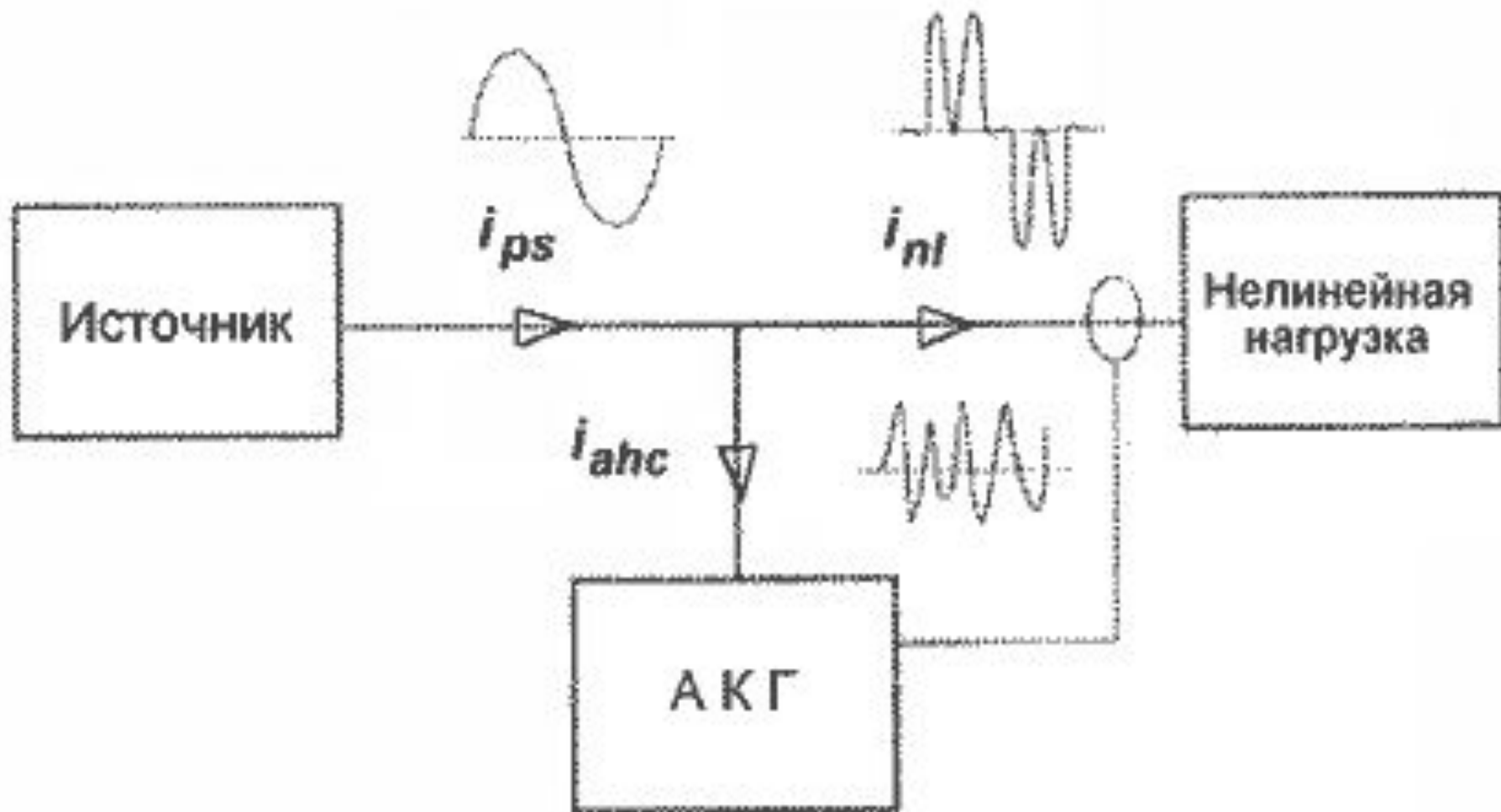
Через блок гальванической развязки энергия передается в блок импульсных трансформаторов и блок конденсаторов. Шесть соединенных друг с другом импульсных трансформаторов с насыщением создают форму синтезированного напряжения.



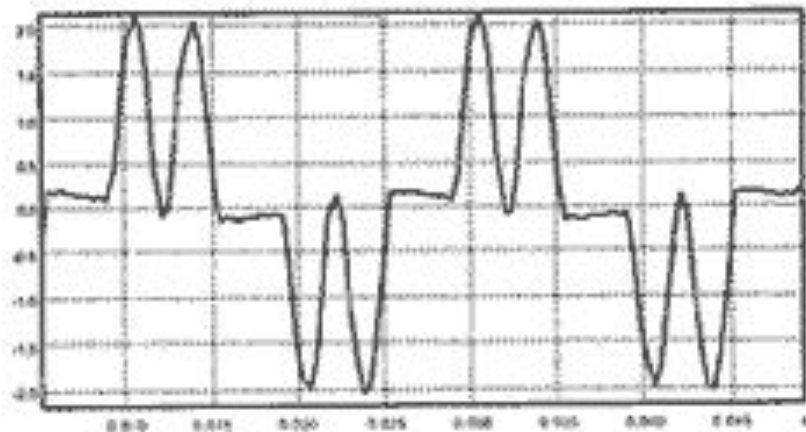
Применение активного кондиционера гармоник

- Активный кондиционер гармоник (Active Harmonic Conditioner - АНС) в отличие от магнитного синтезатора подключается не последовательно с нелинейной нагрузкой, а параллельно ей

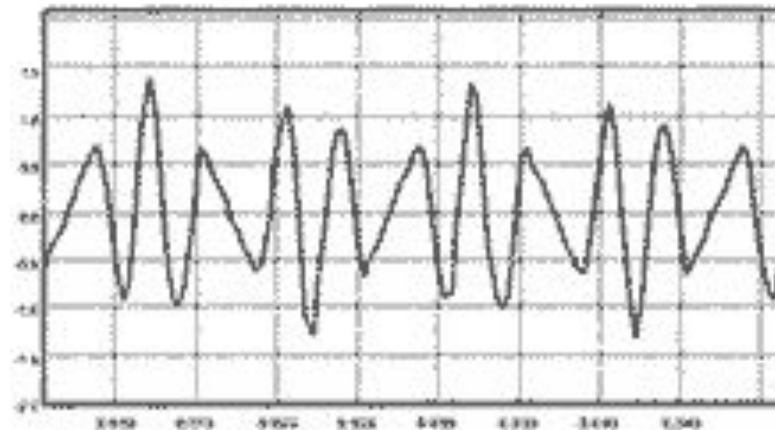
АКГ покрывает практически весь спектр высших гармоник от 2-ой до 25-ой.



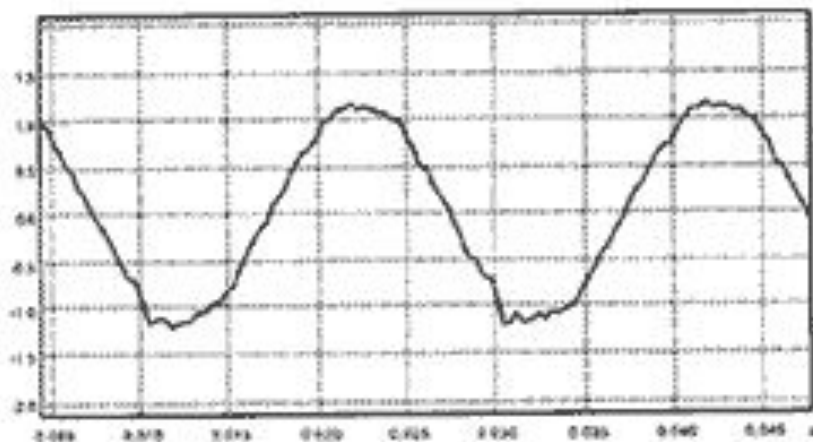
- Принцип действия активного кондиционера гармоник (АКГ) основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой. Как результат этого, высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения АКГ.



а)



б)



в)

Кривые токов в системе с АКГ:

- а) ток нагрузки;
- б) ток АКГ;
- г) ток источника.

ИСТОЧНИКИ

<http://www.tensy.ru/article02.html>

- <http://www.elpron.ru/index.php/articles/51-industrial-automation/341-activvipriamiteli>