3. 01. 2007
12. 04. 2007
1. 09. 2007
0. 04. 2008
1. 12. 2008
9.07.09
2. 04. 2010

Михаил Анчев Минчо Минчев

СИСТЕМИ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ НА "ЧУВСТВИТЕЛНИ" КОНСУМАТОРИ

София
2005

Преобладаваща част от съоръженията, свързани с човешката дейност в индустрията или бита, използват за своето функциониране електрическа енергия от електроснабдителната мрежа. Мнозинството от тези консуматори са чувствителни към промените в качеството ѝ, при отклонения в което се получават нежелани ефекти, свързани с нарушаване на нормалната им работа. Последствията често се оказват непредвидими и свързани със загуби не само на икономически ресурси и време, но понякога и с риск за живота и здравето на човека. Такива чувствителни консуматори има навсякъде около нас – при управление на технологични процеси, в банки, в болници, летища, телекомуникационни комплекси, средства за масова информация, във военното дело, при добив на нефт или използване на атомна енергия, в космоса и др. За осигуряване на безотказната им работа са прилагани и продължават да се прилагат различни инженерни решения, но едно от най-популярните е използването на системи за непрекъсваемо електрическо захранване.

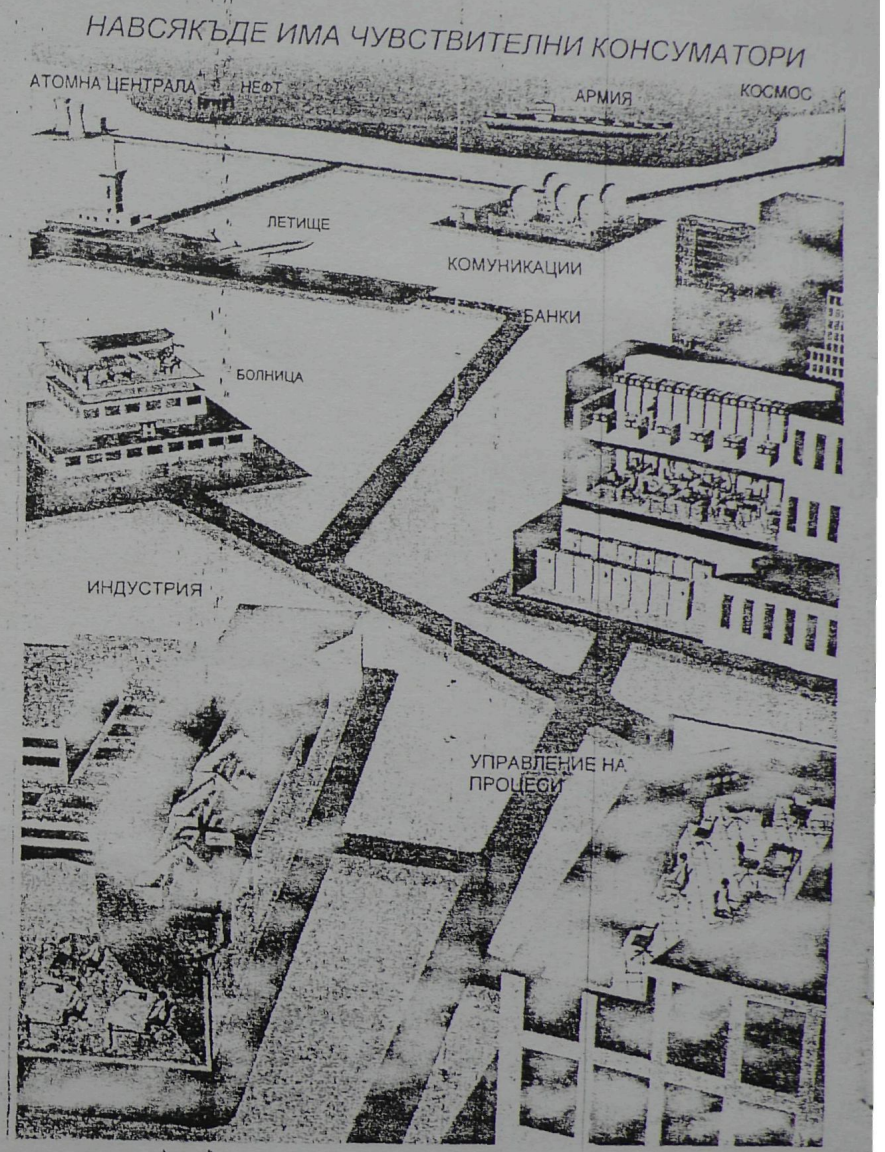
Авторите са си поставили за цел да разгледат в тази книга основните принципи на изграждането им, схемните решения и параметри на отделните блокове във вид достъпен за широк кръг специалисти. За това те се базират на достигнатото в момента ниво в практиката и научните изследвания, на съвременните тенденции в развитието и на част от своя опит. С надежда и увереност, че тя ще помогне както на практикуващи, така и при обучението на млади специалисти, те я предоставят на читателите.

СИСТЕМИ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

© Михаил Анчев, Минчо Минчев – автори

Авангард Прима
ISBN 954-323-098-6
София, 2005

2674
2006



СЪДЪРЖАНИЕ

Глава 1. Общи сведения. 5

1.1.Проблеми при класическите електрозахранващи системи. 6

1.2.Изисквания при електрическото захранване на "чувствителни" консуматори. 8

1.3.Изисквания за електромагнитна съвместимост и за качество на електроенергията. 11

1.4. Промени в качеството на мрежовото напрежение 13

1.5.Класификация на системите за непрекъсваемо електрическо захранване 16

Глава 2 . Статични системи за непрекъсваемо електрическо захранване. 18

2.1. Структурни схеми.Начини на изграждане. 18

2.2. Основни технически данни на системите за непрекъсваемо електрическо захранване. 29

2.3.Начини на захранване на чувствителни консуматори. 34

Глава 3 .Динамични системи за непрекъсваемо електрическо захранване. 38

Глава 4.Съхранение на енергията. 44

4.1. Оловни акумулаторни батерии. 45

4.2. Други елементи за съхранение на енергията. 53

Глава 5.Елементи и блокове за изграждане на системи за непрекъсваемо електрическо захранване. 54

5.1. Бързодействащи прекъсвачи и превключватели. 54

5.2.Токоизправители. 64

5.3. Активни и пасивни силови филтри. 79

5.4. Преобразуватели на постоянно в постоянно напрежение. 100

5.5. Преобразуватели на постоянно в променливо напрежение. 116

5.6. Елементи за защита от външни свръхнапрежения. 141

Глава 6. Комуникация на системите за непрекъсваемо електрическо захранване с други системи. 150

Глава 7 . Резервно електрическо захранване. 154

Литература 159

Приложения 162

ГЛАВА 1
ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

През последните години рязко нараства броят на т.н. "чувствителни" консуматори (Critical equipment, Sensible Equipment) на електрическа енергия. Към тях се причисляват както отделни устройства, така и сложни комплектни обекти, чиято нормална работа силно се влияе от параметрите на електрическата енергия.

Към "чувствителните" консуматори спадат:

- компютри и компютърни системи;
- електрическо оборудване за непрекъснати технологични процеси;
- болници и други медицински обекти с модерно обзавеждане;
- комуникационни системи и съоръжения;
- служби за сигурност и алармени системи;
- наземно авиационно оборудване;
- пожарна охрана;
- военни обекти.

Действащите в момента стандарти за качеството на електрическата енергия, която се доставя чрез електроснабдителните предприятия у нас и в чужбина не са съобразени със специфичните изисквания за нормалната работа на "чувствителните " консуматори. Те са съобразени с изискванията за нормална работа на традиционното електрическо оборудване, което не е чувствително както към редица смущения, така и към прекъсвания на електрическото захранване. Например според определенията на БДС EN 50160 за "краткотрайно" прекъсване на електрическото захранване се приема прекъсване с продължителност по-малка от 3 минути. Очевидно е, че прекъсване с такава продължителност е недопустимо за който и да е от посочените по-горе "чувствителни" консуматори.

Съществуват документи (стандарти и др.п.), които предписват отделни изисквания към електрическата енергия, които са съобразени с нормалната работа на някои "чувствителни" консуматори при определени приложения. Тези отделни изисквания не са систематизирани в единен документ.

Нормалната работа на "чувствителните" консуматори при възприетата в момента практика се осигурява чрез отделни съоръжения или цели системи. Тези съоръжения получават електрическа енергия от

публичните електрически мрежи с общото ниво на качество и посредством специални методи и средства "подобряват" качеството на електрическото захранване до ниво, което е необходимо за нормалната работа на "чувствителните" консуматори.

Такива съоръжения са добили популярност като "UPS" (Uninterruptible Power Supplies).

Това съкращение "UPS" първоначално е дефинирано за устройство със строго определена структура, но впоследствие се разширява употребата му и за системи (Uninterruptible Power Systems).

Според терминологията, възприета в Германия, се ползва "USV – Unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme" - [DIN – EN 50091] и се ползва за системи.

1.1. ПРОБЛЕМИ ПРИ КЛАСИЧЕСКИТЕ ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАЩИ СИСТЕМИ

Три са проблемите, които затрудняват работата на "чувствителните" консуматори на електрическа енергия.

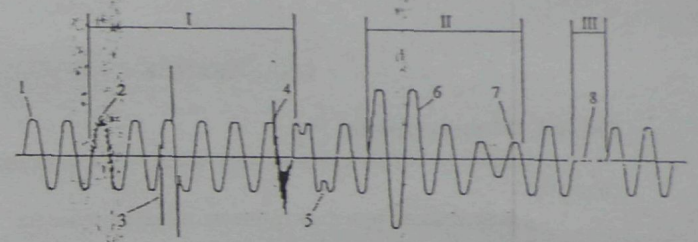
Първият проблем е наличието на "насложени напрежения" върху захранващото напрежение с промишлена честота. Тези "насложени напрежения" могат да бъдат периодични с висока честота, но могат да бъдат и импулси, които имат променлива честота на повторение. Всички те променят формата на захранващото напрежение с промишлена честота. Условно могат да се нарекат смущения от първи род.

Вторият проблем е появяването на захранващо напрежение със стойност, която се отклонява значително от неговата номинална стойност. Условно могат да се нарекат смущения от втори род.

Третият проблем са прекъсвания в захранващото напрежение. Условно могат да се нарекат смущения от трети род.

На фиг. 1.1 са показани трите вида смущения.

С позиция 1 е означено захранващо напрежение със синусоидална форма, което съответства на изискванията. С 2 са обозначени насложени периодични напрежения. С 3 са посочени еднократно появяващи се пикове, насложени върху захранващото напрежение. С 4 са показани преходни колебателни процеси, 5 илюстрира поява на хармонични съставящи в напрежението, 6 и 7 обозначават повишено и понижено напрежение, а 8 – прекъсване на захранващото напрежение.



Фиг. 1.1

Отстраняването на тези различни видове смущения се осъществява чрез различни методи и средства.

Смущенията от първи род в общият случай се отстраняват чрез подходящи електрически филтри.

Смущенията от втори род в общият случай се отстраняват чрез стабилизатори на напрежение. Някои стабилизатори на напрежение освен че поддържат напрежението на изхода си в тесни граници /т.е. стабилизират го/, също така и подтискат насложените напрежения, т.е. имат и филтриращо действие.

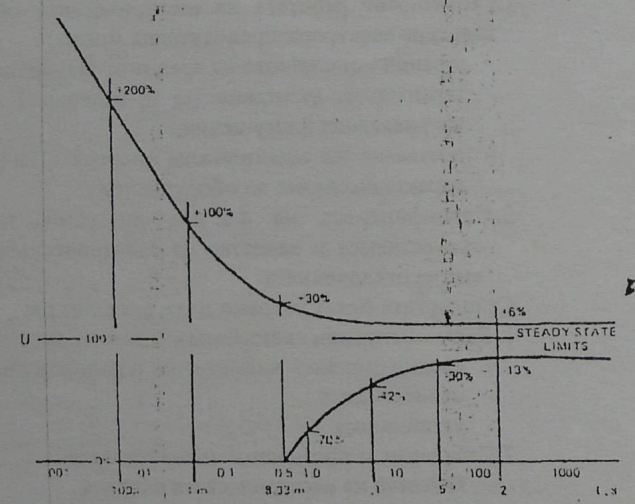
Смущенията от трети род се отстраняват чрез специални устройства, които в структурата си съдържат акумулатор на електрическа енергия, който поддържа електрическото захранване на консуматорите, когато отпадне захранващото напрежение от мрежата – наречени "UPS", както беше описано по-горе. Според възприетото определение от началото на прилагане на тези устройства, под "UPS" се разбира "система, състояща се от акумулаторна батерия, токоизправител, инвертор и управляващи устройства, която е създадена да осигури синусоидално захранващо напрежение без смущаващи сигнали за краен период от време. UPS контролира напрежението и честотата на електрическата мрежа. Системата може да бъде основният (on - line) или алтернативният (stand – by) източник на захранване на съответния товар".

Според структурата си и възприетите алгоритми на работа, устройствата "UPS" могат да отстранят както проблемите с прекъсване на електрическото захранване, така и да осъществят пълно "подобряване" на захранващото напрежение с отстраняване и на трите вида проблеми.

1.2. ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ЕЛЕКТИЧЕСКОТО ЗАХРАНВАНЕ НА "ЧУВСТВИТЕЛНИ" КОНСУМАТОРИ

Както беше вече посочено, специфичните изисквания към електрическото захранване на "чувствителни" консуматори се съдържат в различни документи, които не винаги са прецизно съгласувани.

Първото по-общо изискване към електрическото захранване на компютърни системи е извършено от CBEMA (Computer Business Equipment Manifacturer's Association). Предложена е т.н. "CBEMA крива", показана на фиг1.2.



Фиг.1.2

В IEEE standart 446 тази крива е препоръчана за използване. Тя определя превишенията в стойността на захранващото напрежение и продължителността на тези превишения. За кратко време (100 μs) се допуска двукратно превишение на захранващото напрежение, докато в установен режим отклонението е +6 %. Допуска се прекъсване на захранващото напрежение с продължителност един полупериод . При честота 60 Hz това съответства на интервал от 8,33 ms, както е показано

на фиг. 1.2. При честота на захранващото напрежение 50 Hz, каквато е възприета в нашата страна и в преобладаващата част от страните в света, този интервал е 10 ms. Дадени са и границите на нарастване на напрежението след прекъсване. Напрежението може да остане по-ниско от номиналното с 30 % в момент 0,5 s от началото на прекъсване.

Освен тези граници на отклонение на напрежението, в документа се изисква коефициентът на общите хармонични изкривявания - THD да не превишава 5 %. При трифазни системи се допуска несиметрия между трите напрежения до 3-6 %. Към честотата на захранващото напрежение се поставя изискване за отклонение от ±0,5 %.

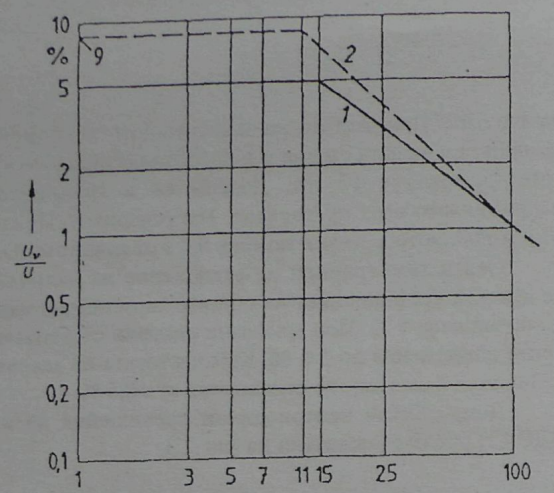
Допустимите непериодични превишения на напрежението според БДС EN 60439 са показани на фиг.1.3.

Фиг.1.3

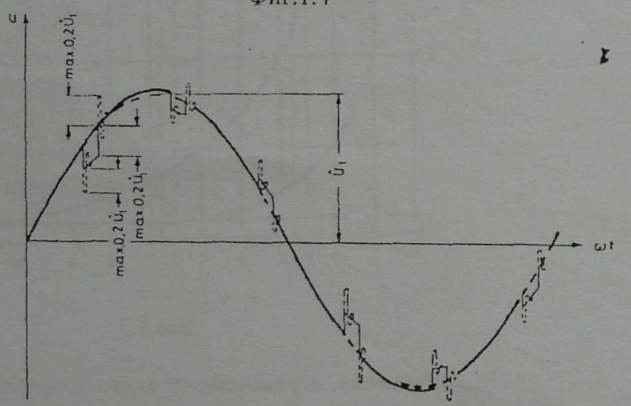
Пренапрежения, ограничени от крива 1, трябва да се издържат от компютърните системи без повреда и без задействане на средства за защита. Пренапрежения, ограничени от крива 2, не трябва да предизвикват повреда, но се допуска елементи от защитата да задействат.

Тези изисквания съвпадат и с други стандарти, например VDE 0160, IEC 439, DIN 57160 и др.

Съдържанието на хармонични съставящи се ограничава от изискванията на БДС EN 60439, VDE 0160, IEC 439, DIN 57160 и др., според фиг.1.4. Може да се проследи, че изискванията на тези стандарти и на CBEMA са практически идентични.



Фиг.1.4



Фиг.1.5

Допустимите отклонения от моментните стойности на напрежението според посочените по-горе стандарти са показани на фиг. 1.5. Тези изменения се причиняват от процеса "комутация" на мощни

токоизправители. Продължителността на означените отклонения не трябва да бъде по-голяма от 14°ел.. За база е приета амплитудната стойност на основния хармоник на напрежението U_1.

1.3. ИЗИСКВАНИЯ ЗА ЕЛЕКТРОМАГНИТНА СЪВМЕСТИМОСТ И ЗА КАЧЕСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯТА

В общия случай съществуват стандарти, регламентиращи взаимодействието между три системи – захранваща мрежа, електрическо оборудване и околно пространство (в частност човека).

Целите на стандартите, свързани с взаимодействието между захранващата мрежа и електрическото оборудване са следните:

1. Гарантиране работата на електрическото оборудване, свързано към една електроразпределителна мрежа:
   - ограничаване нивото на вредните смущения и изкривявания;
   - гарантиране възможността за издържане определено ниво на изкривявания и смущения;
   - доставяне на електрическа енергия с качество съвместимо с характеристиките на оборудването.
2. Специфициране на фигури, диаграми, таблици за емисии, съвместимост и качество на електрическата енергия при всеки вид на отклоненията.

Стандартите могат условно да се разделят на:

1. Регламентиращи електромагнитната съвместимост (ЕМС):
   - вредни емисии – хармонични и радиосмущения
   - съвместимост
   - устойчивост
2. Стандарти за променливотоковата мрежа:
   - качество на електрическата енергия
   - ограничение на хармоничните

Стандартите, регламентиращи емисията на хармонични в захранващата мрежа са следните:

IEC 100-3-2; EN 61000-3-2 - В сила от 01.01.1996 г. Стандартите са за лимитиране хармоничните на мрежовия ток. Прилагат се при електрическо оборудване с консумиран ток <16A на фаза [18].

IEC 1000-3-4; EN 61000-3-4 – В сила от 01.01.1997 г. Съдържат указания за лимитиране на хармоничните на мрежовия ток и са за консумиран ток >16A на фаза [19].

Стандартите, регламентиращи съвместимост:

Това са разгледаните по-горе стандарти, регламентиращи съвместимост на електрическото оборудване, свързано към електрически мрежи ниско напрежение. Те дефинират електрическите характеристики, с които трябва да работи това оборудване. Ограничението за коефициент на несинусоидалност на мрежовото напрежение е 8 %. Електрическото оборудване трябва да остава работоспособно при такъв коефициент на несинусоидалност.

Стандартите, регламентиращи качеството на електрическата енергия в електрическите мрежи:

Европейският стандарт EN 50160 – В сила от 01.01.1994 г. Дефинира хактеристиките на електричество "ниско напрежение", доставяно от електрическата компания. Задължава електрическите компании да осигуряват дадено качество на електрическата енергия. Ограничението за коефициент на несинусоидалност е 8%. Следствието от прилагането на този стандарт е: За да осигурят необходимото качество компаниите трябва да следят за намаляване на смущенията, разпространявани в техните мрежи от потребителите.

Освен разгледаните най-често прилагани европейски норми (EN) и стандарти на международната електротехническа комисия (IEC) трябва да се има предвид, че съществуват и други :

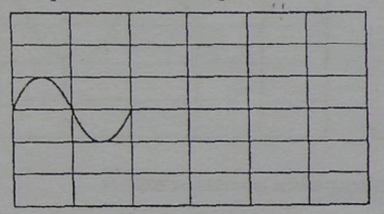
1. IEEE 519-2 – По отношение на потребителите ограничава коефициента на несинусоидалност на тока от мрежата на 5%. По отношение на електрическите компании ограничава коефициента на несинусоидалност на мрежовото напрежение на 5%.
2. Национални стандарти. Например швейцарският ASE 3600 или английският GS/3.

При инсталиране на дадена система за непрекъсваемо електрическо захранване трябва да се има предвид от една страна - какви са изискванията на действащия в страната на инсталиране стандарт и от друга - по кой стандарт са извършени изпитанията на системата в страната - производител (обикновено се указва в техническите данни).

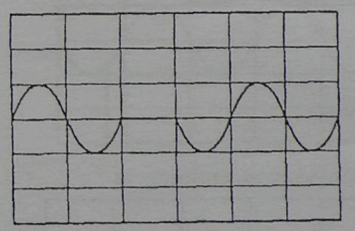
1.4. ПРОМЕНИ В КАЧЕСТВОТО НА МРЕЖОВОТО НАПРЕЖЕНИЕ

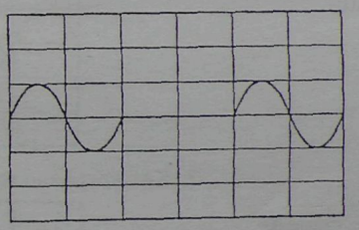
Най-често инсталирането на система за непрекъсваемо електрическо захранване се свързва от потребителите с необходимост от осигуряване работата на отговорен консуматор при отпадане на мрежовото напрежение. Трябва да се има предвид обаче, че на практика са възможни различни промени в качеството на това напрежение, както бе посочено по-горе, като:

1. Отпадане за продължително време

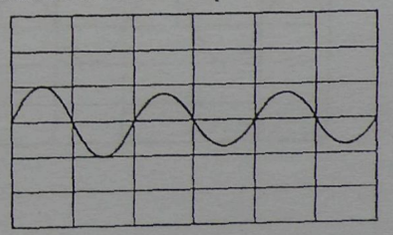


2. Отпадане за един полупериод или цял период

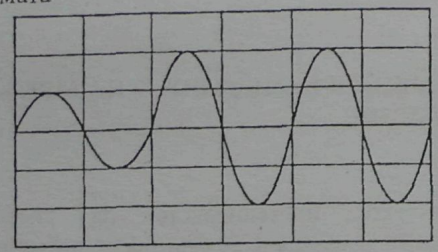




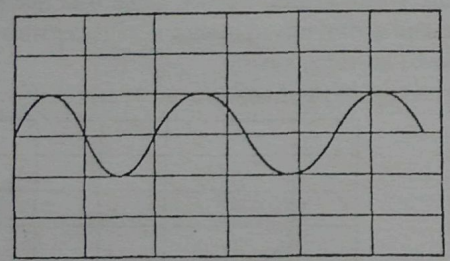
3. Намаляване стойността на мрежовото напрежение под допустимата



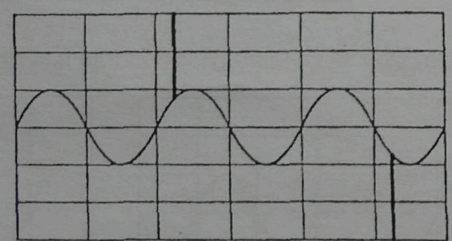
4. Увеличаване стойността на мрежовото напрежение над допустимата



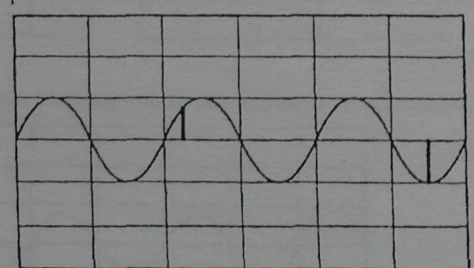
5. Промяна честотата на мрежовото напрежение



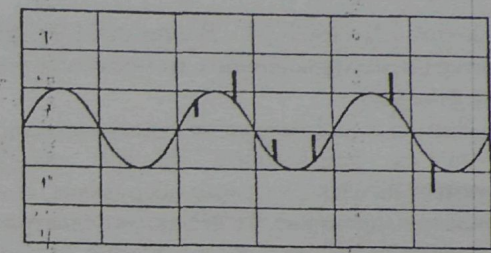
6. Краткотрайни пренапрежения



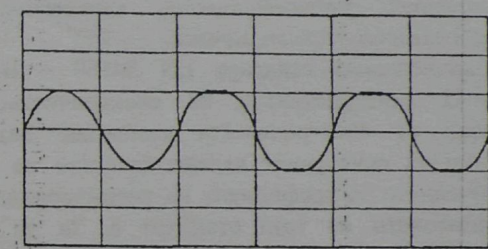
7. Краткотрайно намаляване на стойността



8. Непериодични смущения, насложени върху кривата на мрежовото напрежение



9. Увеличаване коефициента на несинусоидалност на напрежението над допустимия.



Разбира се не всички изброени нарушения в качеството на мрежовото напрежение се отразяват по еднакъв начин на различните консуматори. Това зависи от вида на консуматора – дали използва пряко променливотоковата електрическа енергия или тя предварително се преобразува в постояннотокова в отделен захранващ блок (например при персоналните компютри); дали това преобразуване е свързано и със стабилизиране изходните напрежения на този блок и т.н. Освен това добре е да се знае, че съществуват и други начини да се защити консуматор срещу част от тези промени. Така например за избягване на 3 и 4 съществуват стабилизатори на променливо напрежение; за избягване на 6, 7, 8 и 9 някои фирми произвеждат филтри , защитаващи консуматора. На системата за непрекъсваемо захранване не бива да се гледа като на универсално средство за защита от всички възможни варианти, т.к. както ще стане ясно от разглеждането в следващата глава, това зависи от структурата и начина на изграждане на самата система. Някои системи осигуряват захранване при отпадане на мрежовото

напрежение за по- продължително време , но не противодействат на други промени. Все още на пазара се предлагат дори системи за непрекъсваемо електрическо захранване , чието изходно напрежение има правоъгълна форма (най-често с малка мощност за захранване на персонални компютри).

И все пак, както ще стане ясно по-долу, съществуват структури за изграждане на такива системи, които позволяват да се избегнат всички промени в качеството на мрежовото напрежение, които биха се отразили неблагоприятно на даден отговорен консуматор.

1.5. КЛАСИФИКАЦИЯ НА СИСТЕМИТЕ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

Според акумулатора на енергия и средствата за преобразуване на енергията, най-общо системите за непрекъсваемо електрическо захранване се делят на :

- статични;
- динамични.

В перспектива трябва да се очаква че ще се развият нови системи на база на т.н. "водородни технологии". Класическата днес акумулаторна батерия ще бъде заменена от акумулатор на водород и горивна клетка. Горивната клетка произвежда електрическа енергия при постоянно напрежение на база на синтез на водород и кислород с отпаден продукт вода. Съхраняването на водород няма да бъде в резервоари, а в т.н. металхидридни съединения. Т.е. водородът ще бъде в свързано състояние и рисковете от класическото съхраняване в резервоари са избегнати. Нещо повече, развиват се в момента обратими горивни клетки. Те могат да работят и като горивни клетки и като електролизери. При захранване с електрическа енергия разлагат вода на водород и кислород. Следователно ще бъде възможно такава система сама да произвежда водород, когато има електрическо захранване и този водород да се използва за генериране на електрическа енергия при прекъсване на електрическото захранване.

Статичните UPS отговарят на определението на ANSI, посочено по-горе. Акумулирането на енергия се осъществява от електрохимични акумулатори (вторични източници), а необходимите преобразувания на електрическата енергия се осъществяват от полупроводникови

преобразуватели, които са без движещи се части и се класифицират като "статични".

Динамичните UPS се реализират с преобразуватели с въртящи се части. При тях енергия се запасява за определено кратко време като "кинетична" , във въртящи се маховици. Необходимите преобразувания на енергията се осъществяват от електрически машини. Продължителната работа на тези динамични UPS при отпадане на електрическото захранване се поддържа от двигатели с вътрешно горене.

Тези две групи UPS ще бъдат разгледани по-нататък поотделно, с описание на принципното им устройство, основните им параметри, както и елементите и блоковете от които се изграждат.

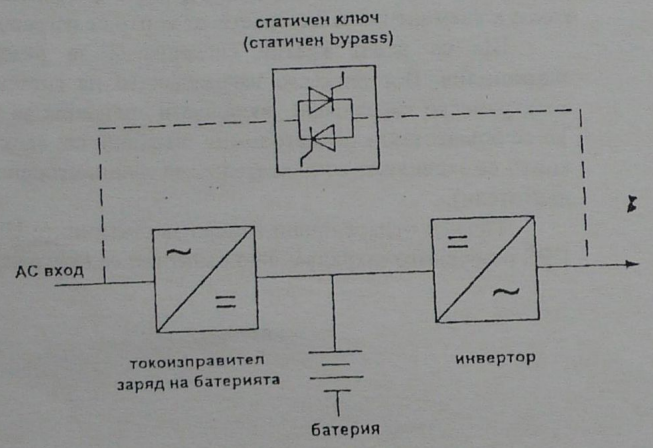
Ще се дадат кратки сведения и за **резервно електрическо захранване**. Все по-често изграждането на системи за непрекъсваемо електрическо захранване включва и решения за резервно захранване. То се осъществява от автономни въртящи се електрически генератори, които се задвижват от двигатели с вътрешно горене (най-често дизелови двигатели).

Това се отнася преди всичко за статичните UPS. При динамичните UPS резервното захранване по същество се съдържа в структурата им.

ГЛАВА 2
СТАТИЧНИ СИСТЕМИ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

2.1. СТРУКТУРНИ СХЕМИ. НАЧИНИ НА ИЗГРАЖДАНЕ

Технологичните решения за реализация на системи за непрекъсваемо електрозахранване са се развивали заедно с развитието на консуматорите, изискващи такова захранване. От началото на 1970 год. във връзка с осигуряването на големи изчислителни машини приложение са намерили т.н. "on-line UPS", чиято структура е пояснена на фиг.2.1.

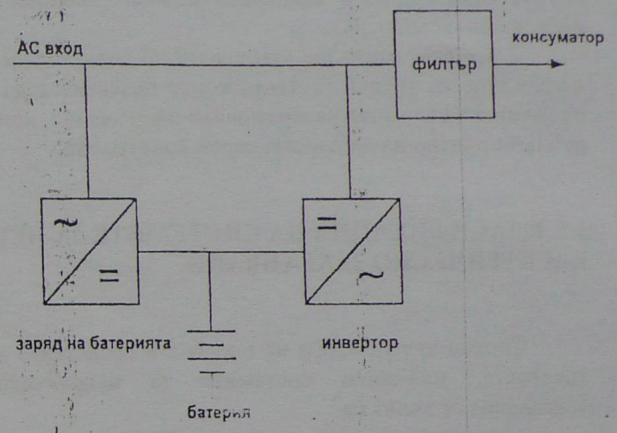


Фиг.2.1

При него инверторът работи непрекъснато, захранвайки товара , като получава постояннотокова енергия от токоизправителя. Последният осигурява и енергия за заряд на акумулаторната батерия. Статичният "bypass" е в състояние да прехвърли захранването на консуматора директно към променливотоковия вход (захранващата мрежа) без прекъсване в случай на повреда в основния канал или при процеси на първоначално включване на консуматора, когато той консумира повишен ток. Вижда се, че структурата не съответства точно на

наименованието. Така че някои автори прецезират термина "on-line" в смисъл на "инвертор, захранващ непрекъснато товара и включен последователно с мрежата"[30].

От началото на 1980 год. се разви технологията на т.н. " off-line UPS" в противоположност на "on-line" , чиято структура е пояснена на фиг.2.2.



Фиг.2.2

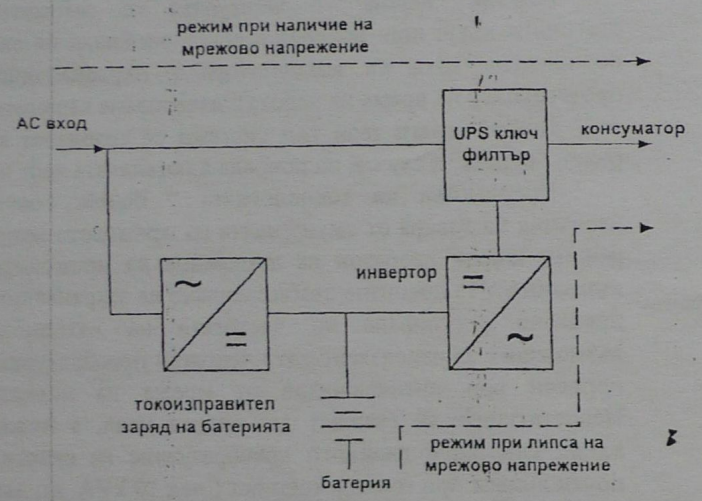
Терминът "off-line" е използван по-скоро като противоположен на "on-line" за предната конфигурация, т.к. тук той би трябвало да се схваща в смисъл на "паралелно включване на инвертора към мрежата". Той не работи непрекъснато, а се намира в т.н. режим на пасивна готовност . Консуматорът се захранва от него само в случай на излизане на напрежението от променливотоковия вход извън допустимите граници, в частност при липсата му. Функциите на блока, означен като филтър, освен филтриращи при някои системи включват и стабилизираща роля по отношение стойността на напрежението към товара. И тук терминът "off-line" не отразява точно същността на UPS-системата.

С развитието на мини и микрокомпютрите, както и на системите за телекомуникации, се появиха нови схемни решения и при системите, осигуряващи непрекъсваемото им захранване. Новият стандарт на Международната Електротехническа Комисия (International Electrotechnical Commission) IEC 62040-3 и неговият европейски

еквивалент ENV 50091-3 понастоящем дефинират три типа топологии на UPS – системи [30]:

- passive standby;
- line interactive;
- double conversion.

Конфигурацията "passive standby" – фиг.2.3 напомня много "off-line" и особеностите й са следните:



Фиг.2.3

За режим при наличие на мрежово напрежение – товарът се захранва непрекъснато от променливотоковата мрежа през филтър, който може да има и стабилизиращи функции. Стандартът не изяснява напълно стабилизиращите функции на блока , но споменава, че той може да съдържа например ферорезонансен стабилизатор. Инверторът се намира в режим на пасивна готовност. Акумулаторната батерия с в режим на заряд;

За режим при липса на мрежово напрежение – Когато захранващото напрежение излезе вън от допустимите граници, консуматорът се превключва на захранване от изхода на инвертора . Това трябва да стане за време по-малко от 10 ms с помощта на ключа. Този режим продължава или докато батерията се разреди до

допустимото ниво, или до появата на мрежово напрежение в определените граници.

Предимствата на тази конфигурация са: опростена структура, ниска цена, малък обем и тегло. Недостатъците са: зависимост на напрежението, захранващо консуматора в нормален режим, от смущенията в захранващата мрежа; понякога времето на превключване се оказва дълго за консуматора; честотата на захранващото напрежение за консуматора не може да се регулира. Конфигурацията се прилага при по-ниски мощности (под 2 kVA). Не може да се използва като честотен преобразувател за преход между мрежи с различен стандарт на напреженията.

Характерно за конфигурацията "line interactive" – фиг.2.4 е наличието на двупосочен преобразувател.

Фиг.2.4

Стандартът дефинира три възможни режима на работа:

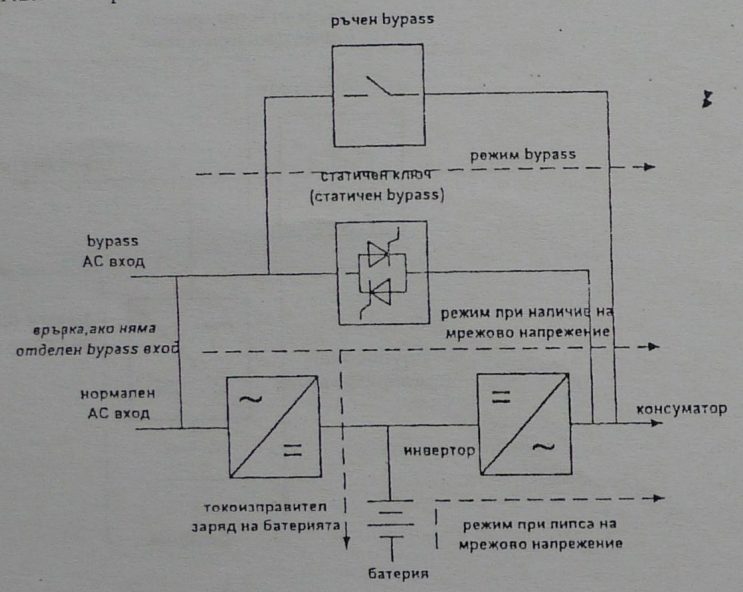
Режим при наличие на мрежово напрежение – Консуматорът се захранва от това напрежение, а акумулаторната батерия се зарежда от двупосочния преобразувател, работещ като AC/DC конвертор;

Режим при липса на мрежово напрежение – когато то излезе вън от допустимите граници, консуматорът се захранва с енергия от батерията посредством преобразувателя, работещ като DC/AC конвертор. Статичният ключ прекъсва връзката към мрежата, за да развърже изхода на преобразувателя от нея.

Режим "bypass" – Някои системи от този вид могат да бъдат снабдени с възможност за ръчно прехвърляне на захранването на консуматора директно само към захранващата мрежа в случай на повреда в системата.

Предимствата на тази конфигурация са: почти съизмерима цена с първата и по-ниска от третата. Недостатъците й : няма пълна изолация на консуматора от напрежението на захранващата мрежа и той е податлив на смущенията му; няма възможност за регулиране на честотата на захранващото консуматора напрежение. Приложенията се свеждат до средномощни консуматори (под 10 kVA) , които не изискват захранващо напрежение с честота, различна от тази на мрежата.

Характерна особеност на конфигурацията " double conversion" - фиг.2.5 е захранването на консуматора винаги от изхода на инвертора.



Фиг.2.5

Стандартът дефинира три режима на работа:

Режим при наличие на мрежово напрежение – консуматорът се захранва непрекъснато от изхода на инвертора чрез преобразуване на променливото напрежение на захранващата мрежа веднъж в постоянно чрез токоизправителя, а после още веднъж в променливо. От тук идва и наименованието на топологията. Акумулаторната батерия е в режим на заряд.

Режим при липса на мрежово напрежение – при излизането му вън от допустимите граници консуматорът пак се захранва от изхода на инвертора, получаващ енергия от батерията.

Режим "bypass" – Осигурява се автоматично посредством статичния ключ при: повреда в основния канал на системата; преходно повишаване тока на консуматора (първоначално включване или претоварване по време на работа); изчерпване капацитета на батерията.

Почти винаги този тип системи се снабдяват и с възможност за ръчен "bypass" в случай на повреда в останалата част на системата.

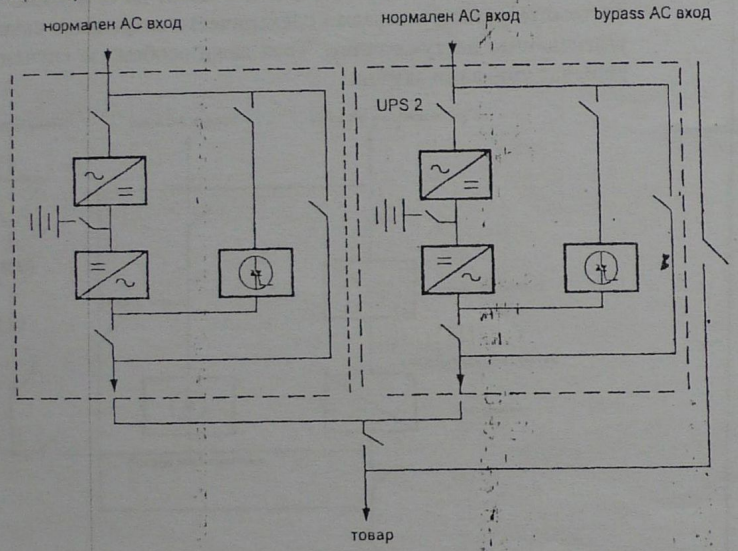
Предимства на технологията " double conversion" са: пълна изолация на товара от смущенията на мрежовото напрежеие в нормален режим; широк диапазон на изменение на мрежовото напрежение при възможност за прецизно стабилизиране на захранващото за консуматора; прецизно регулиране на честотата на изходното напрежение и възможност за използване като честотен преобразувател; няма преходни процеси при превключване от мрежа на инвертор или обратно. Недостатъците се свеждат до: висока цена, в някои случаи намален к.п.д., свързан с двойното преобразуване на енергията. Използват се почти винаги при голяма мощност (над 10 kVA до няколко MVA) и при нужда от честотно преобразуване.

Трябва да се отбележи, че от направеното разглеждане на стандартизираните три конфигурации се вижда, че при някои от тях могат да бъдат открити елементите и функциите на използваните по-рано термини " on-line" и " off-line". Въпреки това тези термини не се препоръчват за използване понастоящем, т.к. се смята, че не отразяват точно същността на изпълняваните функции и възможностите на съответната система [44].

Освен тези основни блокове, определящи наименованието на съответната топология, UPS- системите съдържат и: системи за управление, регулиране и диагностика на преобразувателите; системи за подходящ температурен режим; системи за диалог с потребителя (интерфейси и софтуер); системи за диалог с персонал, осъществяващ

профилактика или ремонт; системи и софтуер за телекомуникационна връзка с производителя. Така че като цяло UPS-системата представлява сложно, комплексно устройство, което обикновено се отличава с много голяма надеждност. И въпреки това възможни са дефекти и в нея, което налага при изключително отговорни консуматори (например болници или болнични помещения; управление на транспортни средства) да се предвидят допълнителни мерки.

За повишаване на надеждността често се предвиждат различни схемни варианти. Първият е пояснен на фиг. 2.6 и основно изискване към двете отделни системи за непрекъсваемо електрозахранване е да могат да работят паралелно, а всяка от тях да може да отдаде пълната мощност, изисквана от товара.

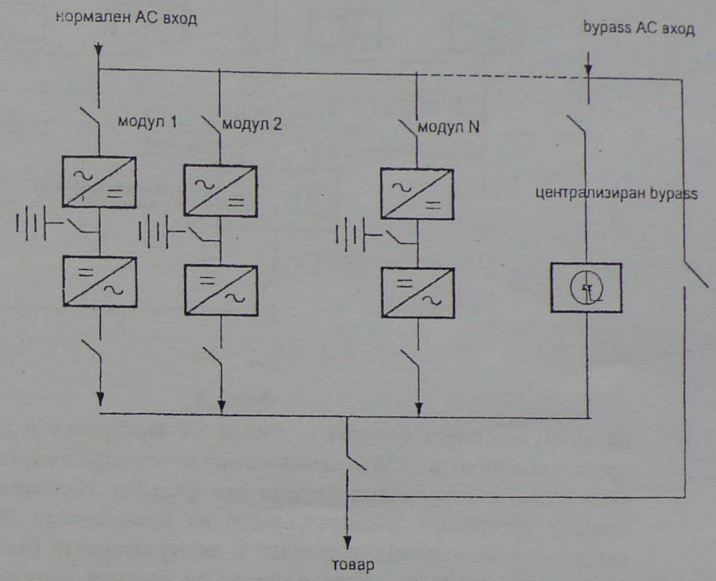


Фиг. 2.6

При нормално състояние мощността се разпределя равномерно между двете системи, а при дефект в едната се отдава от другата. Предвижда се и възможност за т.н. "централизиран bypass".

При голяма мощност някои фирми изпълняват самата система за непрекъсваемо електрозахранване на модулен принцип с възможност за паралелна работа на отделните модули и централизиран "bypass".

Фиг.2.7 пояснява този вариант. Често при тях съществува възможност за автоматично включване и изключване на отделни модули в зависимост от натоварването по мощност и състоянието на модулите.

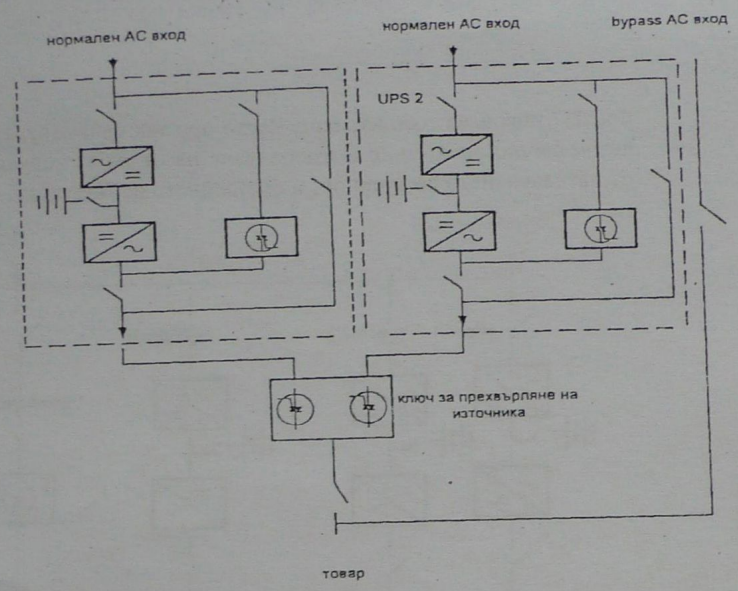


Фиг.2.7

Друг вариант за повишаване на надеждността е показан на фиг.2.8 за две системи за непрекъсваемо електрозахранване. Схемата съдържа т.н. ключ за прехвърляне на източника (source transfer switch).

Във всеки момент от време работи само едната система, като другата е в готовност за работа. При дефект в едната захранването на товара се поема от другата система, като прехвърлянето става посредством ключа. Предимство на варианта е това, че не се натоварват и двете системи. Трябва да се отбележи, че този вариант може да се разшири за повишен брой системи и повишен брой товари с различни комбинации между тях при използването на няколко ключа за прехвърляне на източниците.

Трябва да се отбележи, че при всички разгледани дотук варианти след отпадане на мрежовото напрежение времето, за което товарът ще бъде захранен, зависи от два фактора. От една страна това е състоянието



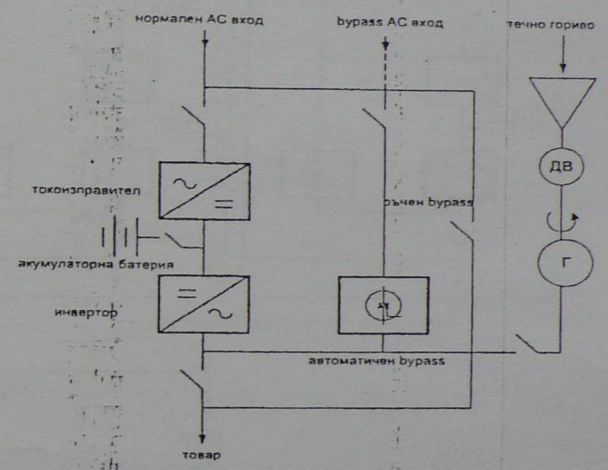
Фиг.2.8

на акумулаторната батерия – степен на зареденост и капацитет, а от друга – мощността , която самият товар консумира в момента. Ясно е , че това време е ограничено от тези два фактора. Например в случай, че товарът консумира мощност, равна на номиналната на системата за непрекъсваемо електрозахранване и акумулаторната батерия е напълно заредена времето, за което може да се осигури електрозахранване на консуматора след отпадане на мрежовото напрежение при различните фирми варира най-често в границите от 5 до 20 минути. Ако това не удовлетворява потребителя, то той има възможност да използва друга система за непрекъсваемо електрозахранване с по-голяма мощност, отколкото неговият товар ще консумира, консултирайки се с производителя какво увеличаване на времето ще получи в този случай, разбира се за сметка на по-висока цена. Друг вариант е да поиска монтиране към първата система на друга акумулаторна батерия с по-голям и подходящ за случая капацитет, разбира се ако производителят предлага това, което често се оказва по-евтино.

При много отговорни консуматори към разгледаните дотук блокове на системата за непрекъсваемо електрозахранване се прибавя и

двигател – генераторна група, захранвана от течно гориво (т.н. резервно захранване). В този случай се разчита на захранване на товара от акумулаторната батерия чрез DC/AC преобразувателя за сравнително кратко време след отпадане на мрежовото напрежение, през което заработва двигател-генераторната група, и след изчерпване възможностите на акумулаторната батерия, ако все още няма мрежово напрежение, автоматично захранването на товара се поема от генератора. Така се реализира т.н. резервно електрическо захранване, което е разгледано в глава 7. Един пример за такава структура е показан на фиг. 2.9.

Интересен начин за практическа реализация на система за непрекъсваемо електрическо захранване е представен в [48]. Опростената структурна схема е показана на фиг.2.10. Тя напомня в известна степен технологията "double conversion". Този пример се разглежда за да покаже, че не винаги могат да се открият елементите на системите за непрекъсваемо електрическо захранване свързани точно по разгледаните до тук начини. Това важи особено за случаи, при които се решават уникални задачи.



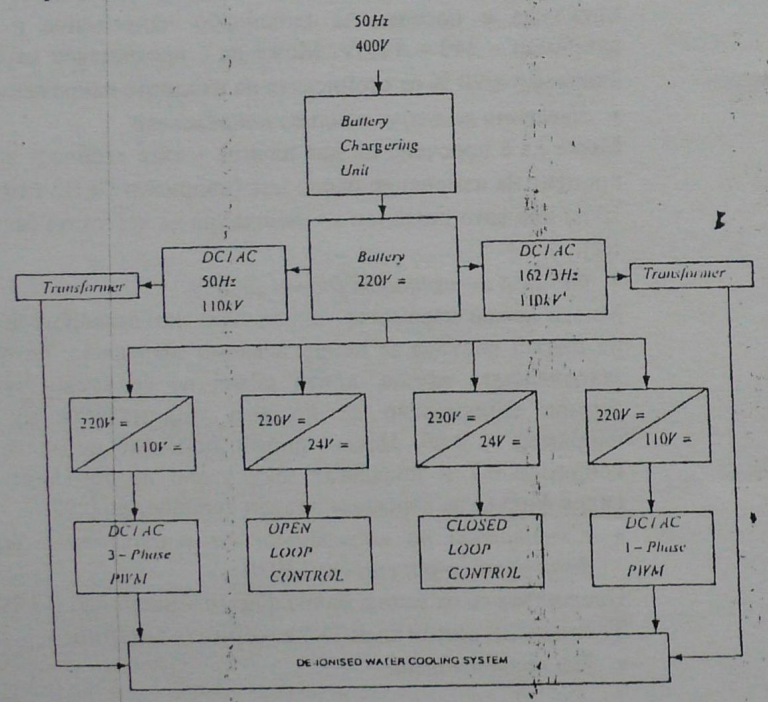
Фиг.2.9

Към захранващата мрежа е свързан преобразувател за зареждане на акумулаторната батерия. Директно от нея посредством преобразуватели

на постоянно в променливо напрежение, последващо от трансформиране с повишаване, се захранват част от консуматорите.

При това двата преобразувателя са с различна честота и различен брой на фазите. Допълнително с отделни преобразуватели на постоянно в постоянно напрежение се получават необходимите стойности за други консуматори , които могат да са и постояннотокови (например двете системи за контрол и управление на цялата инсталация).

Трябва да се отбележи, че системата [48] съдържа и други елементи, които не са показани на фиг.2.10, т.к. целта е да се илюстрира един от възможните подходи при осигуряване на непрекъсваемо електрическо захранване за различни чувствителни консуматори – променливотокови или постояннотокови, но обединени в цялостна технологична система. Естествено за целта системата за непрекъсваемо електрозахранване е уникална и е разработвана специално за случая.



Фиг.2.10

Този подход се препоръчва за прилагане в подобни случаи, но за целта е необходимо разработване от специалисти в тази област. Много често някои потребители оставят въпросите с непрекъсваемото електрическо захранване в края на процеса на реализация, разчитайки, че ще си доставят готови системи. Това не винаги се оказва възможно и подходящо, а най-често излиза и по-скъпо и ненадеждно.

В заключение на разглеждането трябва да се каже, че в последно време се появиха и някои нови наименования на системи за непрекъсваемо електрозахранване, например : "quasi online UPS", " semi online UPS", "true online UPS", "online-sharing technology" , "quasi line-interactive" и др[45]. Както се отбелязва и в [26] основният мотив на производителите им е да докажат, че това е нещо по-добро например от конфигурацията " double conversion" и да излязат на пазара с по-високи цени. В някои случаи потребителите се заблуждават от това и в края не получават желаните резултати. Даже по-добре е , макар и не съвсем точно, да се запомнят старите и новите класификации смесено въз основа на някои прилики помежду им, отколкото да се подвеждат потребителите по споменатите наименования. Така например могат да се използват трите категории:

- "online UPS" или "double conversion UPS";
- "line interactive UPS";
- "offline UPS" или "passive standby UPS".

Смята се, че сега действащият стандарт IEC 62040-3 достатъчно добре отразява възможните варианти с техните предимства и недостатъци и може да се използва от производители и потребители [44].

2.2. ОСНОВНИ ТЕХНИЧЕСКИ ДАННИ НА СИСТЕМИТЕ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

При избора на подходяща за потребителя система за непрекъсваемо електрозахранване трябва много добре да се познават техническите данни и параметри, които производителите дават в своите материали [11],[30]. Това е необходимо, за да се подбере най-подходящата система за целта, без излишно оскъпяване, както и да се избягнат някои недоразумения и конфликти. Обикновено техническите данни са разделени на групи .

Технически данни по отношение на изхода:

- *Изходна мощност.*

Желателно е производителят да е посочил две стойности за този параметър – активната мощност във ватове W и пълната мощност във волтампери VA. Например: активна мощност (active power) 24 kW и пълна мощност (total power or rated power) 30 kVA. Обикновено се посочва и факторът на мощност (load power factor) и видът на товара – най-често от 1 до 0.8 индуктивен.

- *Изходно напрежение*

Ако системата е трифазна се посочва стойност на линейното и на фазовото напрежение . Например : 380/220 V, 400/230V , 415/240V. Може да е дадена само стойността на линейното напрежение – например 380/400/415 V. Някои фирми конфигурират системите си по избор на клиента. Трябва да бъде посочено дали е изведен и неутрален проводник.

- *Точност на поддържане на изходното напрежение*

Обикновено се дава в статичен режим – например ±1.5%, като се уточнява това. Понякога може да е посочен и динамичен показател (transient voltage stability) – например < 10 % при изменение на товара 100 %. Най- добрите фирми посочват и времето на преходния процес – например transient time 2 mS.

- *Точност на поддържане на фазовия ъгъл между трите напрежения*

Дава се само от някои фирми – например: phase angle accuracy ± 3°.

- *Кофициент на хармонични на изходното напрежение (total harmonic distortion THD).*

Желателно е да бъде уточнено и при какъв характер на товара. Например THD < 2 % при линеен товар и THD <5% при нелинеен товар.

- *Честота на изходното напрежение*

Обикновено 50/60 Hz с възможност за избор. Някои фирми посочват и дали съществува синхронизация със захранващата мрежа (synchronisation to mains) .

- *Точност на поддържане на изходната честота.*

Задължително е да е посочена стойността при пълно натоварване на изхода – например ±0.5 Hz или в проценти - например ±1%. Може да бъде представена и стойност на празен ход (free running) – например ± 0.05 %.

- *Възможност за претоварване на изхода*

Данни за това не се предоставят от всички фирми, но те са важни и е добре потребителят да ги има предвид при избора на система съобразно своя консуматор. Например : възможно е претоварване 150% за 30 секунди, 125% за 10 минути и 110% за 1 час.

- *Възможност за паралелна работа на изхода с други системи*

Дава се в много редки случаи от еденици фирми и се уточнява с какви системи.

Технически данни по отношение на входа:

- *Стойност на входното напрежение.*

При трифазните системи обикновено се представя линейно и фазово напрежение – 380/220 V, 400/230 V ,415/240 V или по избор на клиента. Може да е дадено само линейното напрежение – 380/400/415 V. Задължително е да е посочен видът на захранващата система – трипроводна (три фазови) или четирипроводна (три фазови плюс неутрален проводник).

- *Диапазон на изменение на входното напрежение*

Може да е посочен за линейното напрежение в стойности - например – 340 – 440 V. Може да е предоставен като проценти – например ± 20 % от стойността на входното напрежение.

- *Честота на захранващото напрежение*

Може да е посочена по два начина – като стойност на честотата и процент на изменение около нея (например 50 Hz ±10 % или 60 Hz ±5%) или като диапазон на изменение на честотата (например 48-62 Hz).

- *Фактор на мощност (power factor)*

Много важен параметър, определящ натоварването и поведението на цялата система за непрекъсваемо захранване по отношение на захранващата мрежа, който обаче не се предоставя от всички фирми. Обикновено се посочва минималната му стойност – например > 0.96. Някои фирми посочват по-малка стойност – например 0.7 и предлагат закупуване на допълнителен активен силов филтър за корекция на тази стойност до 0.99.

- *Коефициент на хармонични на входния ток (total harmonic distortion of input current THDI)*

Предоставя се от много малко фирми – например < 3 %.

Технически данни за акумулаторните батерии:

- *Тип на батериите*

Посочва се почти от всички производители.

- *Срок на годност на батериите*

Обикновено 5 или 10 години с възможност за избор.

- *Време на възстановяване на батериите след разряд*

Обикновено се дава в зависимост от разрядното време - например 10 пъти по разрядното време.

- *Брой цикли разряд/ заряд*

Например 500. Предоставя се не от всички фирми.

Общи технически данни за цялата система:

- *Вид на системата за непрекъсваемо електрозахранване (технологично решение).*

Имат се предвид разгледаните по-горе варианти за реализация – например double conversion. Уточнява се не от всички фирми.

- *Време за превключване при отпадане на мрежовото напрежение или при появата му (transient time).*

Обикновено е по-малко от 10 mS – например 2 mS. При някои технологии специалистите знаят, че това време е равно на 0 – например при double conversion, така че ако производителят е отбелязал в справочните си данни вида на системата , той не се чувства задължен да специфицира и това време.

- *Време на захранване на товара при отпадане на мрежовото напрежение (backup time)*

Това е изключително важен параметър за потребителя, който се дава в зависимост от вида на батерията – 5 или 10 годишен срок на експлоатация. Почти всички фирми дават стойност при 100% натоварване на изхода - например 10 – 12 минути с 10-годишна батерия. Само някои фирми уточняват и вида на товара – линеен или нелинеен и фактора му на мощност.

- *Общ коефициент на полезно действие (efficiency)*

Обикновено се предоставя при пълно натоварване на изхода – например 93%. В много редки случаи може да са дадени няколко стойности в зависимост от процентното натоварване в изхода на системата.

- *Ниво на акустичен шум на системата*

Може да е посочено и на какво разстояние – например 60 dB на 1 метър от нея. Обикновено се дава за пълно натоварване на изхода, но може да е предоставен диапазон, зависещ от натоварването – например 50 – 65 dB.

- *Температура на околната среда*

Предоставя се от почти всички фирми като диапазон – например 0 – 45 ° C.

- *Влажност на въздуха на околната среда*

Например 15 – 80 % обикновено без кондензация.

- *Размери и тегло*

Обикновено се дават трите габаритни размера и общото тегло. Може да са дадени данни отделно за батерийния шкаф, ако е самостоятелен.

- *Съответствие с международните стандарти*

Задължително се предоставят номерата на стандартите, по които са проведени изпитанията и е установено съответствието. Най-често това са два типа стандарти – по отношение на техническа безопасност и по отношение на електромагнитна съвместимост.

Технически данни по отношение комуникация и софтуер:

Предоставят се видовете на комуникационните интерфейси – например RS 232, данни и възможности на софтуера, предлаган от фирмата. Обикновено това е специализиран фирмен софтуер. Описват се неговите предимства от страна на потребителя, възможности за работа с различни операционни системи и др.

Както се вижда, обобщеният анализ на всички технически данни, съпоставката им между различни производители и решението за избор е комплексен въпрос, който много често е невъзможно да бъде решен без консултация със специалисти в областта на силовата електроника. Още повече като се има предвид, че не всички данни присъстват в рекламните материали на фирмите, така че много често са необходими допълнителни запитвания и уточняване. При всички случаи се анализират и възможностите за сервиз – наличие на представителство, време за отстраняване на повредата, гаранционен срок и т.н. Фирмите – производители почти никога не предоставят данни по отношение на надеждностни показатели – например средно време преди отказ и т.н. Възможно е допълнително да се анализират и съпоставят наличните до този момент данни за инсталирани и работещи системи от съответната фирма например при някои други потребители – може да се поискат референции. Тук не се разглеждат въпросите за цената и други икономически показатели, но те също в допълнение с техническите данни са решаващи при вземането на окончателно становище.

Всеки от разгледаните по-горе технически параметри е свързан с конкретно техническо устройство (основен блок) от системата за непрекъсваемо електрозахранване и допълнителни данни за някои от

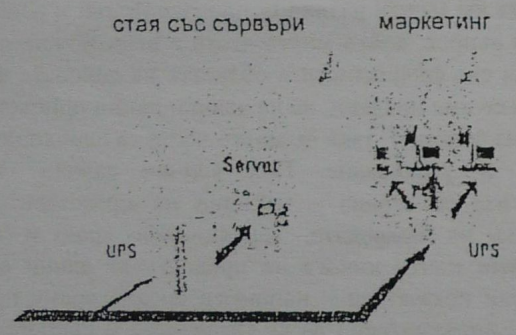
тези параметри се дават при описанието по-нататък на особеностите на отделните блокове.

2.3. НАЧИНИ НА ЗАХРАНВАНЕ НА ЧУВСТВИТЕЛНИ КОНСУМАТОРИ

Когато е необходимо да бъде осигурено непрекъсваемо електрозахранване на отделен отговорен консуматор, то се осъществява със система за непрекъсваемо електрозахранване, предназначена само за този консуматор , чиито технически данни са съобразени с неговите особености. Такива са например случаите на електрозахранване на самостоятелен персонален компютър или отделна телекомуникационна станция.

Непрекъсваемо захранване на няколко различни консуматора може да бъде осигурено по три начина: централизирано, разпределено и смесено. На фиг.2.11 е представен вариантът на централизирано непрекъсваемо електрозахранване.

Характерно за него е, че всички сървъри се захранват от една UPS-система , както и всички компютри например в маркетинг-помещението са подсигурени с една UPS- система. При този вариант надеждността е по- ниска от останалите, но също по-ниска е и себестойността му.



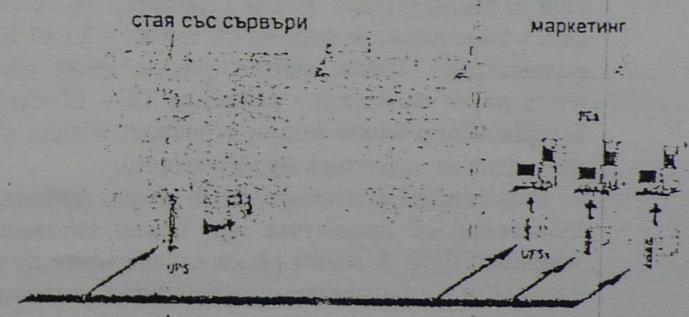
Фиг. 2.11

На фиг.2.12 е пояснен вариантът на разпределено непрекъсваемо електрозахранване.

Фиг. 2.12

При него всеки сървър и всеки компютър в помещенията за маркетинг и продажби се захранват от отделна UPS-система. Характеризира се с по-висока надеждност, но много често и с по-висока себестойност.

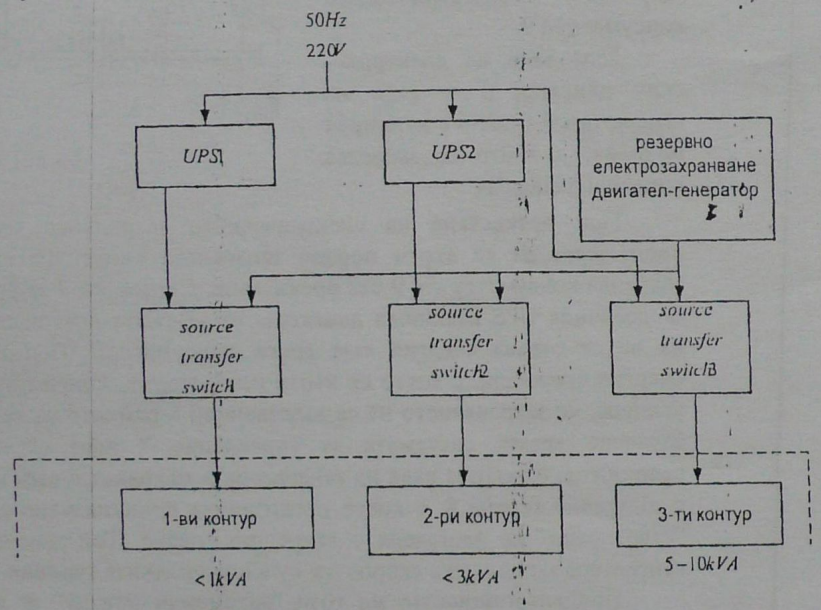
Третият вариант на смесено непрекъсваемо електрозахранване е представен на фиг. 2.13.



Фиг.2.13

По отношение на сървърите то е централизирано, а по отношение на компютрите – разпределено. Разбира се, може да се постъпи и обратно. От гледна точка надеждност и себестойност вариантът заема междинно място в сравнение с предните два.

Много често на практика се поставя въпросът за непрекъсваемо електрическо захранване на индивидуални жилищни домове. Обикновено собствениците, проектантите и изпълнителите се сещат за него, след като всички работи по изграждането и електрическата инсталация са извършени. По мнението и опита на авторите от решаване на такива случаи, въпросите за непрекъсваемото електрическо захранване трябва да са част от първоначалния проект, така че електрическата инсталация да бъде реализирана по подходящ начин, а и да бъдат отделени необходимите помещения за елементите от това захранване. Една идея е показана на фиг.2.14.



Фиг.2.14

Както се вижда, всички консуматори на електрическа енергия в дома са разделени в три контура, като са показани и ориентировъчните им мощности .

В първия и най-отговорен се свързват например следните: осветление, охранителна система, аудио и видео системи, компютър, други информационни и комуникационни системи. По този начин изискванията към параметрите на UPS1 са съобразени с тях – виж т.2.2. Например там може да се иска най-продължително време за работа след отпадане на мрежовото напрежение, нулево време на превключване и пълно разделяне от смущенията в мрежовото напрежение. Първата система за непрекъсваемо електрическо захранване може да е от типа "double conversion".

Във втория контур могат да се свържат всички домакински електроуреди – хладилник, фризер, готварски печки, миялна машина, пералня и др. Очевидно изискванията към UPS2 могат да са по-ниски и той може да бъде от друг тип. След отпадане на мрежовото напрежение домакинските електроуреди продължават да работят, докато завършат функциите си- например подготовка на храна и т.н.

В третия контур се включва парното отопление и климатичната инсталация. Първоначално той е захранен от мрежовото напрежение и след отпадането му може за кратко време да спре да работи. След това време трябва да се включи резервното електрическо захранване – дизелов агрегат и чрез ключа за прехвърляне на източника 3 (виж глава 5) да се захрани отоплението и климатичната инсталация.

Чрез ключовете за прехвърляне на източника 1 и 2 захранването и на другите два контура може да стане от дизеловия агрегат при условие , че все още няма мрежово напрежение и възможностите на двете системи за непрекъсваемо електрическо захранване са на изчерпване.

Управлението на всички елементи от захранването на дома става чрез обща микрокомпютърна система и с параметри, които могат да се задават и променят от собственика.

Тук не се разглеждат въпросите за други източници на енергия освен електроснабдителната мрежа, но трябва да се отбележи, че така предложената структура може да се допълни лесно и с такива като фотоволтаични панели (с прехвърляне на постояннотоковата енергия от тях в акумулаторните батерии на системите за непрекъсваемо електрозахранване) или ветрогенератор (с преобразуване на променливотоковата енергия и прехвърляне в акумулаторните батерии).

ГЛАВА 3
ДИНАМИЧНИ СИСТЕМИ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

Динамичните UPS са се появили преди статичните. Първоначално са прилагани при електрическо захранване на радиопредавателни станции и телекомуникационни кули. По-късно се прилагат и при други "чувствителни" консуматори, охарактеризирани в уводната част. Дълго време са били безспорно предпочитани при големи мощности, например за мощности (500 – 1000) kW.

С развитието на преобразувателната техника статичните UPS успешно конкурират динамичните и в областта на големите мощности. Разнообразието в условията на работа и изискванията при различни обекти и приложения не дават основания за безусловно пренебрегване както на статичните, така и на динамичните UPS.

Съществуват различни решения на динамични UPS, но всички те почиват на **обща идея**. Непрекъсваемостта на електрическото захранване се постига с това, че синхронен генератор е присъединен към захранващата електрическа мрежа и непрекъснато се върти. При отпадане на захранващото напрежение, генераторът продължава да се върти и осигурява електрическо захранване на консуматорите за известно време. Продължителността на захранването от въртящият се по инерция синхронен генератор се определя от количеството на запасената кинетична енергия в неговия ротор и свързаните с него други части.

По-продължително електрическо захранване при изключена мрежа се постига по два начина.

Първият е чрез увеличаване на запасената кинетична енергия във въртящите се части като се използват специални пасивни или активни "маховици".

Вторият е чрез дизелов двигател, който след изтичане на определено време без да е възстановено електрическото захранване от мрежата, се стартира и започва да върти генератора, като поддържа скоростта му в необходимите граници.

Съществуват и изпълнения, при които въртене на генератора се осъществява не от дизелов двигател, а от постояннотоков електрически двигател, който се захранва с напрежение от акумулаторна батерия.

Прилагат са **две схеми** на свързване на електрическия генератор. При **първата схема** генераторът захранва консуматорите директно

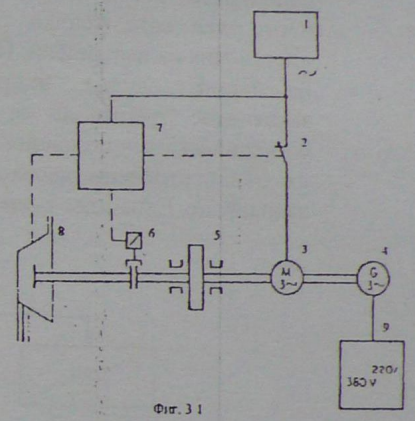
Генераторът се привежда в движение от друг електрически двигател.

При **втората схема** консуматорите се захранват от електрическата мрежа, а генераторът е захранен паралелно на консуматорите също от електрическата мрежа. Тези две схеми на свързване съответстват на схемите при статичните UPS. Първата схема е с двойно преобразуване на енергията в режим "on – line". Втората схема съответства на "line interactive".

Динамичен UPS по първата схема на свързване, който работи в режим "on – line" е показан на фиг. 3.1.

При нормален режим електрическата захранваща мрежа 1 през прекъсвача 2 захранва електрическия двигател 3, който задвижва генератора 4. Генераторът 4 захранва електрическите консуматори 9.

Към вала на електрическия двигател 3 и вала на генератора 4 трайно е куплиран маховик, в който се запасява кинетична енергия

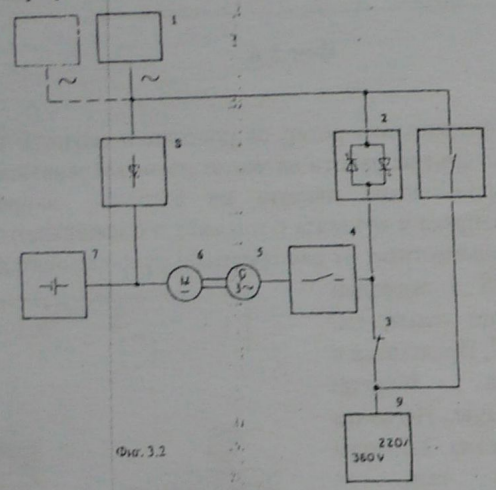


Фиг. 3.1

При прекъсване на електрическото захранване генераторът 4 продължава да се върти поради запасената кинетична енергия и да захранва консуматорите 9 без прекъсване. Системата 7 за управление на динамичния UPS изключва двигателя от мрежата чрез прекъсвача 2, за да не се отдава енергия към други консуматори. Поради черпената енергия скоростта, с която се върти генераторът, започва да спада. При условие, че захранването не се възстанови в рамките на предварително зададено време, системата за управление 7 чрез електромагнитен съединител 6 свързва вала на генератора и маховика с вала на двигателя с вътрешно горене 8, с което предизвиква принудително развъртане и "стартиране" на двигателя с вътрешно горене. Той започва да върти генератора и поддържа скоростта му в номиналните граници

Продължителността на този "автономен режим" се определя от запасите с гориво за двигателя с вътрешно горене.

На фиг. 3.2 е показана схема на динамичен UPS, при която електрическият генератор 5 се задвижва от постояннотоков електрически двигател 6. Постоянното напрежение за захранване на двигателя се получава чрез токоизправител 8 от захранващата мрежа. При отпадане на захранването от мрежата, постоянното напрежение се поддържа от акумулаторна батерия 7, зареждана от мрежата 1 чрез токоизправителя 8.



Фиг. 3.2

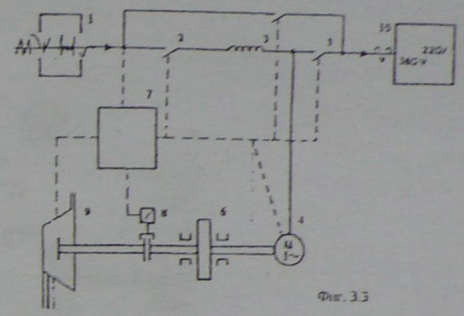
При отпадане на захранващото напреже-ние консуматорите 9 ще продължат да получават захранване от генератора без прекъсване. В този режим е предвиден също прекъсвач 2, който се изключва при отпадане на захранващото напре-жение, за да не се предава енергия към други консуматори. На схемата е показан и ръчен "бай-пас" чрез неозначения прекъсвач. Към него се прибягва при ремонт и профилактика на системата.

На фиг. 3.3 е показана схема на динамичен UPS по втората разгледана по-горе схема. Генераторът 4 е включен към захранващата мрежа 1 през прекъсвач 2 и дросел 3. Той е свързан паралелно към консуматорите чрез прекъсвача 5. При наличие на захранващо напрежение работи като двигател(електрическите машини са обратими преобразуватели). Едновременно със синхронния генератор на същия вал се върти и маховик 6. Чрез електромагнитен съединител 8 към тях може да се присъединява и валът на двигател с вътрешно горене (най-често дизелов двигател). В този режим синхронният гнератор може да поддържа напрежението в по-тесни граници – т.е. да го стабилизира чрез подходящо изменение на възбуждането му. Едновременно с това генераторът филтрира и насложените напрежения. Във връзка с тези две функции е поставен дроселът 3.

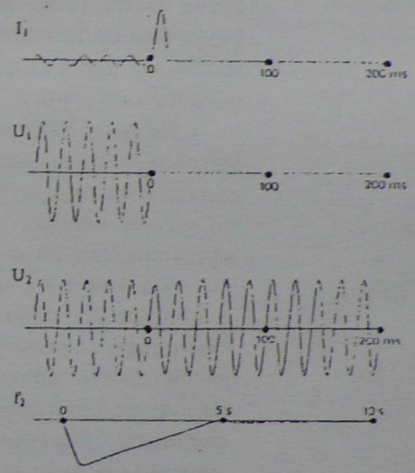
При отпадане на захранващото напрежение управляващата система 7 изключва прекъсвача 2 и след известно време стартира двигателя с вътрешно горене както при схемата от фиг 3.1. До тогава

консуматорите получават електрическо захранване от генератора без прекъсване, независимо от отпадането на мрежовото захранващо напрежение.

На фиг. 3.4 е показано изменението на напрежението и тока на захранващата мрежа – I_1, U_1 , както и напрежението и честотата върху товара U_2 , f_2. Предположено е, че прекъсването на електрическото захранване е предизвикано от к.с. и поради това електрическата защита е изключила. Вижда се, че въпреки прекъсването на захранването от мрежата, напрежението приложено към товара не се е изменило, а честота е имала спадане в определени граници. С разширяване на приложението на динамичните UPS те се усъвършенстват. Разработват се оригинални "активни" маховици. Целта е да се увеличи запасената кинетична енергия, но и едновременно да не се допуска голямо спадане на скоростта на въртене на генератора след прекъсване на електрическото захранване и до стартиране на двигателя с вътрешно горене. С това се подобрява качеството на слектрическата енергия, с която се захранва консуматора при прекъсване на електрическото захранване от мрежата. Тези "активни" маховици представляват асинхронна електрическа машина, която има два ротора, разположени един в друг. Единият ротор е свързан директно с ротора на синхронния генератор и се върти заедно с него. Другият ротор се върти спрямо първия в същата посока, но с почти двойно по-висока скорост. Тази усложнена конструкция има две



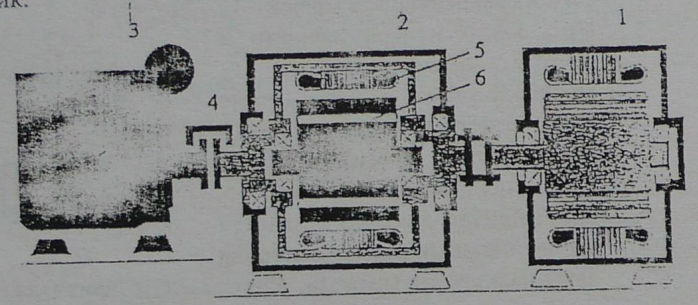
Фиг. 3.3



Фиг. 3.4

предимства пред описаната по-проста система. Първото предимство е в по-високата стойност на запасената кинетична енергия в двете въртящи се части и особено във втория ротор, който се върти с почти два пъти по-висока скорост. Второто предимство се състои в това, че чрез подходящо управление на асинхронната машина скоростта на въртене на вала на синхронния генератор се поддържа постоянна до изчерпване на запасената кинетична енергия.

На фиг. 3.5 е показан вариант на динамичен UPS с "активен" маховик.

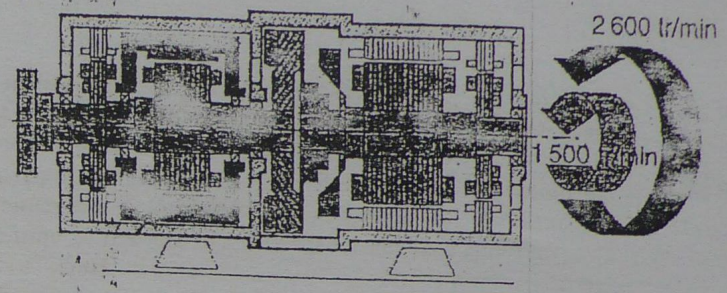


Фиг. 3.5

Синхронният генератор 1 е присъединен през активния маховик 2 и електромагнитния съединител 4 към двигателя с вътрешно горене 3. Тази група съответства на машинните групи от вече разгледаните схеми. Различава се по устройството на маховика. Той представлява асинхронна машина с два ротора 5 външен и 6 вътрешен. Те работят както беше посочено по-горе.

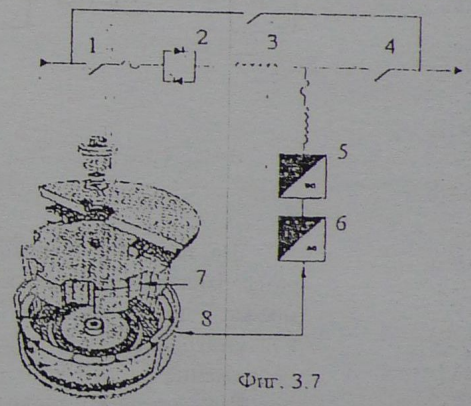
На фиг. 3.6 е показан друг вариант на динамичен UPS с активен маховик, който много елегантно е интегриран конструктивно със синхронния генератор. Има и предимството, че роторът, който се върти с по-висока скорост е външен спрямо другия ротор. Това увеличава ефективността на маховика.

На фиг. 3.7 е показано принципното устройство на динамичен UPS, с принципно ново и оригинално решение. Той може да се назове "хибриден", защото съчетава в решението си както елементи от класическите динамични UPS, така и от статичните UPS. Новите принципи, благодарение на които са получени по - високи показатели са следните: - въртящите се части на маховика са поставени във вакуум за намаляване на съпротивлението при въртене; маховикът 7 е интегриран



Фиг.3.6

с генератора, представлява ротор от постоянни магнити с голям брой полюси;- генераторът не работи на честотата на захранващата мрежа, а с повишена и променлива честота на въртене; -напрежението на генератора се изправя и връзката с мрежата и с изходящото напрежение към товара се осъществява от два обратими преобразователя 5 и 6. Този динамичен UPS е изграден общо по втората схема, т.е. "line interactive". Представен е от фирмата Bergerat Monnoyeur Energie. Неговите габарити са около 2,5 пъти по-малки от тези на традиционните статични UPS, а по отношение на масата си той е около три пъти по- лек.



Фиг. 3.7

ГЛАВА 4
СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯТА

Необходимостта да се съхранява енергията, а след това да се използва при определени обстоятелства е довела до развитието на различни методи за съхранение под формата на:

- електрохимична;
- механична кинетична;
- електростатична;
- електромагнитна;
- топлинна;
- механична потенциална.

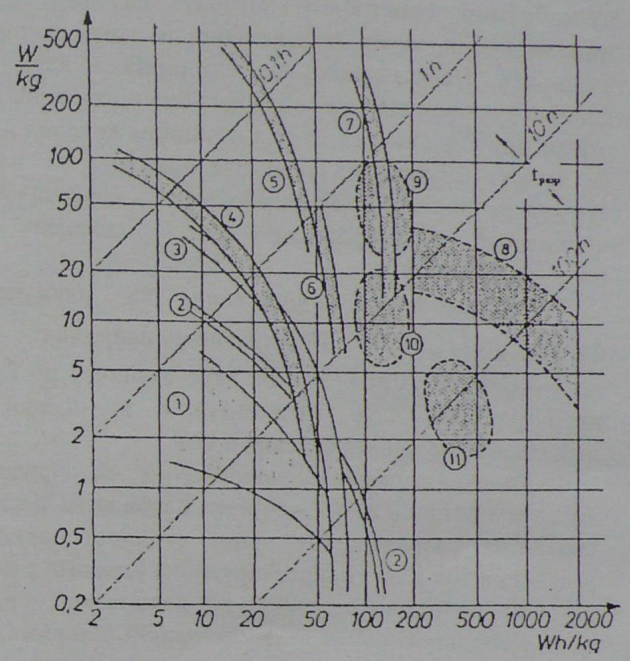
Засега не всички от посочените методи са намерили приложение в системите за непрекъсваемо електрическо захранване. Поради това вниманието ще бъде съсредоточено върху най-използваните. Възможно е в бъдеще да бъдат приложени и останалите, както и да се потърсят нови .

В статичните системи за непрекъсваемо електрическо захранване се използват електрохимични акумулатори на енергия и то предимно оловни акумулатори. При малки мощности се развиват решения и с други акумулатори в.т.ч. и с горивни клетки.

Определящи показатели при избора на акумулатора са специфичната му енергия (Wh/kg), специфичната му мощност (W/kg) и тяхното изменение в зависимост от продължителността на отдаване на енергията при разреждане. Държи се сметка за коефициента на полезно действие, за срок на експлоатация, за необходимостта от обслужване, техническа безопасност, цена и др.

На фиг. 4.1 е показано изменението на специфичната енергия и специфичната мощност на различни акумулатори, при различно време на разреждане от 0,1 час до 100 часа.

Криви 1,2 и 3 се отнасят за първични електрохимични елементи (т.н. незареждаеми батерии). Крива 4 е за оловни акумулатори, 5 – за никел-кадмиеви акумулатори, 6 – за желязно – никелови акумулатори, 7 – за сребърно-цинкови акумулатори, 9 – за натриеви акумулатори, 10 – за алуминиеви акумулатори, 11 – за литиеви акумулатори и 8 – за горивни клетки. При малки времена на разреждане (по-големи токове на разреждане) ефективността на акумулаторите се понижава. Това трябва да се има предвид, тъй като типичното време за автономна работа на предлаганите UPS е 10 до 15 минути.



Фиг.4.1

4.1. ОЛОВНИ АКУМУЛАТОРНИ БАТЕРИИ

Това са акумулаторите с най-широко разпространение с използване на енергията като електрохимична. В съвременните системи за непрекъсваемо електрозахранване се използват херметически необслужваеми акумулаторни батерии. Като активно вещество на положителната плоча се използва оловен двуокис, а на отрицателната – гъбесто олово. Плочите са разделени механически от сепаратор, който осигурява висока пропускливост на електролита и предотвратява възникването на къси съединения в клетката. Електролитът в тези батерии е свързан във вид на гел, който представлява смес от H_2SO_4, вода и SiO_2. При конвенционалните батерии загубите на вода са невъзвратими, защото компонентите на химически разложената вода

(водород и кислород) не се свързват отново, а се отделят свободно в атмосферата. При необслужваемите батерии количеството на разложената вода почти напълно се компенсира от протичащия в отрицателната плоча процес на рекомбинация. Това става поради възможността за придвижване на кислорода до отрицателната плоча през желеобразния електролит. Загубите на вода са така регулирани и минимизирани, че не оказват влияние върху експлоатационния срок на батериите. Всяка клетка на батерията е херметично затворена с еднопосочен вентил, който в случай на превишено вътрешно налягане се отваря еднопосочно и изпуска излишния водород и кислород, след което се затваря отново и предпазва клетката от навлизането в нея на атмосферен кислород. За изработване на корпуса на батерията се използва обикновено полипропилен или специален полимер, който е пламъкоустойчив.

Номиналното напрежение на акумулаторната клетка е фиксирано: $U_N = 2V$. Номиналното напрежение на цялата батерия се получава чрез умножение на тази стойност по броя на клетките. Така например най-често този брой е 6, поради което номиналното напрежение на цялата батерия е 12V.

Крайното разрядно напрежение се определя от стойността, под която напрежението на клетката не бива да пада след разреждане със съответния разряден ток. Тази стойност зависи от големината на разрядния ток и ако напрежението на клетката е по-ниско от това крайно разрядно напрежение тогава е достигната зоната на дълбокия разряд.

Капацитетът на акумулаторната батерия C се дава в амперчасове – Ah. Освен това се указва при колко часов разряд е даден този капацитет- обикновено в режим на 10 или 20- часов разряд - C_{10} или C_{20}.

Номиналният разряден ток се определя от данните за капацитета.

$$I_{10} = \frac{C_{10}}{10h}$$

$$I_{20} = \frac{C_{20}}{20h}$$

Стойността на крайното разрядно напрежение на клетка обикновено при 10-часов разряд е 1.8 V, а при 20-часов разряд – 1.75 V.

Дълбочината на разряда представлява отнетия от батерията капацитет по време на разряд. Например ако е използван 80% от капацитета на батерията, то дълбочината на разряд е 80%. Максимално допустимата дълбочина на разряд зависи от големината на разрядния ток и от температурата.

Големината на разрядния ток се дава като стойност, която е кратна на I_{10} или I_{20} - например $4xI_{10}$ или $20xI_{20}$. Обикновено се дава и стойността на максималния 5-секунден разряден ток, който служи за проектиране на батерийния предпазител.

Саморазрядът на батерията се дава като процент от капацитета на ден. При необслужваемите акумулаторни батерии той е изключително нисък – обикновено под 0.05%.

Вътрешното съпротивление на батерията е сума от съпротивленията на всички клетки и съпротивленията на връзките в батерията. В справочните данни обикновено се дава стойност на вътрешното съпротивление в $m\Omega.Ah/клетка$ за една клетка при температура на околната среда 20-25 С. Вътрешното съпротивление на цялата батерия се изчислява от зависимостта:

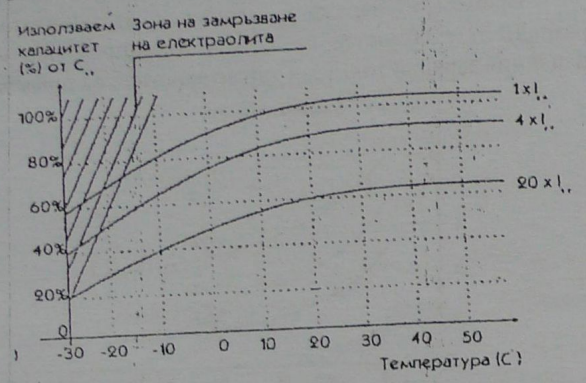
$$Ri = \frac{n.R_{ж}}{C}$$

където n е броят на клетките, С – капацитетът на батерията и $R_{ж}$ - вътрешното съпротивление на клетката. Така например при капацитет 6.5 Ah, 6 клетки и вътрешно съпротивление на клетката 57 $m\Omega.Ah$ вътрешното съпротивление на цялата батерия е 52.6 $m\Omega$.

Фирмите-производители предлагат освен таблични и графични зависимости на основните параметри на батериите.С тяхна помощ се осъществява изборът на подходяща акумулаторна батерия в етапа на проектиране на системата за непрекъсваемо електрическо захранване. Освен това се определят изискванията към режима на работа и параметрите на зарядното устройство. Тези характеристики са различни при различните фирми и серии акумулаторни батерии и използването им трябва да става внимателно, особено като се има предвид, че те често са зависими и от температурата на околната среда.

Като примери могат да се разгледат основните характеристики на необслужваемите акумулаторни батерии от серията "dryfit" на фирмата

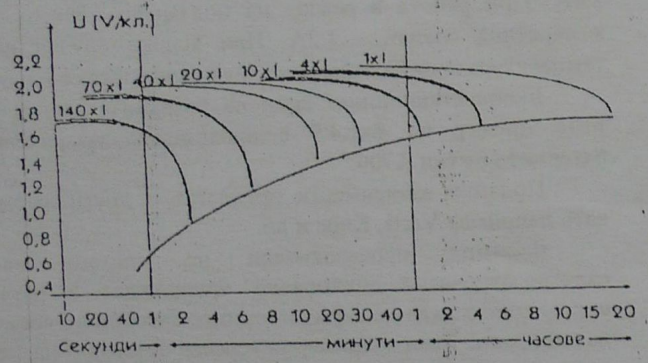
Sonenschein. Характерна особеност е зависимостта на капацитета от температурата и от разрядния ток – фиг.4.2.



Фиг.4.2

При увеличаване на разрядния ток, представено като кратен ток на I_{20}, както и при намаляване на температурата , използваемата част от пълния капацитет на батерията намалява.

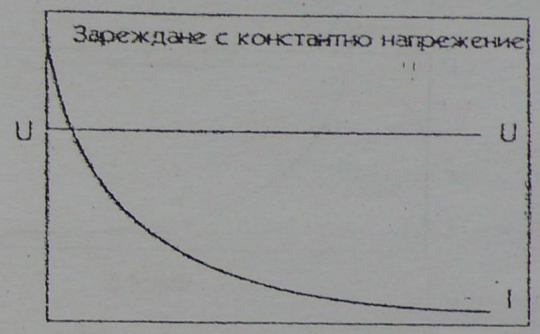
На фиг.4.3 са представени разрядните криви за акумулаторите от серия А500 на същата фирма.



Фиг.4.3

Тези криви са ограничени отдолу от стойността на крайното разрядно напрежение, така че при преминаване под ограничителната линия се навлиза в зоната на дълбок разряд.

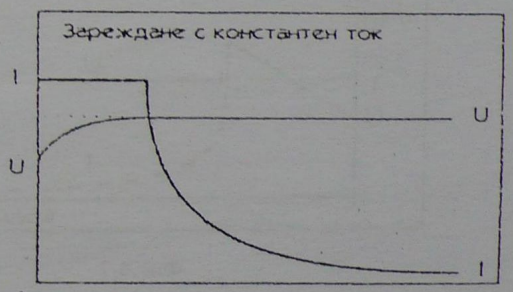
По-известни са следните начини за зареждане на акумулаторните батерии: зареждане с константно напрежение (U-характеристика), зареждане с константен ток (IU-характеристика), зареждане с IUI-характеристика. На фиг.4.4 е показано зареждането с U-характеристика.



Фиг.4.4

Това е най-лесният начин за заряд на батериите. При него зарядният ток се ограничава от самата батерия, като се понижава с нарастване степента на зареденост.

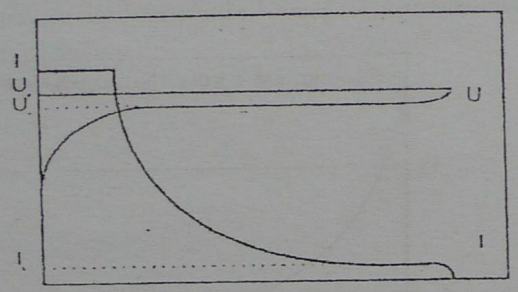
На фиг.4.5 е показао зареждането с константен ток.



Фиг.4.5

В началото на заряда батерията се зарежда с константен ток до тогава, докато бъде достигнато зададеното зарядно напрежение. След това зарядното напрежение се поддържа константно, а зарядният ток се ограничава от самата батерия, като с увеличаване степента на зареденост намалява постепенно.

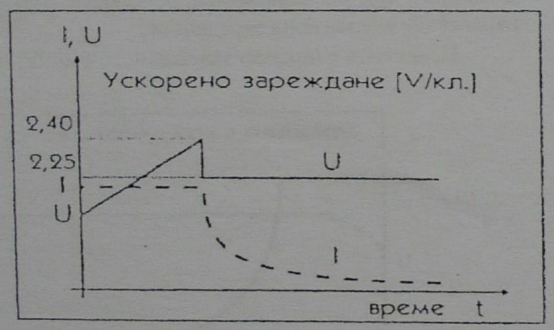
На фиг.4.6 е показано зареждането с IUI- характеристика. Препоръчва се при циклична експлоатация. Характеристиката е разширена с още един токов клон когато зарядният ток намалее под една определена стойност I_2, която обикновено е около 25% от I_{20}.



Фиг.4.6

Този режим се поддържа докато не бъде прекратен от зарядното устройство.

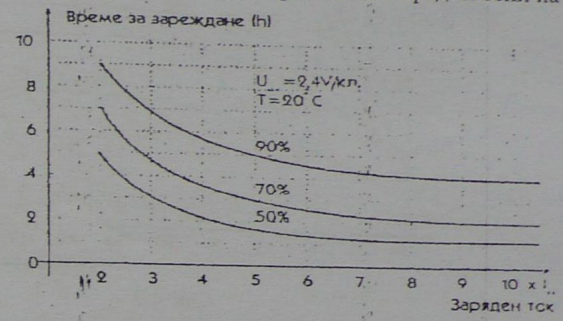
За батериите от серията "drifit" се препоръчва и режимът на ускорено зареждане, пояснен на фиг.4.7.



Фиг.4.7

Зареждането става на две степени, като първата е с константен ток (в границите от 0.05 до 0.2 от капацитета на батерията), докато зарядното напрежение достигне 2.4V на клетка. Втората степен е подзаряд с константно напрежение 2.25V на клетка, като зарядният ток намалява и достига минималната си стойност при пълна зареденост на батерията.

Времето на зареждане зависи от дълбочината на предшестващия разряд, от стойността на зарядното напрежение и от големината на началния заряден ток. Тези характеристика са представени на фиг.4.8.



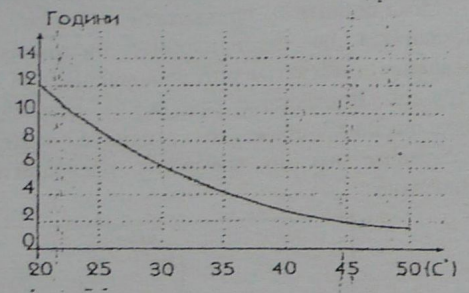
Фиг.4.8

Пулсациите в зарядния ток предизвикват допълнително вредно нарастване на температурата на батерията. При циклична експлоатация (режим разряд-заряд) променливата съставна на зарядния ток не трябва да надвишава 10 % от капацитета. Така например за 24Ah- батерия – 2.4A. При работа в режим на подзаряд – 5% от капацитета, или в конкретния случай – 1.2A. При всички случаи по време на заряд температурата на батерията не бива да нараства с повече от 3°C.

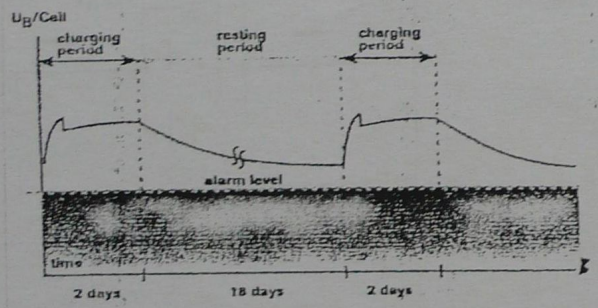
Експлоатационният срок на батериите зависи от температурата. Като пример на фиг.4.9 е представена графичната зависимост за батериите от тип A700.

Подобни зависимости предлагат и други фирми производители, като например Varta, Kobe и др.

Фирмите производители на системи за непрекъсвасмо електрозахранване обикновено предвиждат и различни начини за управление заряда на акумулаторните батерии по време на експлоатация на системата. Така например интересен е методът на фирмата Powerware, наречен ABM^{TM} - Advanced Battery Management , който е пояснен на фиг.4.10.



Фиг.4.9



Фиг.4.10

При този метод батериите се зареждат само когато е необходимо, което по данни на фирмата удължава експлоатационният им срок средно с около 50% в сравнение с конвенционалния метод. При него акумулаторните батерии след зареждане се намират непрекъснато в режим на подзаряд. В допълнение на този метод фирмата е включила и специален метод за тестване на батериите , наречен *DCExpert*™. Повечето от останалите производители при тестване на батериите изключват зарядното устройство (токоизправител или DC/DC преобразувател). При посочения метод токоизправителят не се изключва по време на теста, а се регулира, за да изравни натоварването си с това на батерията от входа на инвертора, което пък зависи от включения в изхода на инвертора товар в този момент. По този начин ако инверторът е на празен ход (няма включен товар в изхода) това не би намалило

дълготрайността на батерията вследствие на многобройни тестове. Методът позволява програмируемо тестване по време на зададен месец, ден и час, като се съхраняват резултатите от последните 30 теста с цел анализ на тенденцията на остаряване на акумулаторната батерия.

4.2.ДРУГИ ЕЛЕМЕНТИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА ЕНЕРГИЯТА

Трябва да се отбележи, че в последно време се появяват първите опити за замяна на акумулаторните батерии в системите за непрекъсваемо електрозахранване с други елементи за съхранение на енергията. Така например използването на енергията като електромеханична и съхранението й в т.н. кинетични батерии бе показано в глава 3 (виж фиг.3.7).

В [13] се описва използването на енергията като електростатична в такава система чрез т.н. суперкондензатори, като системата непрекъснато работи като комбиниран активен силов филтър, а само при краткотрайно прекъсване на мрежовото напрежение играе роля на система за непрекъсваемо електрическо захранване. Нови 'nanogate"-кондензатори като елементи за съхранение на енергията са представени в [34]. В сравнение с ултракондензаторите те притежават пет до десет пъти по-голяма специфична енергия и се приближават до най-добрите образци на литиево-йонните батерии. Достигнати са стойности на капацитета до 45000 F при напрежение на клетка 3.8V и специфична енергия 200 Wh/kg.

В [43] като елементи за съхранение на енергията и използването й като електрохимична се прилагат горивни клетки вместо акумулаторни батерии, разбира се все още за по-малка мощност и по-кратко време на работа при отпадане на мрежовото напрежение. Вероятно в бъдеще тези елементи ще играят все по-голяма роля заедно с усъвършенстването си, а ще се търсят и други такива. Това е продиктувано от известния недостатък на акумулаторните батерии- голям обем и тегло, в преобладаващия брой случаи определящи тези показатели и на цялата система.

ГЛАВА 5
ЕЛЕМЕНТИ И БЛОКОВЕ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

В тази глава се разглеждат следните основни блокове и елементи от системите за непрекъсваемо електрическо захранване:

- бързодействащи прекъсвачи и превключватели;
- токоизправители;
- пасивни и активни силови филтри;
- преобразуватели на постоянно в постоянно напрежение;
- преобразуватели на постоянно в променливо напрежение;
- елементи за защита от външни свръхнапрежения.

Те намират приложение както при статичните системи, разгледани в глава 2, така и при динамичните, разгледани в глава 3. Тук се дават по-подробни сведения за принципните им схеми, начин на действие и основни параметри.

5.1. БЪРЗОДЕЙСТВАЩИ ПРЕКЪСВАЧИ И ПРЕВКЛЮЧВАТЕЛИ

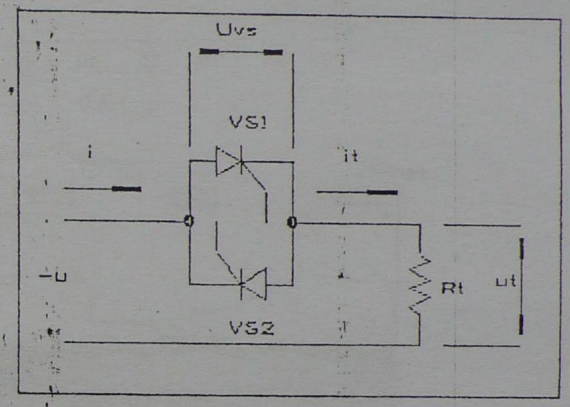
Тиристорни променливотокови прекъсвачи

Предназначението на тези устройства в системите за непрекъсваемо електрозахранване е да включват или изключват товара към захранващата мрежа (или към отделен "bypass" АС вход) под действието на управляващ сигнал – виж. фиг.2.1 и фиг.2.5. Най- общо казано – да изпълняват ролята на безконтактен ключ – статичен "bypass". Въобще към устройствата, предназначени за прекъсване на електрически вериги се поставят следните по-важни изисквания:

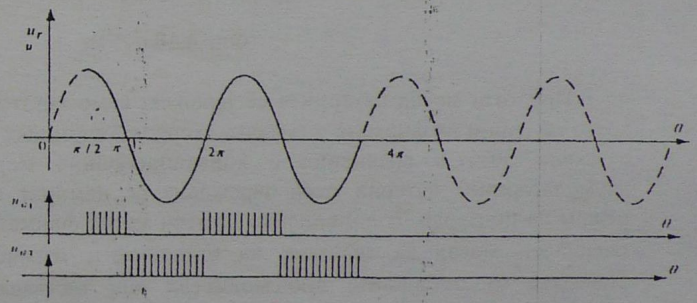
- При стационарно състояние "включено" загубите на мощност от протичащия ток трябва да бъдат минимални, т.е. съпротивлението на прекъсвача да бъде колкото е възможно по-малко;
- При стационарно състояние "изключено" ток през прекъсвача не трябва да протича, т.е. съпротивлението му да бъде безкрайно голямо даже и при възникване на пренапрежения;
- Преходът от едното в другото състояние трябва да става мигновено (безинерционно) и без повторни превключвания, при

това закъснението между сигнала за превключване и самото превключване трябва да бъде колкото е възможно по-малко и непроменящо се във времето на експлоатация.

Механичните прекъсвачи много добре удовлетворяват изискванията на стационарните състояния, но при дистанционно управление изискват значителна мощност за поддържане във включено състояние. Вследствие ефекта на стареене броят на възможните превключвания обаче е ограничен. Неудовлетворителни са и показателите им по време на преходните процеси, особено при изключване



а



б

Фиг.5.1

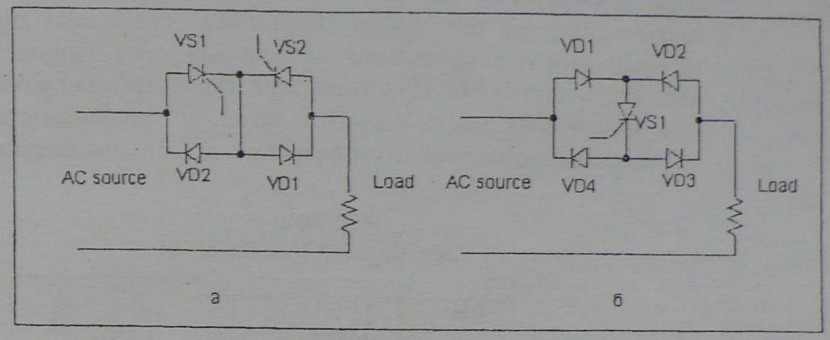
Размерите им се увеличават с включване на допълнителни устройства за гасене на дъгата.

Тиристорните прекъсвачи удовлетворяват изискванията на стационарните състояния по-зле отколкото механичните. При включено състояние върху прибора се отделя активна мощност, която повишава температурата му и за разсейването й е необходимо използването на охлаждащи радиатори, които определят основно размерите на превключвателя. Броят на превключванията обаче е неограничен и бързодействието е по-голямо.

Схемата на еднофазен тиристорен променливотоков прекъсвач е показана на фиг. 5.1а) при активен характер на товара [4],[5].

Състои се от два антипаралелно свързани тиристора, всеки от които може да бъде включен посредством управляващ импулс към управляващия електрод (гейт) – VS1 в положителния полупериод на захранващото напрежение, а VS2 – в отрицателния. При включване на някой от тиристорите напрежението върху тях U_{VS} става много по-малко от захранващото, което се прилага върху товара. Действието на схемата от фиг.5.1а) като променливотоков прекъсвач е пояснено с времедиаграмите от фиг. 5.1б). Ясно е, че за да няма напрежение върху товара тиристорите не трябва да получават управляващи импулси – ключът е изключен. Ако от даден момент всеки от тиристорите започне да получава управляващи импулси в началото на полупериода, в който би могъл да провежда, то цялото захранващо напрежение ще се получи върху товара – ключът е включен. Обикновено тиристорите получават серия импулси за управление с цел сигурно включване, т.к. товарът може да бъде активно-индуктивен и тогава токът през него нараства постепенно и е дефазиран по отношение на напрежението. В средата на първия полупериод тиристорът VS1 получава управляващи импулси и върху товара се получава напрежение (показано с плътна линия). До края на втория период и двата тиристора имат импулси за управление в съответния полупериод и товарът е захранен. След прекратяване на управляващите импулси тиристорите се изключват и товарът не получава напрежение.Трябва да се отбележи, че при активно-индуктивен характер на товара процесите са по-сложни и изключването на провеждалия до момента на прекратяване на импулсите тиристор не става в момента на преминаване на мрежовото напрежение през нулата (както е показано на фиг. 5.1б).

На фиг.5.2 са показани други варианти за реализация на еднофазен тиристорен променливотоков прекъсвач. При първия от тях – фиг.5.2а)



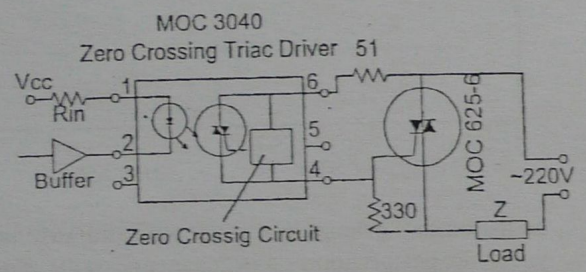
Фиг. 5.2

се използват отново два тиристора, но катодите им са свързани, което улеснява реализацията на управлението им. В положителния полупериод на захранващото напрежение след подаване на управляващи импулси към VS1 той провежда заедно с VD1. В отрицателния полупериод е ясно, че ще провеждат VS2 и VD2. При втория – фиг.5.2б) се използва само един тиристор. Той се включва и в двата полупериода на захранващото напрежение – в положителния с VD1,VD3 и в отрицателния с VD2,VD4. Недостатък на тези два варианта е пониженият к.п.д., т.к. едновременно провеждат по няколко силови прибора – два за фиг.5.2а) и три за фиг.5.2б) и върху тях се разсейва активна мощност.

От направеното по-рано разглеждане на общата структура на системите за непрекъсваемо електрозахранване стана ясно, че променливотоковият прекъсвач трябва да бъде включен , за да получи товарът директно захранване от захранващата мрежа (или от отделен "bypass" AC –вход) и трябва да бъде изключен, когато товарът се захранва от изхода на инвертора (DC/AC преобразувателя). От преходния процес на превключване на товара към захранващата мрежа или към изхода на инвертора могат да възникнат допълнителни смущения към него, поради което включването и изключването на променливотоковия прекъсвач става по строго определен начин и в рамките на строго определено време (обикновено за по-малко от един полупериод на мрежовото напрежение, който при честота 50 Hz е равен на 10 mS).

Често се предвиждат специални мерки променливотоковият прекъсвач да подаде към товара напрежение в момента на прехода му

през нулата. За целта например фирмата Motorola произвежда специални оптоелектронни схеми , които са удобни за управление на триаци. С триак може да бъде заменена двойката антипаралелно свързани тиристори при по-малък ток на товара – обикновено под 20 А. При логическа 0 на изхода на буфера от фиг. 5.3 се разрешава включването на оптотриака. Това обаче става едва при последващо преминаване на мрежовото напрежение през нулата, установено с детектиращата схема. При включване на оптотриака протича управляващ ток за основния триак, с което и неговото включване става при нулево мрежово напрежение, като вида на тока зависи от импеданса на товара Z.

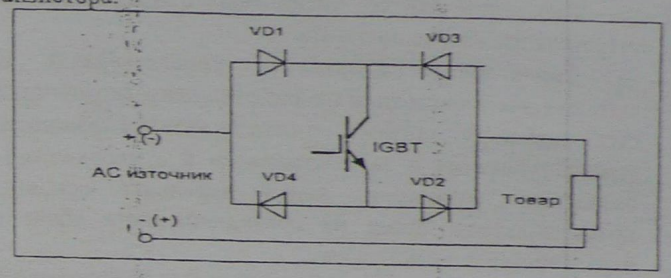


Фиг.5.3

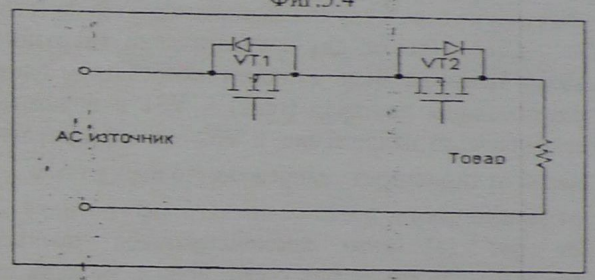
При използването на еднооперационни тиристори в променливотоковите прекъсвачи след спиране на импулсите за управление е необходимо токът през тях да спадне под т.н. "ток на удържане" (обикновено близо до естественото му преминаване през нулата), което е причина за известна инерционност на процеса на изключване. Така например при честота 50 Hz и еднофазна мрежа средностатистическото закъснение е около 5 mS, а при трифазна мрежа – 3.33 mS.

С цел повишаване на бързодействието приложение като променливотоков прекъсвач в системите за непрекъсваемо електрозахранване намира и показаната на фиг. 5.4 схема. Тя използва напълноуправляем прибор с възможност за включване и изключване по управляващ електрод. Този прибор заменя тиристора от фиг.5.2б. При подаване на сигнал за включване на биполярния транзистор с изолиран гейт (insulated gate bipolar transistor - IGBT) през положителния полупериод , показан на фигурата без скоби, той се включва и провежда

заедно с диодите VD1 и VD2, а през отрицателния полупериод – с диодите VD3 и VD4. Така товарът получава захранващо напрежение, а при необходимост от изключването му се подава сигнал за изключване на транзистора.



Фиг.5.4

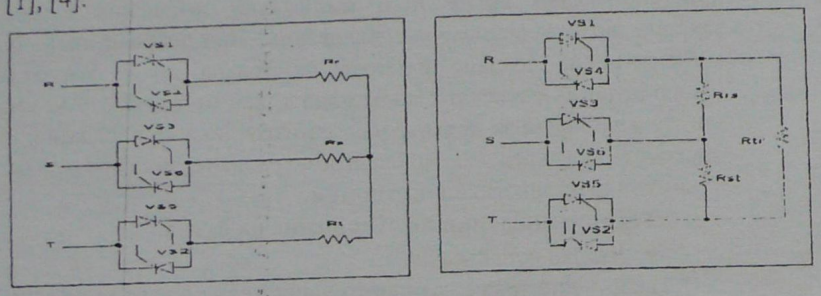


Фиг. 5.5

При този вариант загубите във включено състояние са повишени, т.к. ток провеждат едновременно три последователно включени силови прибора, което е негов недостатък. Предимство е използването на един управляем силов прибор - IGBT, който може да е със или без вграден обратен диод, което понижава цената. Вместо IGBT в схемата може да се използва и друг напълноуправляем силов прибор – например мощен MOSFET (metal oxide field effect transistor) или GTO (gate turn off) – тиристор. Този тип транзистори съдържат вграден в структурата си обратен диод, което прави възможна реализацията на схемата от фиг.5.5. Тя е подобна на тази от фиг.5.2а. През положителния полупериод може да се включва VT1, който ще провежда с обратния диод на VT2, а през отрицателния – обратно.

На фиг. 5.6 са показани схемите на трифазни променливотокови прекъсвачи при свързване на товара в звезда - фиг.5.6а) и в триъгълник – фиг.5.6б). След непрекъснато подаване на управляващи импулси към

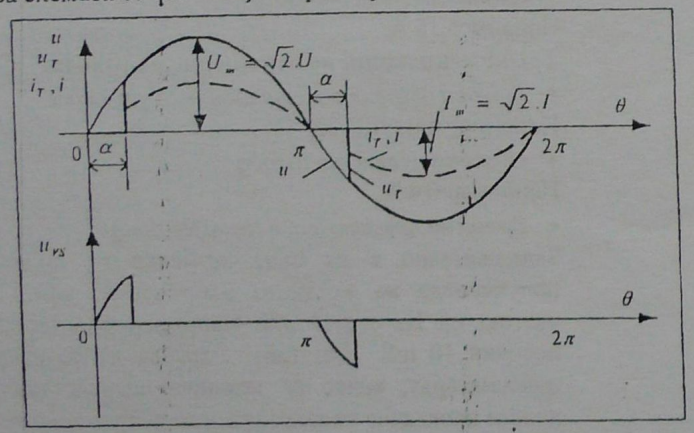
съответните тиристори (в зависимост от фазата, към която са свързани) върху товара се получава трифазната система захранващи напрежения [1], [4].



а б

Фиг.5.6

Вариантите могат да бъдат реализирани и като във всяка от фазите се използва схема с напълноуправляеми силови прибори. Вариантът от фиг. 5.6а) може да бъде и с изведен нулев проводник в зависимост от консуматора. Има случаи, при които ако товарът е свързан в звезда без изведен звезден център, като трифазен променливотоков прекъсвач да се използва схемата от фиг.5.6а) с тиристори само в две от фазите.



Фиг.5.7

Разгледаните схеми на еднофазни и трифазни променливотокови прекъсвачи могат да се използват и за регулиране на ефективната

стойност на напрежението върху товара. Ясно е, че ако управляващите импулси за съответния тиристор се задържат спрямо момента на преминаване на захранващото напрежение през нулата, то върху товара ще се получи част от напрежението за съответния полупериод [4], [5].

Такъв вариант за схемата от фиг.5.1а) е пояснен с времедиаграмите на фиг.5.7. Ъгълът на закъснение на управляващите импулси спрямо момента на преминаване на захранващото напрежение през нулата α се нарича ъгъл на регулиране и с промяната му се променя ефективната стойност на изходното напрежение. Преди включване на някой от тиристорите напрежението върху тях е равно на захранващото, а след включване е много по-малко от него (равно на пада в права посока върху включения тиристор). При работа по този начин схемите са познати като тиристорни променливотокови регулатори.

За еднофазен променливотоков регулатор зависимостта между ефективната стойност на напрежението върху активен товар и ъгъла на регулиране при ефективна стойност на захранващото напрежение U е следната:

$$U_T = U\sqrt{\frac{1}{\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)}$$

Изразите при трифазни променливотокови регулатори са по-сложни и различни за различните диапазони на изменение на ъгъла на регулиране [1], [4], [5].

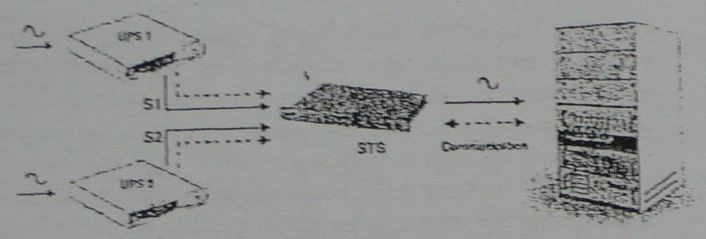
Този ефект се използва например при стартиране на асинхронни електродвигатели, регулиране на тока през нагревателни елементи или лампи с нажежаема жичка; стабилизиране на променливото напрежение върху товара при изменение на захранващото.

При еднофазни системи с мощност под 200 VA понякога като променливотокови прекъсвачи се използват релета с време на превключване под 10 mS, но приложението им напоследък е по-ограничено.

Ключове за прехвърляне на източника

Ключът за прехвърляне на източника (Source Transfer Switch - STS) е устройство, което превключва чувствителния променливотоков консуматор между два независими един от друг променливотокови източника в зависимост от моментното им състояние или от команда, подадена от потребителя. Най- често източниците са две независими

една от друга системи за непрекъсваемо електрозахранване – виж. фиг.2.8 и фиг. 5.8 [30].



Фиг. 5.8

Двете системи и консуматора имат помежду си връзка посредством STS както по отношение захранващо напрежение, така и по отношение обмен на информация. При дефект в едната система захранването автоматично се прехвърля към другата, като се подава и необходимата информация за настъпилото аварийно състояние. Освен номиналния ток, който може да превключва ключа, основен параметър е времето на прехвърляне (transfer time). Например STS, произвеждани от фирмата MGE – Франция (т.н. Pulsar STS) гарантират токове 10, 15 и 16 А при време на прехвърляне 6 mS [30].

Фиг.5.9

Възможна е и реализация на STS при използване на схемите от фиг. 5.4 и фиг.5.5, което дава предимства по отношение бързодействие на превключването и намалява времето на преходните процеси. Важна функция на системата за управление е да следи моментните стойности на напреженията от двата източника, които най-често не са синхронизирани и да подбере най-подходящия момент на превключване, което да стане при минимално време и с минимални смущения в кривата на захранващото консуматора напрежение. Най-добре е това да става в моментите на спадане на тока на товара до 0, което гарантира изключване на последния провеждал триак от фиг.5.9. Т.к. има случаи, когато ключовете за прехвърляне на източника се предлагат отделно от системата за непрекъсваемо електрозахранване, то добре е да се познават техните характеристики и параметри.

Технически данни по отношение на входа:

- *Входно напрежение*

Най- често това е изходното напрежение от две независими една от друга системи за непрекъсваемо електрозахланване. Обикновено те гарантират висока стабилност на неговата стойност, но въпреки това в този параметър за ключа се допуска по-висок толеранс: например – 220/230/240 V ± 10%.

- *Честота на входното напрежение*

Обикновено 50/60 Hz.

- *Брой на входовете и стандарт на кабелите*

Например 2 в съответствие с IEC 320 C13.

- *Номинален ток от входа*

Например 16 А.

Технически данни по отношение на изхода:

- *Брой на изходите и стандарт на кабелите*

Например 6 по IEC 320 C13.

- *Номинален ток от изхода*

Например 10 А.

- *Време на превключване (transfer time)*

Задължително е да бъде по-малко от продължителността на полупериода на входното напрежение, който при по-високата честота 60 Hz е 8.33 mS. Например производителят може да е посочил 10 mS. При това трябва да се направи анализ дали консуматорът, който се захранва посредством ключа, може да понесе пропадане на захранващото напрежение за това време.

Общи технически данни:

- *Размери и тегло*

Посочват се трите габаритни размера и теглото – например 400x60x100 mm и 10 kg.

- *Съответствие с международните стандарти*

Задължително се посочват номерата на стандартите. Най-често те са за техническа безопасност и електромагнитна съвместимост – например по отношение електромагнитна съвместимост IEC 1000-4, а по отношение безопасност EN 50091-1.

5.2. ТОКОИЗПРАВИТЕЛИ

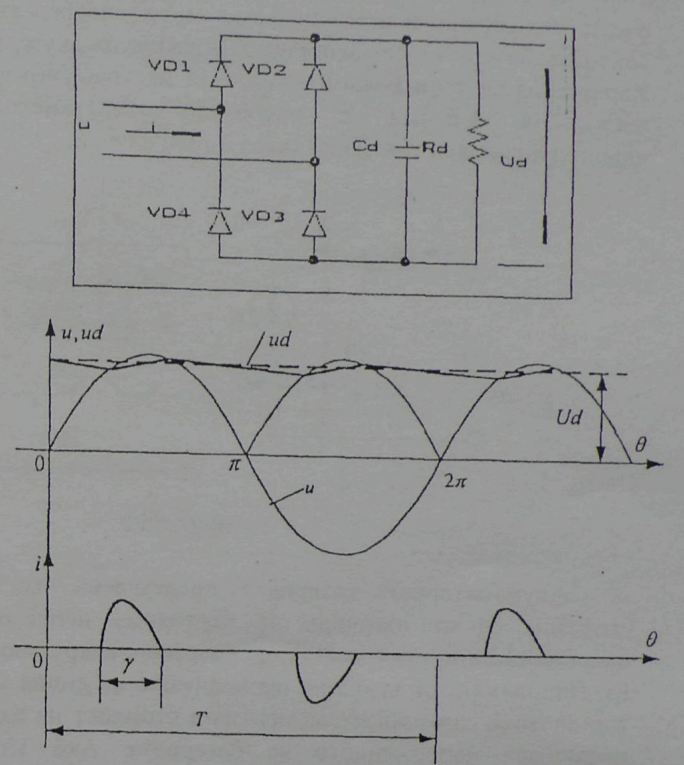
Неуправляеми токоизправители

Токоизправителите са преобразуватели на променливотокова в постояннотокова електроенергия. При неуправляемите токоизправители стойността на изходното постоянно напрежение зависи от стойността на входното променливо и не може да се регулира чрез управление на силовите прибори в схемата на токоизправителя. Основни елементи при тях са неуправляемите полупроводникови прибори – диоди.

Най – широко разпространение в практиката при еднофазните системи за непрекъсваемо електрозахранване е получил еднофазният мостов неуправляем токоизправител с активно-капацитивен характер на товара- фиг. 5.10 [8].

През положителния полупериод на входното променливо напрежение u провеждат диодите VD1 и VD3, а през отрицателнния - VD2 и VD4. По време на интервалите на проводимост се зарежда изходният кондензатор Cd, който след това се разрежда през товара. Ток от захранващата мрежа се консумира само за ъгъла на проводимост на диодите γ, който е от съществено значение при проектирането на токоизправителя.. Поради различието на този ток от синусоидалната форма той съдържа висши хармонични освен основната, чиито стойности в проценти от нея са показани в таблица 5.1. С цел отстраняването им в системите за непрекъсваемо електрозахранване или като неразделна част или опционално се включват активни силови филтри.

В разгледания режим работи неуправляемият токоизправител тогава, когато към изхода му е включен инвертор на напрежение , като



Фиг. 5.10

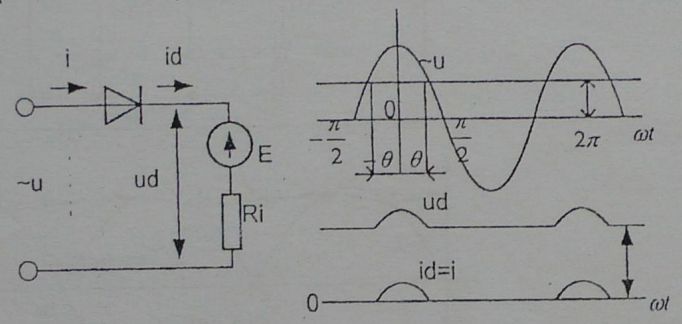
Таблица 5.1

n	3	5	7	9	11	13	15	17
$\frac{I_n}{I_1}$,%	73.2	36.6	8.1	5.7	4.1	2.9	0.8	0.4

кондензаторът Cd е входният кондензатор на инвертора . Това може да бъде при UPS- система от типа " double conversion", при която акумулаторната батерия се зарежда от отделен преобразувател. Разбира се, този принцип може да се използва и при другите конфигурации, като

важното е , че AC/DC конверторите са два – единият е за захранване на инвертора (например разгледаният неуправляем токоизправител), а другият – за заряд на батерията (може да бъде неуправляем токоизправител или импулсен преобразувател).

Често при по- малка мощност на системата за непрекъсваемо електрозахранване и при еднофазна мрежа посредством неуправляеми токоизправители се осъществява зареждане на акумулаторната батерия. Характерна за този режим е работата на токоизправителя на противо е.д.н. На фиг.5.11 е разгледано действието на еднофазен еднополупериоден токоизправител в този случай.



Фиг.5.11

Акумулаторната батерия е представена със заместваща схема, състояща се от източник на постоянно напрежение E, равно на напрежението й, последователно свързан с вътрешното й съпротивление Ri. Половината от ъгъла на проводимост на диода е означена с 0, като ток протича само когато моментната стойност на входното напрежение превишава напрежението на батерията. Ако Um е максималната стойност на входното напрежение, то от фиг.5.11 при приетото начало на координатната система се вижда, че

$$\theta = \arccos\frac{E}{U_m}$$

Моментната стойност на изправеното напрежение може да се представи във вида:

$$u_d = \begin{cases} U_m \cos\omega t; за -\theta \le \omega t \le \theta \\ E; за \theta \le \omega t \le 2\pi - \theta \end{cases}$$

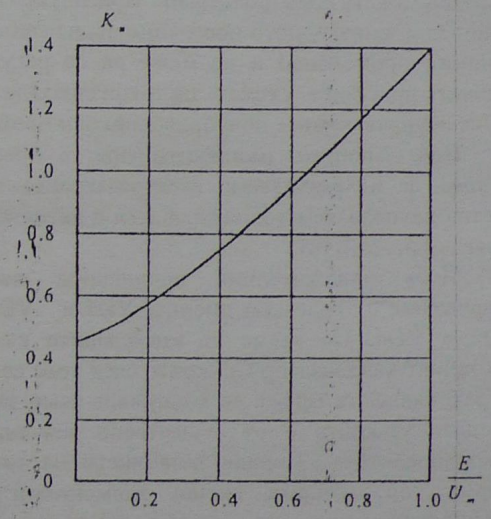
От тук може да се намери средната стойност на изправеното напрежение:

$$U_d = \frac{1}{2\pi}\int_{-\theta}^{2\pi-\theta} u_d d\omega t = \frac{U_m}{\pi}\sin\theta + \left(1-\frac{\theta}{\pi}\right)E$$

Ако тази стойност се представи в относителни единици спрямо ефективната стойност на захранващото напрежение и това отношение се означи с Ku, то от последния израз се получава:

$$K_u = \frac{U_d}{U} = \sqrt{2}\left(\frac{\sin\theta}{\pi} + \left(1-\frac{\theta}{\pi}\right)\cdot\frac{E}{U_m}\right)$$

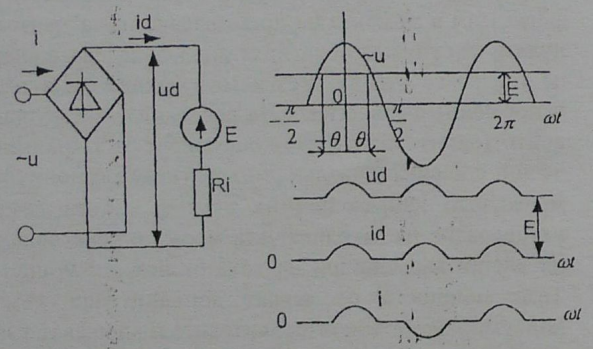
Графично изменението му като функция на отношението E/Um е показано на фиг.5.12 . Стойността му е 0.45 при E/Um=0 и 1.414 при E/Um=1.



Фиг.5.12

Аналогично може да бъде получено изменението на стойността на това отношение и при други форми на напрежението, захранващо еднофазния еднополупериоден токоизправител – например импулси с различна форма.

Работата на еднофазния мостов неуправляем токоизправител при заряд на акумулаторна батерия е пояснена на фиг .5.13.



Фиг. 5.13

За моментната стойност на изходното напрежение на токоизправителя при избраното начало на координатната система може да се запише:

$$u_d = \begin{cases} U_m \cos \omega.t; за -\theta \le \omega.t \le \theta \\ E; за \theta \le \omega.t \le \pi - \theta \end{cases}$$

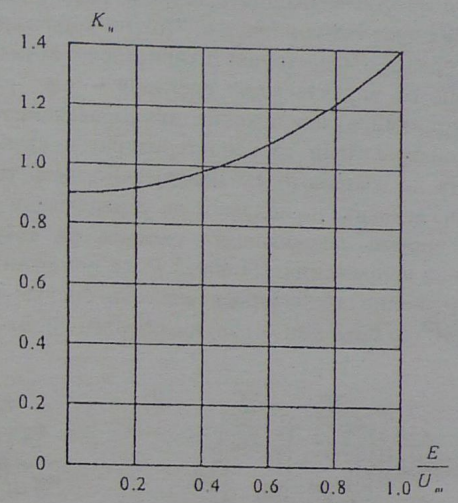
Отново може да се намери средната стойност на изправеното напрежение:

$$U_d = \frac{1}{\pi}\int_{-\theta}^{\pi-\theta} u_d d\omega.t = \frac{2.U_m}{\pi}\sin\theta + \left(1 - \frac{2.\theta}{\pi}\right).E$$

Аналогично на еднополупериодния токоизправител:

$$K_u = \frac{U_d}{U} = \sqrt{2}\left(\frac{2.\sin\theta}{\pi} + \left(1 - \frac{2.\theta}{\pi}\right).\frac{E}{U_m}\right)$$

Това отношение е равно на 0.9 при E/Um=0 и 1.414 при E/Um=1, а изменението му е показано на фиг 5.14 .



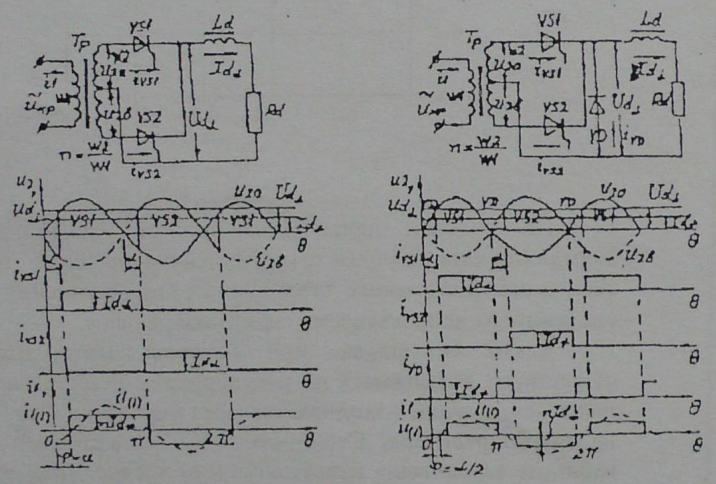
Фиг.5.14

По подобен начин може да се извърши и зареждане на акумулаторната батерия от трифазен неуправляем токоизправител, но това е намерило много ограничено разпространение в практиката при системите за непрекъсваемо електрозахранване.

Както се вижда, при неуправляемите токоизправители не съществува възможност за регулиране и стабилизиране на изходното напрежение и/или изходния ток чрез управление на силовите прибори на токоизправителя. Стойностите им зависят само от стойността на входното захранващо напрежение и от товара. Така че с тях не може да се постигне заряд на акумулаторните батерии с препоръчваните характеристики на източника, разгледани по-горе. Тези характеристики е важно да се следват, за да се осигури използване на максималния експлоатационен срок на батерията – обикновено 5 или 10 години. На практика поради тези причини в системите за непрекъсваемо електрозахранване се използват предимно управляеми токоизправители – еднофазни и трифазни при по-голяма мощност.

Управляеми токоизправители

Характерна особеност на тези токоизправители е използването на управляеми силови прибори – най-често тиристори. За включването им освен право напрежение между анода и катода се изисква и подаване на управляващ импулс на третия електрод – управляващ електрод или гейт. Стандартният тип тиристори след включване не могат да бъдат изключени от управляващия електрод. Това става след намаляване на протичащия през тях ток под т.н. "ток на задържане", който е параметър на тиристора [5]. Съществуват и тиристори с възможност за включване и изключване от управляващия електрод – т.н. "gate turn-off thyristors", които също намират приложение при управляемите токоизправители [4]. Тези токоизправители се характеризират с възможност за изменение стойността на изходното им напрежение, като това става посредством промяна на момента на подаване на управляващи импулси към силовите прибори спрямо захранващата схемата на токоизправителя система променливи напрежения. На фиг.5.15 са показани схемите на еднофазни двуполупериодни токоизправители със средна точка на захранващия трансформатор без – фиг.5.15а) и с обратен диод – фиг.5.15б) [2].



а) б)

Фиг.5.15

Разгледано е действието при активно-индуктивен характер (при предположение за безкрайно голяма индуктивност) на товара, който е най-често срещан в практиката. Управляващите импулси към тиристорите се подават със закъснение на ъгъл α (ъгъл на регулиране) спрямо момента на преминаване на захранващото напрежение през нулата. Показани са и токовете през силовите прибори. Така например при токоизправителя от фиг.5.15а) тиристорите продължават да провеждат и в част от следващия полупериод вследсвие запасената в индуктивността на товара енергия. Вследствие на това изходното напрежение съдържа участъци под абсцисната ос. При схемата от фиг.5.15б) в момента на преминаване на захранващото напрежение през нулата се отпушва обратният диод, запасената енергия в индуктивността на товара се отдава през него в изхода , а в тези моменти изходното напрежение е равно на 0. На последните времедиаграми е показан токът, който токоизправителите консумират от захранващата мрежа. Вижда се, че той е несинусоидален ,а първата му хармонична е дефазирана спрямо мрежовото напрежение на ъгъл φ. Това дефазиране е свързано с натоварване на захранващата мрежа с реактивна мощност, а наличието на висши хармонични на тока от нея – с мощност на изкривяване [1]. Тези мощности се явяват допълнителни към активната мощност, консумирана от токоизправителите и влошават т.н. фактор на мощност – виж. т. 5.3. За отстраняването им в някои случаи към системите за непрекъсваемо електрозахранване се включват активни силови филтри. Колкото е по-голям ъгълът φ, толкова е по-голяма реактивната мощност, така че схемата от фиг.5.15б) има по-висок фактор на мощност и по-добри показатели по отношение на мрежата.

Зависимостта на средната стойност на изходното напрежение Udα от ъгъла на регулиране се нарича регулировъчна характеристика. За схемата от фиг.5.15а) може да се изведе следният израз:

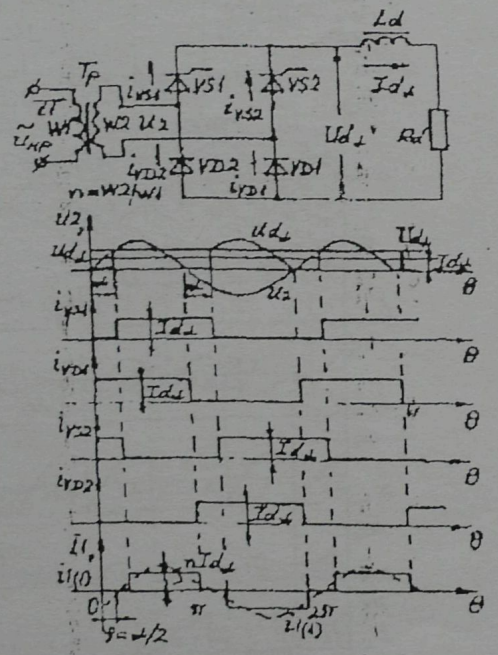
$$U_{d\alpha} = \frac{2.\sqrt{2}}{\pi}.U_2.\cos\alpha = U_{d0}.\cos\alpha$$

където U2 е ефективната стойност на напрежението на вторичната полунамотка, а Ud0 – стойността на изходното напрежение при неуправляем токоизправител – при α=0. Следователно максималният ъгъл на регулиране, при който изходното напрежение става равно на 0, е

π/2. За схемата от фиг.5.15б) максималният ъгъл е π, а изразът за регулировъчната характеристика :

$$U_{d\alpha} = U_{d0}\frac{1+\cos\alpha}{2}$$

На фиг.5.16 са показани схемата и времедиаграми, пояснящи действието на еднофазен мостов несиметричен токоизправител , съдържащ в анодната група диоди, а в катодната – тиристори [2].



Фиг.5.16

От времедиаграмите се вижда, че в интервалите, когато изходното напрежение е равно на 0, запасената в индуктивността на товара енергия се разсейва през едноименно свързани силови прибори – например VS1, VD2 или VS2,VD1. Времедиаграмата на тока от захранващата мрежа е

като при токоизправителя от фиг.5.15б), откъдето се вижда, че ъгълът на дефазиране между захранващото напрежение и първата хармонична на тока е равен на половината от ъгъла на регулиране. Изразът за регулировъчната характеристика е :

$$U_{d\alpha} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}.U_2\frac{1+\cos\alpha}{2} = U_{d0}\frac{1+\cos\alpha}{2}$$

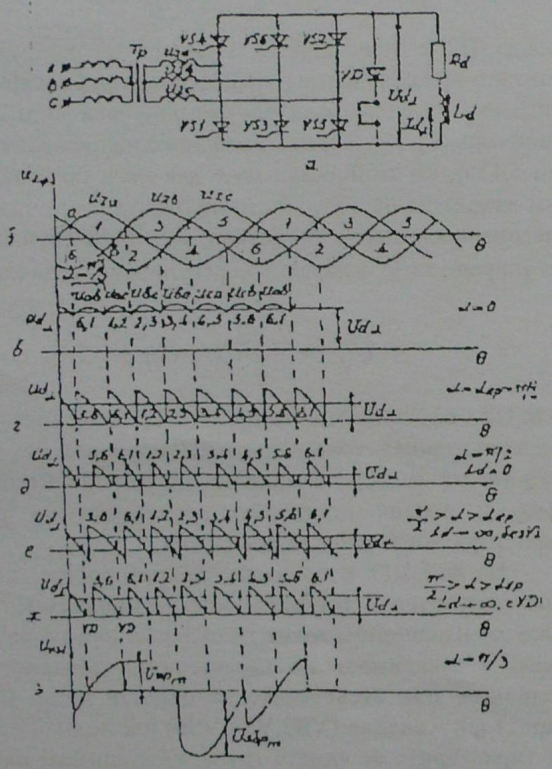
където U2 е ефективната стойност на напрежението на вторичната намотка на захранващия трансформатор. Еднофазен мостов симетричен управляем токоизправител се получава при използване на четири тиристора [4], [5]. Тогава изходното напрежение има форма като тази от фиг.5.15а), но стойността му е два пъти по-голяма, поради прилагането към изхода на напрежението от цялата вторична намотка при включени диагоналносвързани тиристори. И в този случай максималният ъгъл на регулиране е π/2, а изразът за регулировъчната характеристика:

$$U_{d\alpha} = \frac{2.\sqrt{2}}{\pi}.U_2.\cos\alpha = U_{d0}.\cos\alpha$$

като U2 е ефективната стойност на напрежението на вторичната намотка. Несиметричният токоизправител понякога се предпочита поради по-добрият му фактор на мощност по отношение на захранващата мрежа,а също и поради по-лесната реализация на управлението на двата тиристора, които имат общи катоди.

На фиг.5.17 е показана най-разпространената схема на трифазен токоизправител – трифазен мостов управляем токоизправител , чисто изходно напрежение може да съдържа или не паузи (стойности равни на нула) в зависимост от характера на товара , ъгъла на регулиране, наличието или отсъствието на обратен диод. Състои се от две групи тиристори – анодна (VS2,VS4,VS6) и катодна (VS1,VS3,VS5), като всеки от тиристорите от едната група, свързан към някоя от фазите, може да провежда с тиристори от другата група, свързани към другите две от фазите Ъгълът на регулиране, при превишаване на който е възможна поява на паузи, се нарича критичен ъгъл и за този токоизправител стойността му е π/3. За ъгли по-малки от тази стойност формата на изходното напрежение не зависи от характера на товара и от наличието на обратен диод – фиг.5.17в) и фиг.5.17г). При чисто активен характер на товара след критичния ъгъл в кривата на изходното напрежение се

появяват паузи и токът през товара е прекъснат – фиг.5.17д). При наличие на индуктивност в товара кривата на изходното напрежение съдържа и отрицателни стойности, вследсвие запасената в тази индуктивност енергия, която поддържа тока през провеждалите тиристори над тока на задържане и след смяна знака на съответното линейно напрежение – фиг.5.17е). При наличие на обратен диод и активно-индуктивен характер на товара тази енергия се разсейва в товара през този диод , а провеждалите тиристори се изключват след смяна знака на съответното им линейно напрежение – фиг.5.17ж). Изходното напрежение отново съдържа паузи, като токът през товара е непрекъснат.



Фиг.5.17

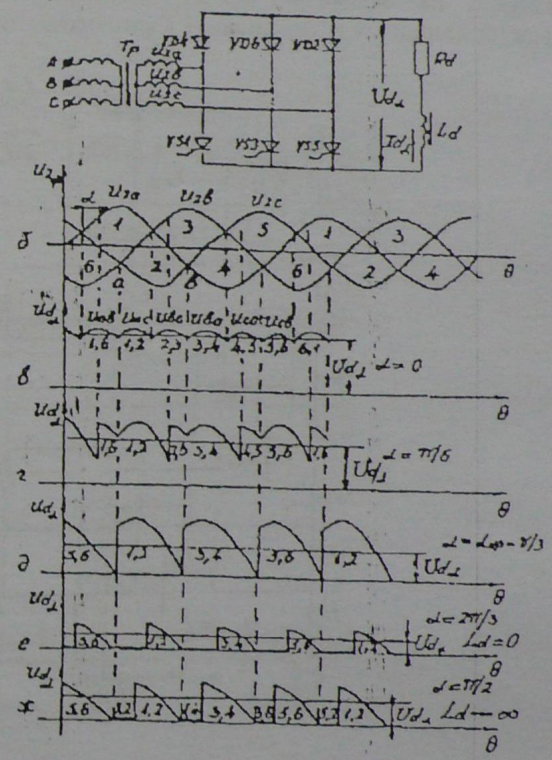
На фиг.5.17з) е показана формата на напрежението върху първия тиристор, която зависи от ъгъла на регулиране. Максималната стойност на обратното напрежение е равна на тази на линейното напрежение.

Изразите за регулировъчните характеристики са следните:

- при чисто активен товар и при активно-индуктивен товар с обратен диод

$$U_{d\alpha} = \frac{3.\sqrt{6}}{\pi} U_2 \left[1 - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right)\right] = 2.34.U_2 \left[1 - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right)\right] = U_{d0} \left[1 - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{6}\right)\right]$$

като максималният ъгъл на регулиране е равен на $2\pi/3$.

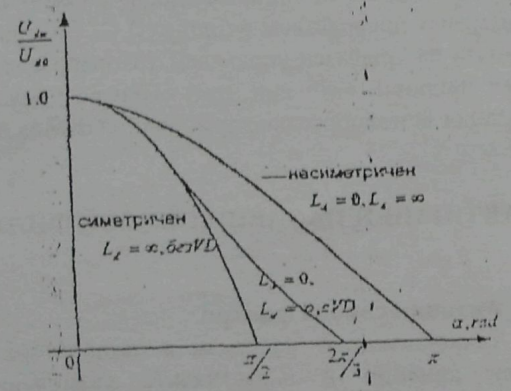


Фиг.5.18

- при активно-индуктивен характер на товара без обратен диод

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cos\alpha$$

като максималният ъгъл на регулиране е равен на π/2 U2 е ефективната стойност на фазовото напрежение на вторичната страна на захранващия трансформатор.



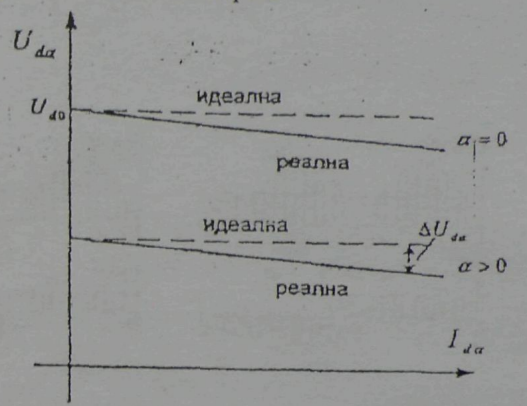
Фиг.5.19

На фиг.5.18 е показана схемата на несиметричния трифазен мостов токоизправител, който в едната група съдържа диоди, а в другата – тиристори. От времедиаграмите се вижда, че след критичния ъгъл изходното напрежение съдържа пауси, независимо от характера на товара – активен или активно-индуктивен. По време на паузите ролята на обратен диод се изпълнява от провеждалия до момента тиристор и едноименния му диод. Кои прибори провеждат в отделните интервали от време може да стане ясно от показаните на фиг.5.18 времедиаграми. Изразът за регулировъчната характеристика е:

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \frac{1+\cos\alpha}{2}$$

като максималният ъгъл на регулиране е равен на π. Предимство на токоизправителя е подобреният фактор на мощност по отношение на захранващата мрежа и по-лесната реализация на системата за управление. На фиг. 5.19 са показани регулировъчните характеристики на разгледаните трифазни управляеми токоизправители.

Изходните (външни) характеристики на токоизправителите – фиг.5.20 показват зависимостта на изходното напрежение от изходния ток. Идеалните характеристики са прави, успоредни на абсцисната ос. Реалните характеристики са с наклон спрямо нея, като промяната на изходното напрежение се дава с израза:



Фиг.5.20

$$\Delta U_{d\alpha} = \Delta U_{d\alpha СП} + \Delta U_{d\alpha R} + \Delta U_{d\alpha Ls}$$

където

$\Delta U_{d\alpha СП}$ е падът на напрежение върху силовите прибори на токоизправителя,

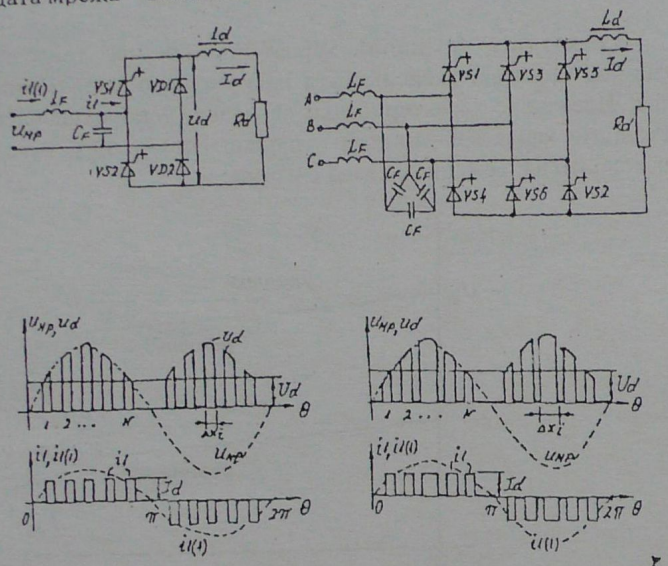
$\Delta U_{d\alpha R}$ падът на напрежение в активните съпротивления (на трансформатора, на филтровия дросел, на шините),

$\Delta U_{d\alpha Ls}$ т.н. индуктивен пад на напрежение, дължащ се на процесите на комутация между тиристорите вследствие индуктивността на разсейване на мрежовия трансформатор Ls, чиято стойност се определя от зависимостта:

$$\Delta U_{d\alpha Ls} = m.f.Ls.I_{d\alpha}$$

f е честотата на захранващото мрежово напрежение, а m е число, показващо колко пъти честотата на първата хармонична на изходното напрежение е по-голяма от мрежовата честота – т.н. кратност на пулсации [1].

Управляемите токоизправители със стандартен тип тиристори се характеризират с влошен фактор на мощност по отношение на захранващата мрежа – виж. т.5.3.



Фиг.5.21

Това се дължи на формата на тока, който те консумират от нея – фиг.5.15 и фиг.5.16. В общия случай той е несинусоидален като първата му хармонична е дефазирана по отношение на захранващото напрежение.

С цел подобряване на фактора на мощност се използват напълноуправляеми прибори в силовата схема на токоизправителите – например GTO-тиристори, като управлението им се осъществява по методите на широчинно-импулсната модулация [4]. Различни модулационни методи и силови схеми постоянно са обект на изследване, като някои от тях намират приложение и при системите за непрекъсваемо електрозахранване [25].

На фиг.5.21 е показана схемата на еднофазен токоизправител, като времедиаграмите поясняват действието му при използване на управление с линейна и синусоидална широчинно-импулсна модулация. Тиристорите се включват и изключват многократно в един полупериод

на захранващото напрежение , като по време на паузите енергията на индуктивността се разсейва през товара през еднораменносвързаните диоди. Регулиране на изходното напрежение се осъществява чрез едновременна промяна продължителността на интервалите на проводимост при запазване разположението им по отношение на захранващото напрежение. По този начин първата хармонична на тока от мрежата не се дефазира по отношение на напрежението й – виж. фиг.5.21. Предпочита се синусоидалната широчинно-импулсна модулация, т.к. токът съдържа висши хармонични с висок номер, които се намаляват посредством входните LC- филтри. На фиг.5.21 е показана и схемата на трифазен управляем токоизправител с напълноуправляеми силови прибори, като при него също се прилагат различни закони на модулация за подобряване хармоничния състав на мрежовия ток.

5.3. АКТИВНИ И ПАСИВНИ СИЛОВИ ФИЛТРИ

Активни силови филтри

Технологичният напредък в създаването на напълноуправляеми силови прибори и нарастналите възможности на системите за управление, изградени на базата на микропроцесори и микроконтролери, са в основата на нови решения в стремежа за повишаване фактора на мощност на силовите електронни устройства.

Факторът на мощност представлява отношение на активната P и пълната мощност S, които дадено устройство консумира от захранващата мрежа [1]:

$$K_P = \frac{P}{S} = \nu.\cos\varphi$$

където cosφ е коефициентът на дефазиране (φ - ъгълът на дефазиране между синусоидалното мрежово напрежение и първата хармонична на консумирания от мрежата ток), а ν е коефициентът на изкривяване формата на тока:

$$\nu = \frac{I_1}{I}$$

I е ефективната стойност на тока от мрежата, а I1 – само на първата му хармонична. От приведените зависимости се вижда, че за да бъде факторът на мощност по-близък до 1, то от мрежата трябва да се консумира ток с форма по-близка до синусоида (ν клони към 1), чиято първа хармонична е във фаза с мрежовото напрежение (cos φ клони към 1).

Активните силови филтри представляват устройства, които приближават фактора на мощност на дадени консуматори до 1 [1]. Те могат да бъдат неразделна част от UPS- системата или да се предлагат опционално. Много често потребителите не разбират ползата от работата с фактор на мощност близък до 1, поради което е полезно да се разгледа един пример. Всяка електроснабдителна мрежа е оразмерена за определена ефективна стойност на тока I и напрежението U. Т.к. произведението им представлява пълната мощност S, то ясно е, че тази мощност е ограничена. Нека се разполага например с еднофазна мрежа за напрежение 220 V и ток 15 A (на 16 A има включени мрежови предпазители). Т.к. по стандарт мрежовото напрежение може да намалее с 10 % до около 200 V, то ясно е, че пълната мощност за тази мрежа е ограничена на 3000 VA.

Ако към нея се включват например персонални компютри, чиито захранващи блокове са без корекция на фактора на мощност и имат типична стойност 0.6, а тези компютри консумират активна мощност 240 W, то всеки от тях ще товари мрежата с 400 VA (240/0.6). Поради ограничената мощност на мрежата към нея могат да се включат 7 компютъра (3000/400 = 7.5).

Ако обаче захранващият блок на всеки компютър е с корекция на фактора на мощност и има типична стойност 0.95, то въз основа на аналогични пресмятания може да се види, че към същата мрежа могат да се включат вече 11 компютъра (3000/(240/0.95) = 11.875).

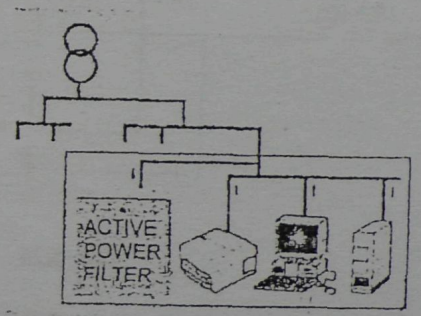
Ако все пак на мрежата работят вече компютри със захранващи блокове без корекция, то броят им може да се увеличи, но допълнително да се използва активен силов филтър, който да коригира общия фактор на мощност на всички консуматори до 1.

Освен това, както бе отбелязано в т.2, стандартът ограничава нивото на висшите хармонични, вкарвани от консуматора в захранващата мрежа. Така например в табл.1 са показани стойностите им за оборудване клас А, където попадат част от системите за непрекъсваемо електрозахранване в случай, че консумацията на фаза е под 16 A [18].

Table.1. EN 6100-3-2 Standard Class A

Harmonic order N	Maximum permissible harmonic current A
Odd harmonics	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
15≤n≤39	0.15*(15/n)
Even harmonics	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
8≤n≤40	0.23*(8/n)

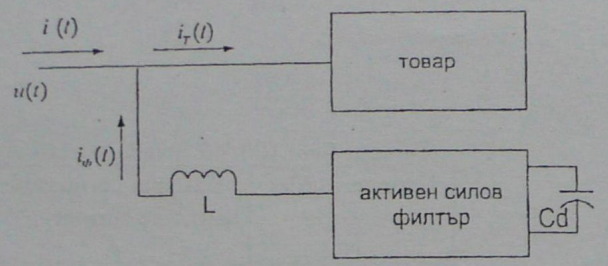
На фиг.5.22 е показан начинът на включване на активен силов филтър, чиято цел е корекция на фактора на мощност например на една компютърна система.



Фиг. 5.22

Активните силови филтри (active power filters) биват паралелни и последователни [7], [41]. В основата на паралелните активни силови филтри лежи идеята, пояснена на фиг. 5.23 .

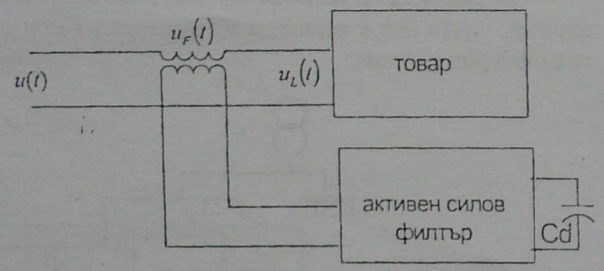
В общия случай товарът консумира от захранващата мрежа несинусоидален ток it(t), дефазиран спрямо мрежовото напрежение u(t).



Фиг. 5.23

Целта е да се управлява подходящ преобразувател на електроенергия (активен силов филтър) по такъв начин, че неговият ток iф(t) да допълва във всеки момент от време тока на товара така, че общият ток i(t) да бъде синусоидален и във фаза с мрежовото напрежение. По този начин общият фактор на мощност Кр ще бъде в идеалния случай равен на единица. При управлението на приборите на активния филтър се прилага методът на следящо управление (sliding mode control), като се следи стойността на общия ток от мрежата i(t) който , както бе отбелязано, трябва да следи синусоида във фаза с мрежовото напрежение .

Като основа при създаването на последователните активни силови филтри се използва показаната на фиг. 5.24 схема [38].



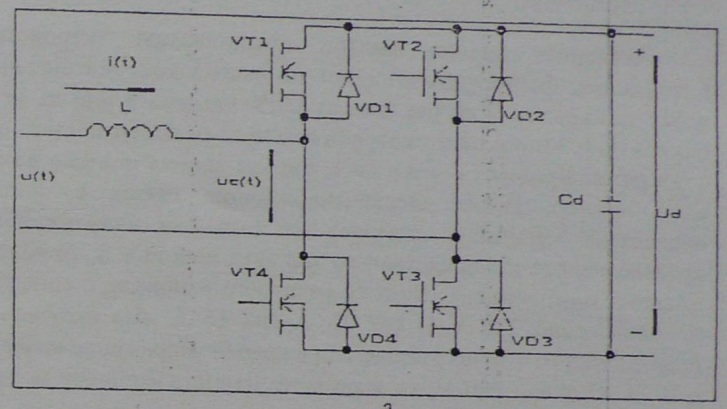
Фиг. 5.24

Към напрежението на захранващата мрежа u(t), което в общия случай може да не е с необходимата стойност и да съдържа висши хармонични се прибавя напрежението на филтъра Uf(t) така, че

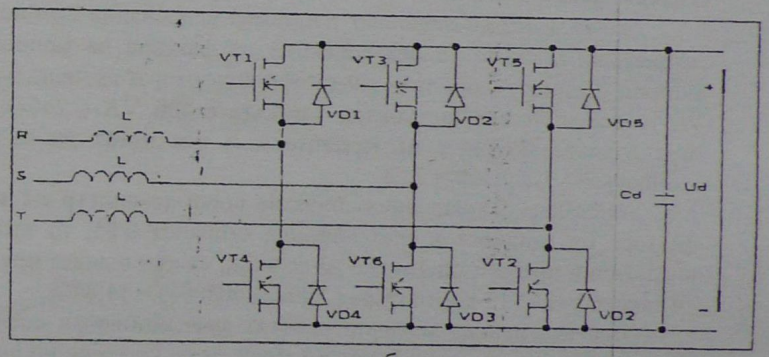
захранващото товара входно напрежение Ul(t) да е с необходимата стойност и без наличие на висши хармонични.

При много отговорни консуматори се използва комбинацията от паралелни и последователни активни филтри.

Като основна силова схема при създаването на еднофазни активни силови филтри се използва еднофазният преобразувател с двупосочно предаване на енергията, чиято принципна схема е показана на фиг. 5.25а). Трифазният вариант на преобразувателя е представен на фиг. 5.25б).



а



б

Фиг. 5.25

Освен в активните силови филтри тези преобразуватели намират приложение и при UPS- системи от типа "line-interactive"- виж фиг.2.4. Принципните схеми са показани с използването на MOS-транзистори, но

трябва да се има предвид, че напоследък като основни прибори се налагат мощните биполярни транзистори с изолиран гейт (IGBT). Принципът на действие ще бъде пояснен с използването на схемата на еднофазният двупосочен преобразувател (bidirectional converter). Във всеки момент от време са изпълнени зависимостите [1]:

$$u(t) = u_C(t) + u_L(t)$$

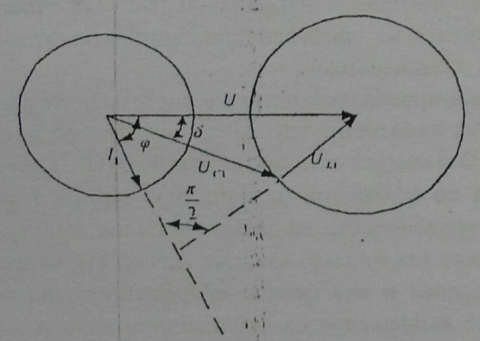
$$u_L(t) = L.\frac{di(t)}{dt}$$

Индуктивността на дросела L (с отчитане индуктивността на захранващата мрежа) намалява високочестотните пулсации на тока. Ако се приеме, че захранващото напрежение е чисто синусоидално, то за първите хармонични може да се запише основната система:

$$U = U_{L1} + U_{C1}$$

$$U_{L1} = j\omega L I_1$$

Векторната диаграма, съответстваща на тази система, е показана на фиг. 5.26.



Фиг. 5.26

За базов вектор е приет векторът на напрежението на захранващата мрежа U. Токът от мрежата I1 изостава от напрежението U на ъгъл φ, а дефазирането между мрежовото напрежение и първата хармонична на входното напрежение на двупосочния конвертор Uc1 е означено с δ. На базата на приведената векторна диаграма могат да бъдат съставени зависимости за активната и реактивна мощности.

$$P = U.I_1.\cos\varphi$$

и тъй като

$$U_{L1}.\cos\varphi = \varpi.L.I_1.\cos\varphi = U_{c1}.\sin\delta$$

то

$$P = \frac{U^2}{\varpi.L}\left(\frac{U_{C1}}{U}\sin\delta\right)$$

От друга страна

$$Q = U.I_1.\sin\varphi$$

и тъй като

$$U_{C1}.\cos\delta = U - U_{L1}.\sin\varphi = U - \varpi.L.I_1.\sin\varphi$$

то

$$Q = \frac{U^2}{\varpi.L}\left(1 - \frac{U_{C1}}{U}\cos\delta\right)$$

Освен това от основната система уравнения следва:

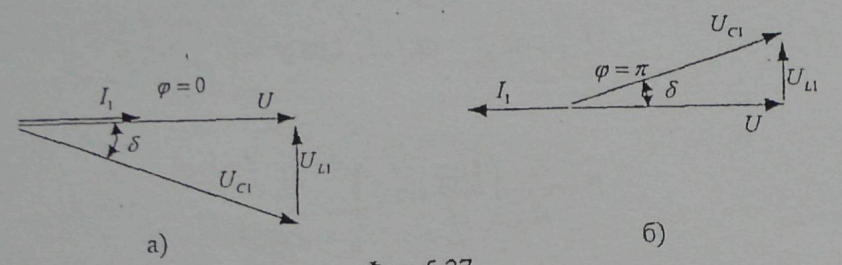
$$I_1 = \frac{U - U_{C1}}{j\varpi.L}$$

От изразите за P и Q се вижда, че при фиксирана стойност на индуктивността L и някаква стойност на напрежението на захранващата мрежа U, желани стойности на мощностите могат да бъдат получени чрез изменение на напрежението на входа на конвертора Uc1 и ъгъла на дефазирането му спрямо захранващото δ.

От фиг. 5.26 се вижда също как трябва да се променя Uc1 в случай, че се изисква поддържане на I1 с постоянна стойност.

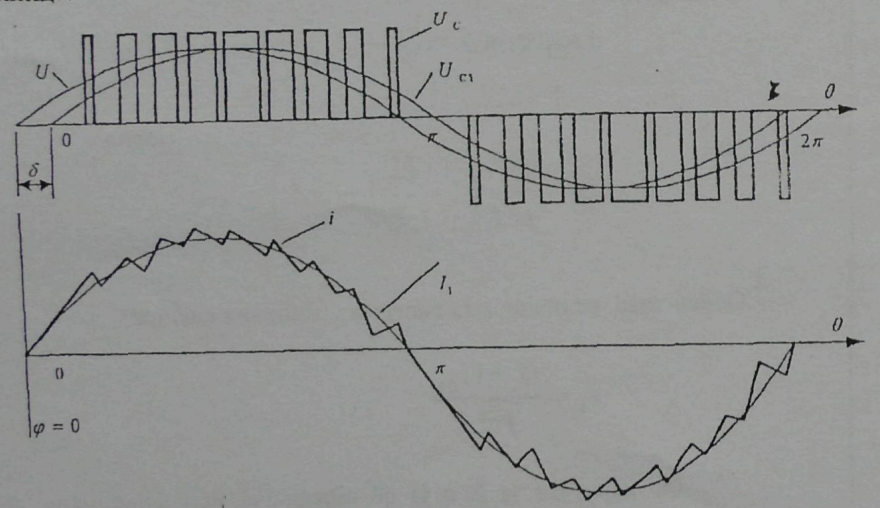
На фиг.5.27 са показани векторните диаграми в изправителен – фиг.5.27а) и инверторен – фиг.5.27б) режими на работа с фактор на мощност, равен на единица. В първия случай първата хармонична на

тока е във фаза с мрежовото напрежение, а във втория – в противофаза. Вижда се, че в зависимост от това първата хармонична на изходното напрежение на двупосочния преобразувател Uc1 изостава или изпреварва мрежовото напрежение U с ъгъл δ.



Фиг. 5.27

На фиг.5.28 са показани времедиаграмите на токовете и напреженията в схемата от фиг.5.25а), съответстващи на режим на работа от фиг.5.27а) – изправителен с фактор на мощност, равен на единица.

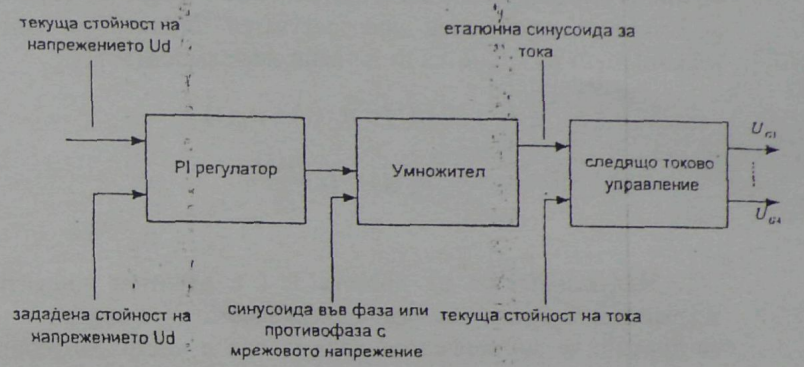


Фиг. 5.28

Вижда се, че токът следи предварително зададена еталонна форма (в случая синусоидална) чрез превключване на силовите прибори. Тогава, когато напрежението Uc е нула, токът нараства, а когато е равно

на изходното Ud – токът намалява. Освен това е необходимо изходното напрежение да се поддържа постоянно по стойност в зависимост от желаната стойност на първата хармонична на Uc.

На фиг.5.29 е показана структурната схема на системата за управление при самостоятелна работа на схемата от фиг.5.25а) [1].

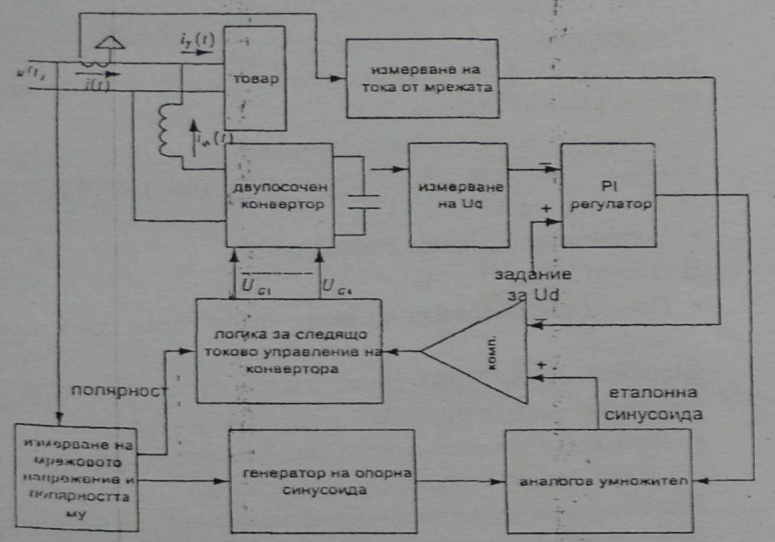


Фиг. 5.29

Еталонната форма за тока се получава чрез умножение на синусоида във фаза (за работа в изправителен режим) или противофаза (за работа в инверторен режим) с мрежовото напрежение с изходното напрежение на PI – регулатора. На входа му се сравняват текущата и зададената стойности на изходното напрежение Ud. От принципа на действие е ясно, че в случая на трифазен преобразувател трябва да се следят три еталонни синусоиди за тока.

При работа обаче на преобразувателите в системата от фиг. 5.23 е ясно, че еталонната форма на входния ток iф(t), който трябва да се следи, трябва да се формира в зависимост от тока на товара iт(t) . Това може да се осъществи например по показания на фиг. 5.30 начин, отразяваща основните блокове при управлението на активния силов филтър. Вижда се, че се следи вече общият ток от захранващата мрежа i(t), който винаги трябва да бъде синусоидален и във фаза с напрежението на мрежата. Стойността на изходното напрежение на двупосочния конвертор трябва винаги да остава по-голяма от максималната стойност на мрежовото напрежение, което се осигурява от непрекъснатото му следене чрез PI-регулатора. Логиката за следящо токово управление отчита полярността на захранващото напрежение и разликата между текущата стойност на тока и стойността от еталонната синусоида. През положителния

полупериод се подава сигнал за включване на транзистора VS2 от фиг.5.25а), а през отрицателния – на VS3. От друга страна, ако текущата стойност

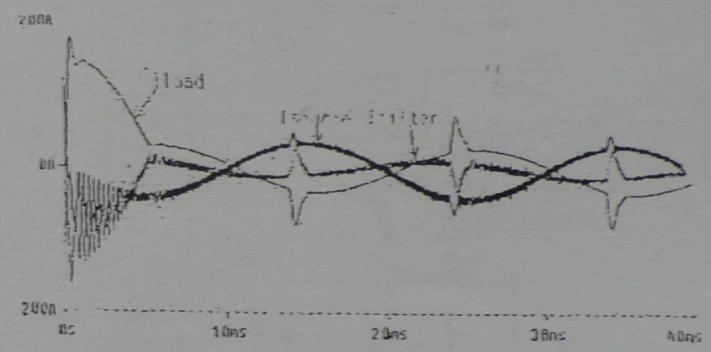


Фиг. 5.30

на тока е по-малка от еталонната се включва VS4, а ако е по-голяма – VS1. Трябва да се отбележи, че като основна тенденция в последно време се налага изграждането на цялата система за управление на активните филтри на базата на цифрови сигнални процесори (digital signal processors) [41].

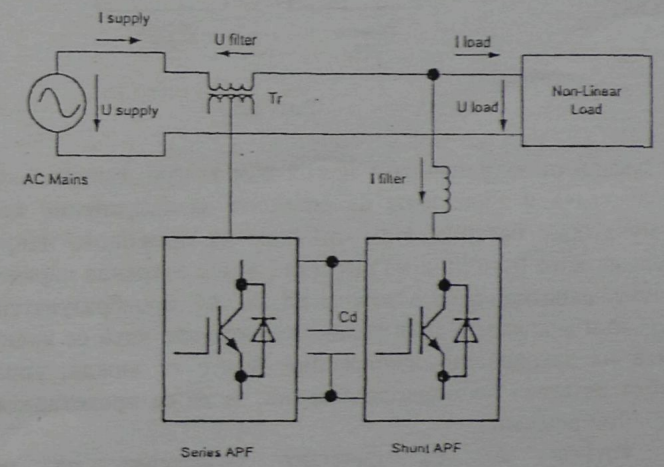
На фиг. 5.31 е показана съвместната работа на еднофазен активен силов филтър с два товара едновременно- неуправляемия токоизправител, разгледан на фиг.5.10, и активно-индуктивен товар. Токът, който тези товари консумират от захранващата мрежа, е означен с Iload. Вижда се, че токът на филтъра Ifilter допълва във всеки момент от време тока на товарите така, че общият ток от захранващата мрежа Isource да бъде синусоидален и във фаза с мрежовото напрежение, при което се постигат стойности на фактора на мощност над 0.98.

На практика често се използва комбинацията от паралелен и последователен силов филтър, която се нарича "active power line conditioner" (APLC), при което и захранващото товара напрежение е



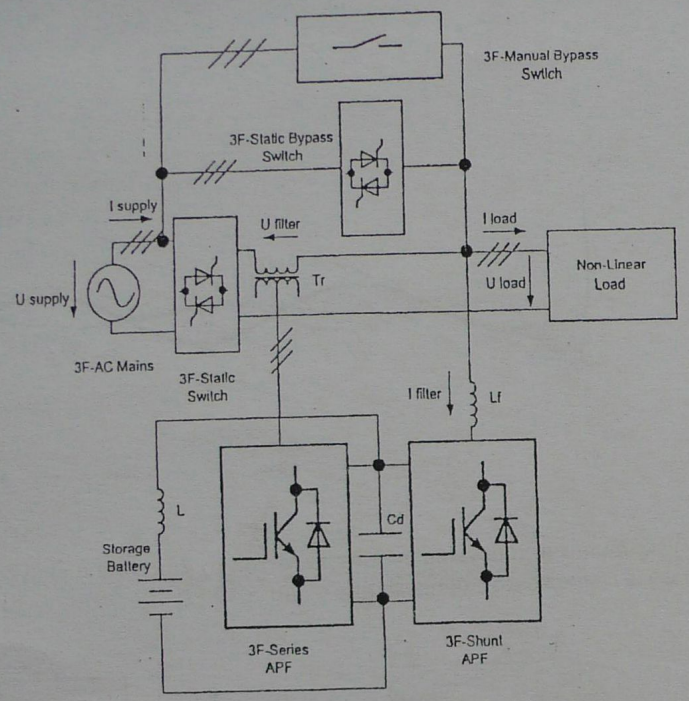
Фиг. 5.31

синусоидално и консумирания от него ток от мрежата е синусоидален и във фаза с мрежовото напрежение – фиг.5.32 [7] .



Фиг.5.32

Определен интерес представлява описаната в [24] конфигурация, съчетаваща функциите на активните последователен и паралелен силови филтри с тези на системата за непрекъсваемо електрозахранване – фиг. 5.33. При наличие на мрежово напрежение статичния ключ на трифазната мрежа е включен, като товарът получава захранващо напрежение директно от нея. При това паралелният активен филтър корегира фактора му на мощност близо до единица, а последователният активен филтър отстранява евентуалните вредни смущения, които биха



Фиг. 5.33

постъпили от захранващата мрежа към товара. Едновременно с това се осъществява и зареждане на елемента за съхранение на енергията – акумулаторна батерия. При отпадане на мрежовото напрежение тя се използва като източник на енергия , която захранва паралелния активен филтър, работещ вече в режим на DC/AC преобразувател. Статичният ключ към мрежата в този режим е изключен, като се включва при нова поява на захранващо напрежение. Както се вижда, управлението му трябва да става по подходящ начин, за да се предотвратят евентуални аварийни режими.

Идеята да се съчетаят функциите на непрекъсваемо електрозахранване с тези на активна корекция на фактора на мощност се използва и в [47] при еднофазна мрежа. Зареждането ва акумулаторната батерия се осъществява чрез обратен DC/DC преобразувател, с който става и активната корекция на фактора на мощност. Повишаващ DC/AC преобразувател с галванично високочестотно разделяне захранва

чувствителния консуматор. Оригинално е използването на един и същ високочестотен трансформатор за двата преобразувателя.

Т.к. активните силови филтри много често се предлагат отделно от системата за непрекъсваемо електрозахранване, то трябва да се познават основните им технически данни.

Технически данни по отношение захранващата мрежа:

- *Брой на фазите и вид на системата (с или без неутрален проводник)*

Например 3 фази с възможност за избор в трипроводна или четирипроводна система.

- *Стойност на входното напрежение*

Обиковено се дава линейното с допустим толеранс – наример 380/400/415 V ± 20%.

- *Честота на входното напрежение*

Например 50/60 Hz ± 5%.

- *Ефективна стойност на тока, която може да се компенсира на фаза*

Например 20 A. Може да се даде и стойността за неутралния проводник – например 60 A.

- *Брой и вид на токовите трансформатори, чрез които става свързването към захранващата мрежа*

При еднофазна мрежа например обикновено 1 , но може и да са 2.

Общи технически данни :

- *Номера на хармоничните, които се компенсират*

Обикновено от 2-ра до 20-та хармонична.

- *Коефициент на намаляване на хармоничните*

Дава се като отношение на коефициента на хармонични за товара към коефициента на хармонични за захранващата мрежа – например 10 пъти.

- *Стойност, до която може да се компенсира коефициентът на дефазиране cosφ*

Обикновено близо до 1 – например 0.99.

- *Време на преходния процес (response time)*

Това е времето, за което може да се извърши компенсация и филтрация при рязка промяна на товара или при първоначално включване – например 40 mS.

- *Загуби на активна мощност във филтъра*

Те зависят от натоварването на филтъра. Например < 500 W.

- *Ниво на акустичен шум*

Например < 60 dB.

- *Температура и влажност на околната среда*

Например 0 до 40°C, 10 до 80%.

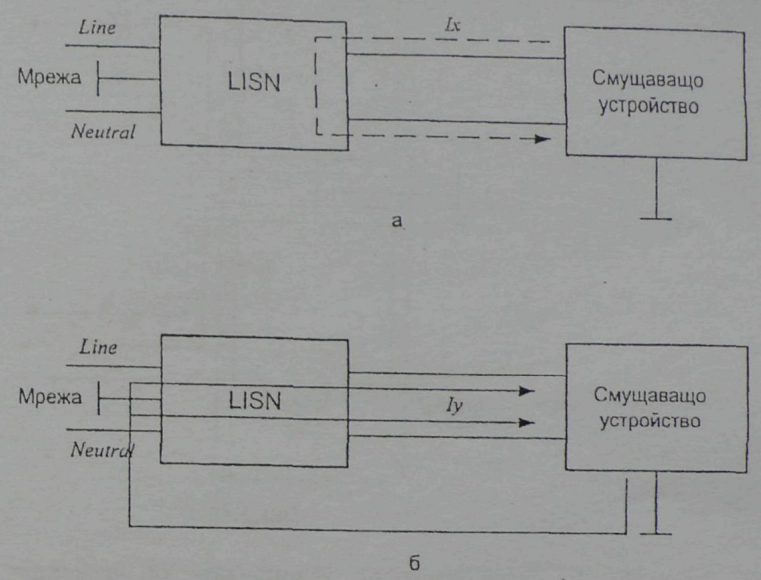
- *Съответствие с международните стандарти*

Освен номера на стандарта за техническа безопасност особено внимание се обръща на съответствие със стадартите за електроматнитна съвместимост : по отношение хармонични, вкарвани в захранващата мрежа – например EN 61000-3-2 или 61000-3-4 ; по отношение електромагнитни разряди – например IEC 1000-4-2; по отношение електромагнитни полета – например IEC 1000-4-3 и др.

Мрежови противосмутителни филтри

Основните блокове, от които са изградени системите за непрекъсваемо електрическо захранване съдържат силови полупроводникови елементи, работещи в ключов режим. Включването и изключването може да бъде както с близка до мрежовата честота (например при управляемите токоизправители и променливотокови прекъсвачи), така и със значително по-висока от нея честота (токоизправители с широчинно-импулсна модулация; преобразуватели на постоянно в постоянно напрежение; преобразуватели на постоянно в променливо напрежение, активни силови филтри). Във втория случай честотата на работа е извън звуковия диапазон – над 20 kHz, а за някои устройства може и да варира в определен високочестотен диапазон. Вследствие на това е възможно през захранващата мрежа да проникнат смущения с висока честота, за които импедансът й е голям, и това да предизвика нарушаване в работата на други чувствителни консуматори (например битова аудио и видео апаратура, комуникационни съоръжения). Поради това съществуват ограничения в нивата на тези смущения, които се контролират с помощта на т.н. "схема за стабилизиране импеданса на мрежата" (Line Impedance Stabilization Network). На фиг.5.34 са показани двата вида смущения, разпространявани през захранващите проводници [14].

На фиг.5.35 е показана схемата за стабилизиране импеданса на мрежата, както и веригите на протичане на токовете на двата вида смущения. Нивата им се измерват като падове върху двата резистора Rs – Us1 и Us2 [37].

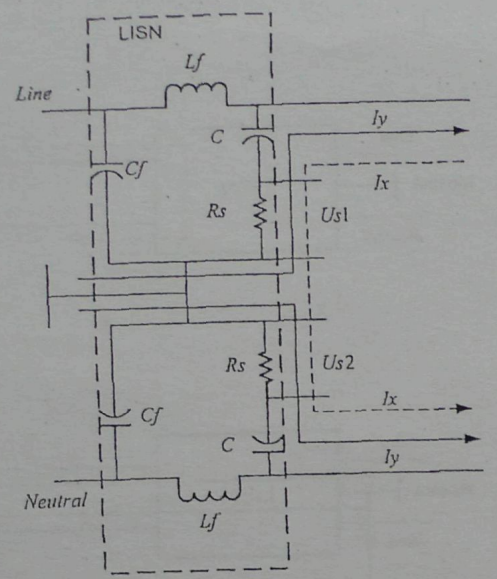


Фиг.5.34

Първият вид смущения са т.н. X-смущения (Normal Mode) или още противофазни смущения- фиг.5.34а). Токовете им протичат през двата мрежови проводника и създават върху резисторите падове с еднакви стойности и противоположни фази по отношение на защитната земя. Това могат да бъдат например високочестотните токове през диодите на еднофазния мостов неуправляем токоизправител и изходния му филтров кондензатор.

Вторият вид смущения са т.н. Y- смущения (Common Mode) или още синфазни смущения – фиг.5.34б). Токовете им протичат през защитната земя и всеки един от мрежовите проводници. Те създават върху резисторите обикновено падове с различни амплитуди и еднакви фази, но могат да бъдат и дефазирани помежду си. Обикновено се дължат на токовете, протичащи през паразитния капацитет на елементи от смущаващото устройство (например намотките на високочестотни трансформатори, извод на силов прибор) по отношение на защитната земя.

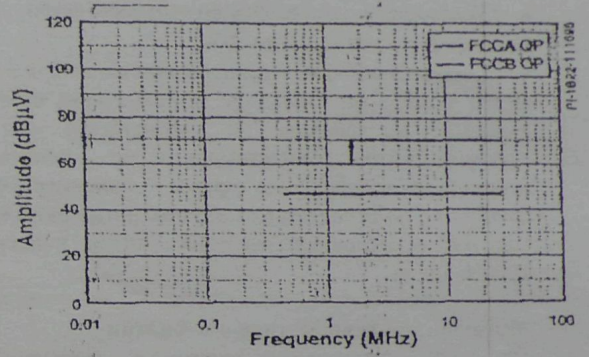
Съществуват международни и национални норми и стандарти, ограничаващи нивата на двата вида смущения и всички устройства, работещи на мрежата, преминават изпитания на т.н. "радиосмущения"



Фиг.5.35

(radio frequency emission). Изпитанията се провеждат в специални помещения, като се регламентира и разположението на уредите върху опитната постановка, и става с помощта на спектрален анализатор. Стандартите дефинират и се провеждат изпитания на следните стойности : максимална (peak), квазимаксимална (quasi-peak) и средна (average). Измерванията на максимална стойност са най-бързият и прост метод, като повечето спектрални анализатори имат възможност да запомнят най-големите измерени стойности за даден интервал от време. Обикновено разрешаващата способност се настройва на 200 Hz в диапазона 10 kHz – 150 kHz и 9 kHz за диапазона 150 kHz-30 MHz. Средната стойност се измерва с вграден нискочестотен филтър с честота на срязване значително по-ниска от изследвания честотен обхват. Квазимаксималната стойност се измерва със специален детектор, който показва субективните нива на възприятие на емисиите. Измерванията на последните две стойности дават по-ниски нива и не винаги се провеждат ако са изпълнени изискванията на стандартите с достатъчен запас по отношение на максималната стойност.

В САЩ Федералната комуникационна комисия (Federal Communications Commission) регулира изискванията за електромагнитна съвместимост. На фиг. 5.36 са показани допустимите нива съгласно [21] за два класа апаратура. За отбелязване е , че се лимитират квазимаксималните стойности.



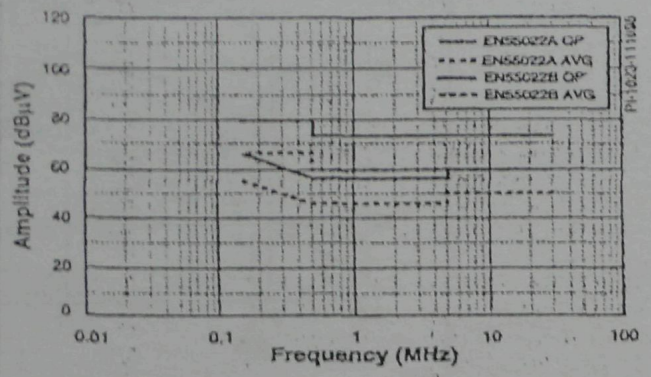
Фиг.5.36

Канадските спецификации са много близки до показаните.

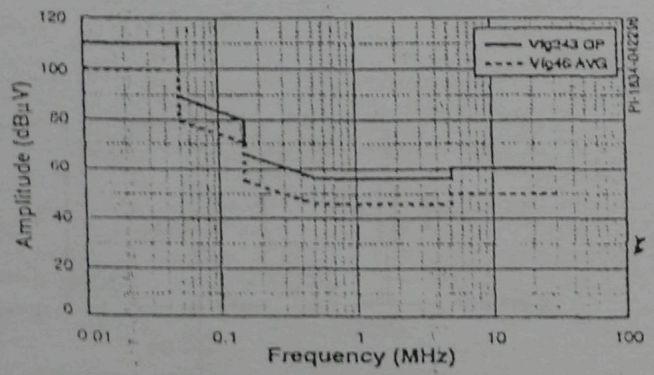
В страните от Европейския съюз продължително време се въвежда специална програма по отношение на електромагнитната съвместимост. EN55022 [20] е документът за информационно технологично оборудване, който ограничава нивата на смущенията – фиг.5.37а). За отбелязване е, че допустимите нива на този стандарт са по-високи в диапазона над 150 kHz, отколкото в [21], и че са специфицирани квазимаксималната и средната стойности.

Много популярен е действащият национален стандарт в Германия VDE 0871 по отношение телекомуникационно оборудване ,който през годините от 1984 търпи известни промени. На фиг.5.37б) като пример са показани изискванията на две редакции – 46/1992 по отношение средната стойност и 243/1991 по отношение квазимаксималната за апаратура клас В [9], [23]. Вижда се, че този стандарт в диапазона 150 kHz – 30 MHz е в хармония с европейския, но налага точни изисквания и при по-ниски честоти.

Мрежовите противосмутителни филтри се поставят на входа на захранването от електроснабдителната мрежа устройство (в частносност системата за непрекъсваемо електрическо захранване) като основното им



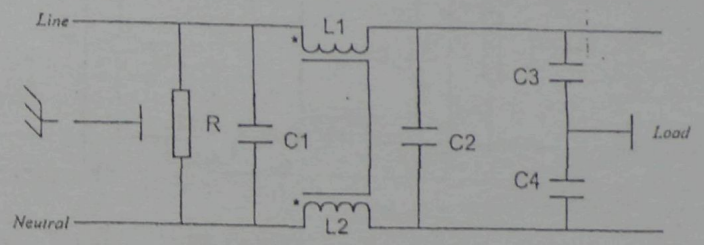
а



б

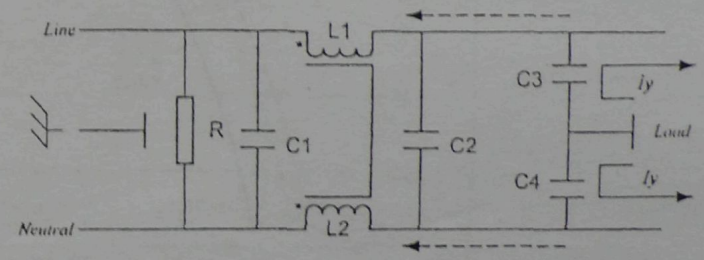
Фиг.5.37

предназначение е да намалят нивата на двата вида смущения под допустимите. Съдържат специални пасивни елементи – навити по подходящ начин индуктивности върху обща сърцевина и т.н. X- и Y-кондензатори. На фиг.5.38 е показана най-разпространената схема на такъв филтър [37]. За по-малки мощности филтърът може да бъде изпълнен с отделни елементи, като съществуват фирми, предлагащи специално навитите върху обща сърцевина индуктивности, както и кондензаторите. Навиването на намотките на индуктивностите L1 и L2 става по такъв начин върху общата сърцевина, че ако токове протичат в двата проводника в една посока, те да влизат и излизат от едноименни изводи – начала или краища.



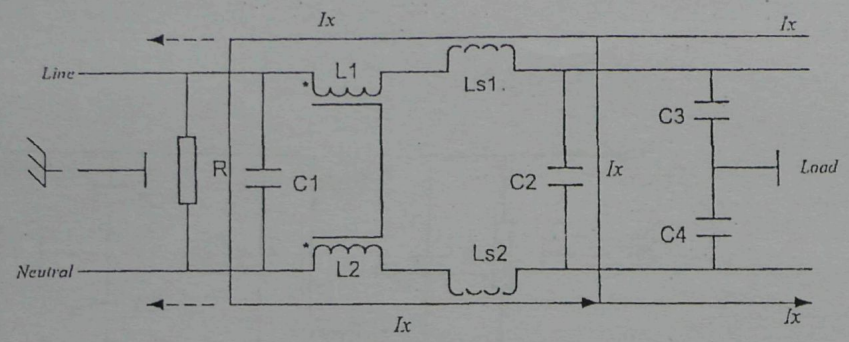
Фиг.5.38

За по-голяма мощност се предлагат готови филтри, каквито например са тези на фирмата Siemens – SifiA, SifiB и SifiD [42]. Действието на филтъра е следното: За Y- смущенията (Common Mode)- фиг.5.39, токовете на които влизат в краищата на двете индуктивности, последните имат голяма стойност и възпрепятстват проникването им към захранващата мрежа. По този начин те се затварят обратно вътре в смущаващото устройство (в общия случай товар) през т.н. Y-кондензатори – C3 и C4. За токовете на X-смущенията (Normal Mode), които влизат и излизат през разноименни изводи на двете индуктивности магнитните потоци взаимно се компенсират и индуктивностите L1 и L2 представляват късо съединение за тях- фиг.5.40.



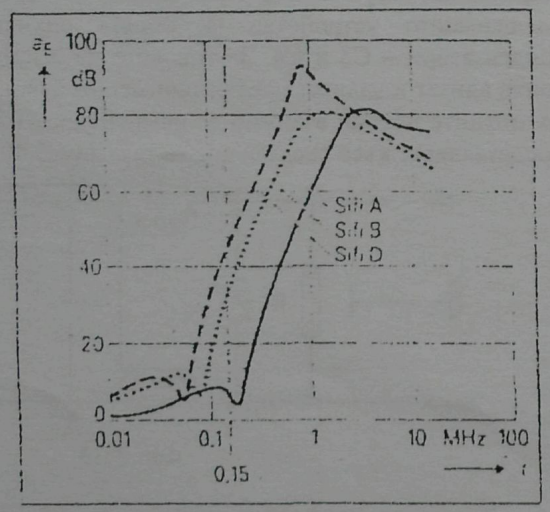
Фиг.5.39

За тези токове остават действащи индуктивностите на разсейване Ls1 и Ls2, които присъстват в неявен вид и заедно с т.н. X-кондензатори C1 и C2 образуват П-образен филтър, възпрепятстващ проникването на токовете Ix към захранващата мрежа. Обикновено фирмите-производители на противосмутителни филтри представят графично зависимостта на коефициента на затихване от честотата за различни номинални токове на филтрите.

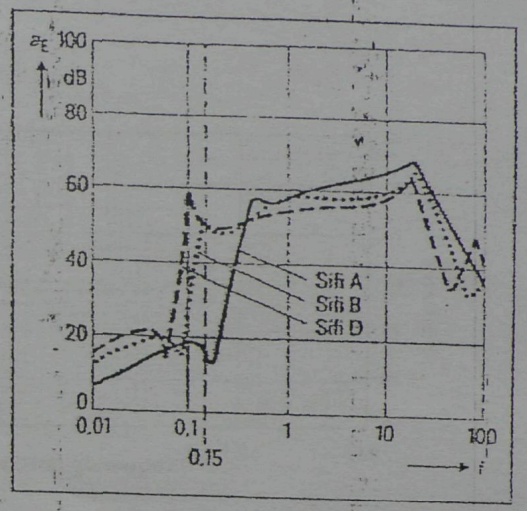


Фиг.5.40

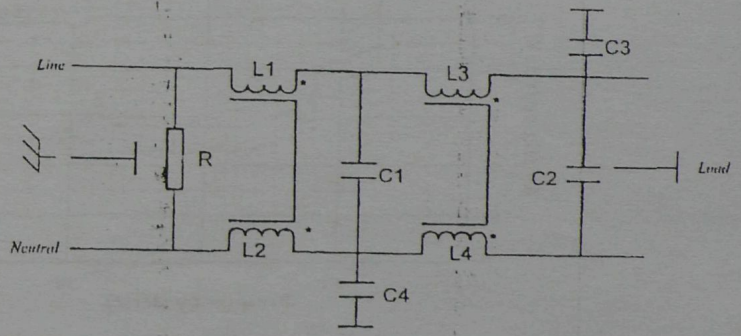
Така например за 6-амперовите филтри на Siemens тези зависимости се представени на фиг.5.41 и фиг.5.42 съответно за X-смущения и Y- смущения [42]. Ако съществува нужда от още по-голямо затихване съществуват и други схеми на противосмутителни филтри, например SifiC – фиг.5.43, за която се предлагат подобни графични зависимости [42].



Фиг. 5.41



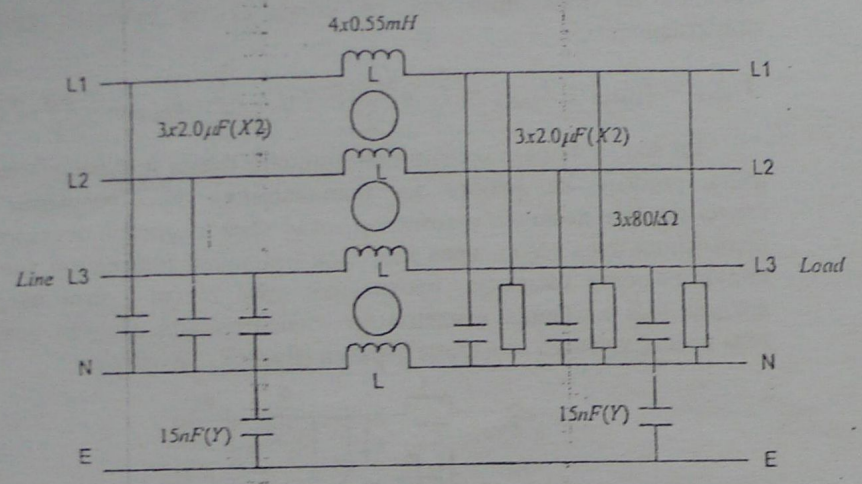
Фиг.5.42



Фиг.5.43

Елементи за противосмутителни филтри и готови филтри предлагат и други фирми, например Coilkraft, Pulse Engineering, Panasonic. По подобен начин могат да се реализират и се предлагат и трифазни противосмутителни филтри – например фиг.5.44 [23].

Индуктивностите са навити върху обща сърцевина, като на схемата е показан вариантът за 25 А ток на фаза. Фирмата предлага опростени варианти за токове 16 и 20 А, като представя и зависимости за коефициентите на затихване от честотата.



Фиг.5.44

Подобен схемен вариант на трифазен противосмутителен филтър е представен и в [40], като са използвани и капацитетите на проходните кондензатори за намаляване на смущенията при много високи чесоти.

5.4. ПРЕОБРАЗУВАТЕЛИ НА ПОСТОЯННО В ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ

Тези силови електронни устройства служат за преобразуване на постоянно напрежение с дадена (най-често променяща се) стойност в постоянно напрежение с друга (най-често стабилизирана) стойност. Те работят на висока честота (над 20 kHz) и използват специални активни и пасивни елементи, чиито параметри са подходящи за тази работна честота.

В зависимост от това дали входното и изходното напрежение имат или нямат общ полюс те биват съответно без и с галванично разделяне.

В зависимост от стойността на изходното спрямо стойността на входното напрежение те биват понижаващи, повишаващи, а съществуват и такива, които могат да работят и като повишаващи и като понижаващи.

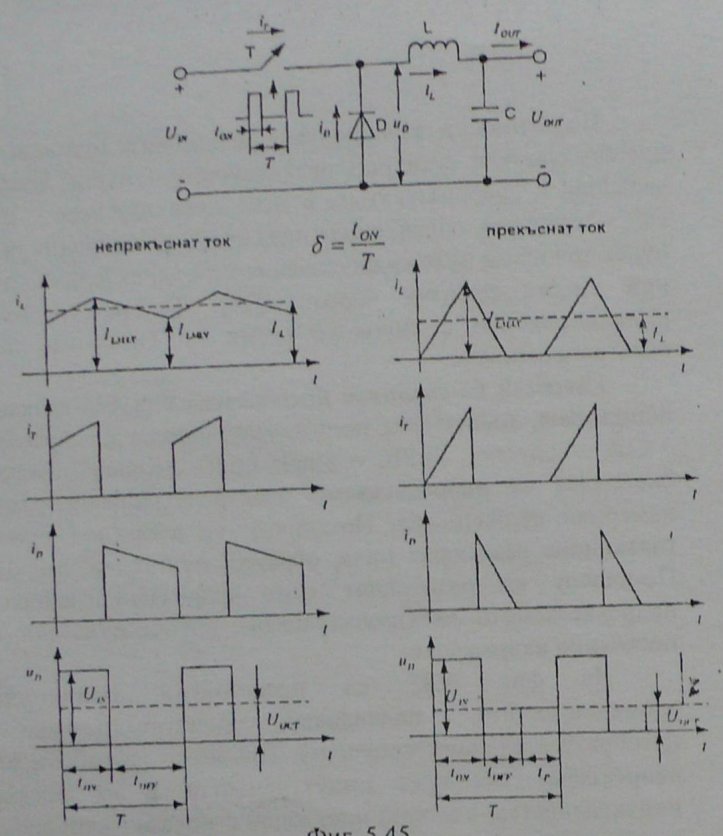
По начина на превключване на силовите прибори те се разделят на преобразуватели с твърдо превключване (твърда комутация) – hard – switching и преобразуватели с меко превключване – мека комутация – soft – switching. Последните използват резонансно превключване при нулев ток или/и нулево напрежение и се характеризират с повишен к.п.д. при висока работна честота [31]. Те не са намерили широко разпространение в силовите схеми на системите за непрекъсваемо електрозахранване.

Известни са следните преобразуватели без галванично разделяне: понижаващ, повишаващ, понижаващ/повишаващ, преобразувател на Чук – Cuk – converter, SEPIC – Single-Ended Primary Inductance Converter. В системите за непрекъсваемо електрозахранване разпространение са намерили първите два. По-широко се използват преобразувателите с галванично разделяне: прав, обратен, пушпулен, полумостов и мостов. По-надолу се разглеждат само най- използваните за целта на непрекъсваемото електрозахранване преобразуватели на постоянно в постоянно напрежение.

На фиг. 5.45 са представени принципната схема и времедиаграмите, поясняващи действието на понижаващия преобразувател (buck converter). Той може да работи в два режима: на непрекъснат ток през индуктивността и на прекъснат ток през индуктивността. Условно чрез ключ е показан напълноуправляем силов прибор, който може за се включва и изключва от управляващ електрод. Това може да бъде мощен биполярен транзистор (BJT), мощен полеви транзистор (MOSFET) или биполярен транзистор с изолиран гейт (IGBT). Отношението на времето на включване към периода на работа определя т.н. коефициент на запълване, който е важен за работата на преобразувателя и е ясно, че винаги е по-малък от 1. При включен транзистор токът през индуктивността нараства и дозарежда кондензатора. Това е т.н. прав ход и т.к. през него постъпва енергия към изходния кондензатор често преобразувателят се нарича прав преобразувател (forward converter).

При изключен транзистор токът през индуктивността намалява, протичайки през диода D. Това е т.н. обратен ход и често диодът се нарича диод за обратен ход. В режим на непрекъснат ток връзката между изходното и входното напрежение е [35]:

$$U_{OUT} = \delta . U_{IN} \qquad \text{за} \qquad 0 \le \delta \le 1$$



Фиг. 5.45

В режим на прекъснат ток през индуктивността тази зависимост е

$$U_{OUT} = \frac{U_{IN}}{1 - \frac{t_P}{T}}$$

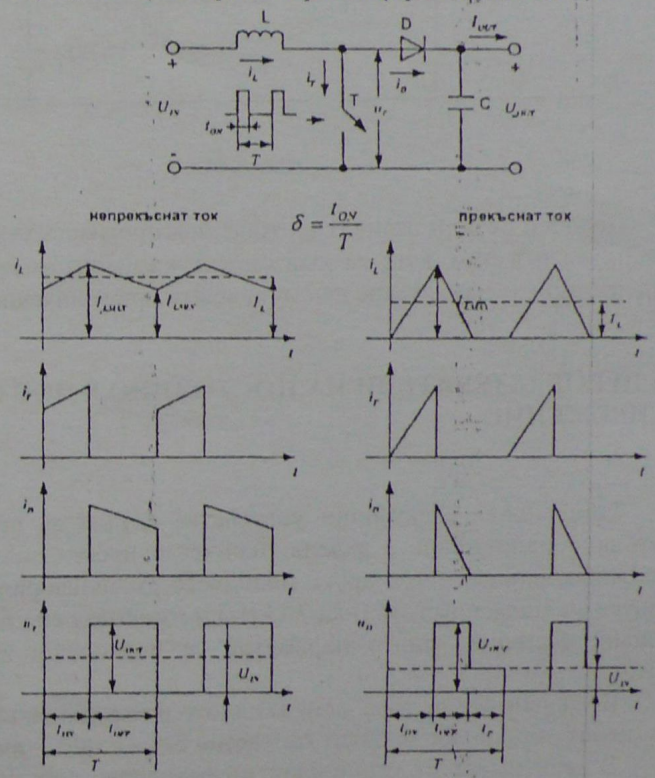
но т.к. времето на паузата не е известно предварително, чрез преобразуване може да се стигне до по-удобна формула, съдържаща известни величини[31]:

$$U_{OUT} = \frac{U_{IN}}{1 + \frac{2.L.I_{OUT}}{\delta^2.T.U_{IN}}}$$

Максималната стойност на напрежението върху транзистора и диода е равна на стойността на входното напрежение, а максималната стойност на тока през тях се определя от тази на тока през индуктивността:

$$I_{TMAX} = I_{DMAX} = I_{LMAX} = I_L + \frac{U_{OUT}}{2.L}.T(1-\delta) = I_{OUT} + \frac{U_{OUT}}{2.L}.T(1-\delta)$$

На фиг. 5.46 са показани принципната схема и времедиаграмите в двата режима на работа на повишаващия преобразувател (boost converter). При включен транзистор токът през индуктивността нараства, протичайки през него – прав ход. При изключен транзистор токът през индуктивността намалява, протичайки през диода , като енергия се предава към изходния кондензатор – обратен ход. Поради това често този преобразувател се нарича обратен (flyback converter).



Фиг. 5.46

В режим на непрекъснат ток през индуктивността връзката между изходното и входното напрежение е [35]:

$$U_{OUT} = \frac{1}{1-\delta}.U_{IN}$$

В режим на прекъснат ток през индуктивността тази зависимост е:

$$U_{OUT} = \frac{1-\frac{t_P}{T}}{1-\frac{t_P}{T}-\delta}.U_{IN}$$

Т.к. времето на паузата предварително не е известно, то може да се изведе следната връзка за режима на прекъсат ток през дросела:

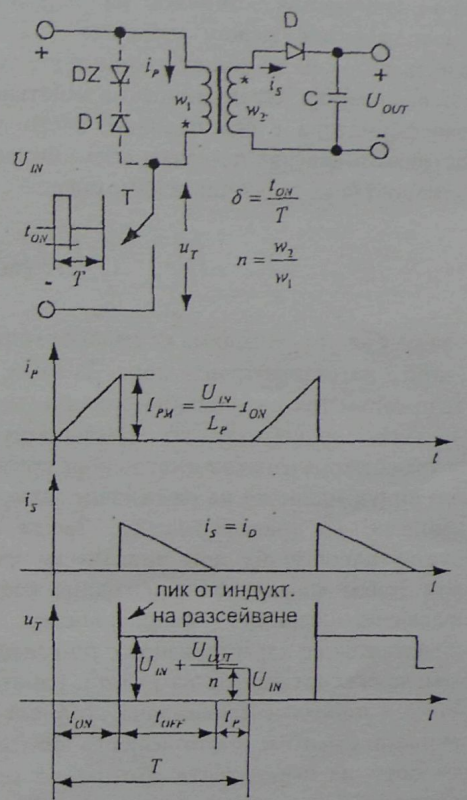
$$U_{OUT} = \left(1+\frac{U_{IN}.T.\delta^2}{2.L.I_{OUT}}\right).U_{IN}$$

Максималната стойност на напреженията върху транзистора и диода е равна на стойността на изходното напрежение, а максималната стойност на тока през тях се определя от тази на тока през индуктивността:

$$I_{TMAX} = I_{DMAX} = I_{LMAX} = I_L + \frac{U_{IN}.t_{ON}}{2L} = I_L + \frac{U_{IN}.\delta.T}{2L}$$

Обратният преобразувател с галванично разделяне – фиг. 5.47 съдържа високочестотен трансформатор с магнитопровод от фероматнитен материал. При включен транзистор Т в индуктивността на първичната намотка се запасява енергия. При изключване на транзистора напрежението върху вторичната намотка сменя знака си, отпушва се диодът D и натрупаната енергия се прехвърля към изходния кондензатор С. Следователно за да се размагнитва трансформатора коефициентът на запълване трябва да е под 0.5, а като се имат предвид и времената на вкючване и изключване на транзистора – под 0.45. Особена е формата на напрежението върху транзистора. При изключен транзистор и отпушен диод D към входното напрежение върху транзистора се прибавя и трансформираното обратно изходно напрежение. След спадане на тока

във вторичната намотка до 0 върху транзистора остава само входното напрежение.



Фиг. 5.47

Вследствие наличието на индуктивност на разсейване между намотките в началния момент действа и пик на напрежение, зависещ от стойността на тази индуктивност (определена от конструкцията на трансформатора). За намаляването му се включват допълнителни елементи – например групата от ценеров диод и диод паралелно на първичната намотка. Връзката между изходното и входното напрежение е:

$$U_{OUT} = n\frac{\delta}{1-\delta}U_{IN}$$

Предимства: По времето, когато се предава енергия в изхода, последователно с диода D се оказва включена индуктивността на вторичната намотка, която действа като източник на ток. Т.е. не е необходима изглаждаща индуктивност във вторичната верига. При това всеки изход съдържа само диод и филтров кондензатор. Това прави преобразувателя подходящ за евтини приложения, изискващи няколко изходни напрежения. Липсата на изходна индуктивност намалява взаимното влияние между изходите – cross regulation (влияние на промяната на товара в един от изходите върху останалите).

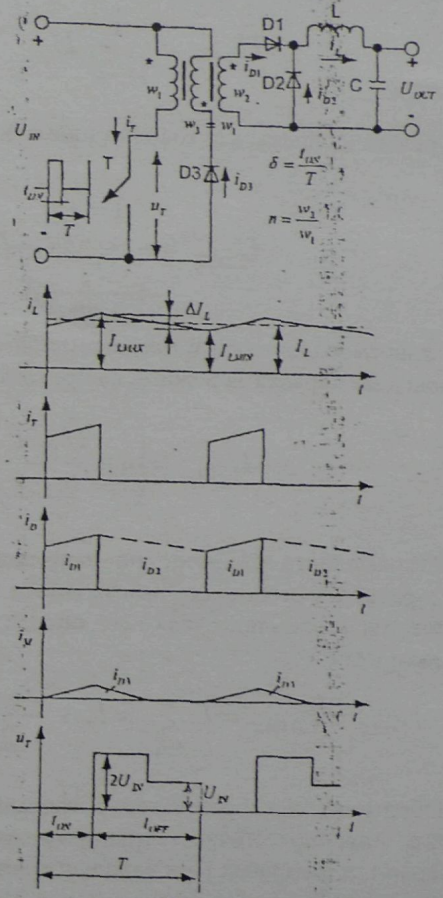
Недостатъци: От принципа на действие е ясно, че наматнитването на трансформатора е еднопосочно, което прави използването му по-неефективно и изисква по-голям обем. Освен това запасената енергия в индуктивността на първичната намотка е :

$$W_P = \frac{1}{2} L_P I_{PM}^2$$

За да бъде тя по-голяма се изисква голяма максимална стойност на тока, който натоварва транзистора. За да не се насити трансформаторът при този голям ток в сърцевината се въвежда въздушна междина, която пък намалява индуктивността. Намаляването на пика на напрежение върху транзистора изисква много добра връзка между намотките, за да се намали индуктивността на разсейване, като са познати различни методи на навиване на трансформатора. За да се намалят пулсациите на изходното напрежение при липсата на изглаждаща индуктивност се изисква голям капацитет на изходния кондензатор при малко негово еквивалентно серийно съпротивление. По принцип обратният преобразувател се характеризира с по-големи пулсации. На фиг. 5.47 бе показан прекъснат режим на работа. Работата в непрекъснат режим се отличава с по-малка максимална стойност на тока през транзистора и първичната намотка, косто изисква по-голяма индуктивност, т.е. по-голям обем на сърцевината. По-трудно се осигурява устойчивостта в непрекъснат режим на затворена система за регулиране на изходното напрежение, т.к. в този режим преобразувателят съдържа характеристична нула в дясната полуравнина. Максималната стойност на напрежението върху транзистора при обратния преобразувател, ако се пренебрегне пика от индуктивността на разсейване, е равна на удвоеното входно напрежение. Големият обем на трансформатора с особеностите в конструкцията му, големият изходен кондензатор и големите стойности

на токовете в прекъснат режим определят приложението на обратния преобразувател за ниски изходни напрежения, няколко изхода и невисока мощност (5 до 300 W).

На фиг.5.48 е показана принципната схема и времедиаграмите на правия преобразувател с галванично разделяне.



Фиг. 5.48

Във вторичната страна той съдържа филтрова индуктивност L и допълнителен диод D2. Трансформаторът има една допълнителна (размагнитваща) намотка, чиито навивки са равни на тези на първичната

намотка, последователно с която е свързан диодът D3. Характерно е свързването на началата на трите намотки. При това с включване на транзистора се отпушва и диодът D1 като енергия се предава към изхода и токът през индуктивността L нараства – прав ход. В сърцевината на трансформатора се съхранява много малко енергия, а не както при обратния преобразувател. Това е енергията за намагнитване, свързана с малкия намагнитващ ток, показан на четвъртата времедиаграма. При изключване на транзистора напреженията на трите намотки сменят знака си, диодът D1 се запушва, а D2 се отпушва и през него протича намаляващият ток на индуктивността- обратен ход. На фиг.5.48 е показан режим на непрекъснат ток (по отношение на индуктивността L), който е най-често използван поради голямата й стойност. Едновременно с това се отпушва и диодът D3, като през него и размагнитващата намотка запасената намагнитваща енергия в сърцевината на трансформатора се връща в захранващия източник, а трансформаторът се размагнитва. Режимът на работа с непрекъснат ток се характеризира с невисоки максимални стойности на токовете през прборите и малки пулсации на изходното напрежение.

Връзката между входното и изходното напрежение е:

$$U_{OUT} = n.\delta.U_{IN}$$

Предимства: Пулсациите на изходното напрежение са малки поради наличието на изглаждащата индуктивност и работата в режим на непрекъснат ток. При правия преобразувател няма дестабилизираща нула в дясната полуравнина, което прави управлението му по-стабилно. Тъй като в сърцевината на трансформатора се съхранява малка енергия, то загубите в нея са намалени , намален е й обемът и габаритите. Малкият намагнитващ ток предполага голяма индуктивност на първичната намотка, така че не е необходимо въвеждането на въздушна междина в сърцевината. Стандартните феромагнитни сърцевини без въздушна междина са подходящи за целта, т.к. имат висока магнитна проницаемост – 2000 до 3000. Въпреки това трябва да се отбележи, че и при този преобразувател използването на трансформатора е неефективно, т.к. се намагнитва еднопосочно при отпушване на транзистора. Ясно е ,че за да се размагнити и тук максималният коефициент на запълване като се вземат предвид и времената на превключване не трябва да надвишава 0.45. Малките пулсации на тока през индуктивността L изискват много по-малък изходен кондензатор в

сравнение с обратния преобразувател. И тук максималното напрежение върху транзистора е равно на удвоеното входно. Пик в началото след изключване може да се получи само при недобра връзка между първичната и размагнитващата намотки, което се избягва конструктивно чрез навиването им бифилярно.

Недостатъци: Правият преобразувател изисква повече елементи за реализацията си, което го оскъпява. Трансформаторът изисква допълнителна намотка. При няколко изходни напрежения е увеличено влиянието между изходите – cross regulation в сравнение с обратния преобразувател. Това може да се намали чрез навиването на изглаждащите дросели за всички изходи върху обща сърцевина.

По-малкият обем на трансформатора, невисоките максимални стойности на токовете през елементите, малкият изходен кондензатор, влиянието между няколко изхода правят правия преобразувател подходящ за използване при необходимост най-често от едно изходно напрежение и по-голяма мощност в сравнение с обратния – от 100 до 500 W.

Известни са и двутранзисторни варианти на правия и обратния преобразуватели, при които чрез включване на два транзистора последователно с първичната намотка върху всеки от тях при изключване се прилага максимално напрежение равно на захранващото (а не на удвоената му стойност, както при еднотранзисторните варианти). Недостатъкът им е необходимостта от едно галванично разделено управляващо стъпало за единия от транзисторите [39].

За да се използва по-добре трансформаторът е необходимо сърцевината на работи в симетричен режим, т.е. да се намагнитва разнопосочно. Това би намалило обема на трансформатора ,а при дадена сърцевина би увеличило мощността на преобразувателя в сравнение с разгледаните прав и обратен преобразуватели. Двупосочното намагнитване изисква броят на силовите транзистори в схемата на преобразувателя да е четен. Едно от възможните решения на такъв преобразувател е пушпулният – фиг. 5.49. Първичната и вторичната намотки са със средни изводи, като транзисторите се включват последователно във времето. При това токовете в първичните полунамотки са с противоположна посока и трансформаторът се намагнитва двупосочно. Това премахва необходимостта от размагнитваща намотка. Енергия се прехвърля към изхода при включване на всеки транзистор и едновременно отпушване на съответния диод във вторичната страна – прав ход. При изключени

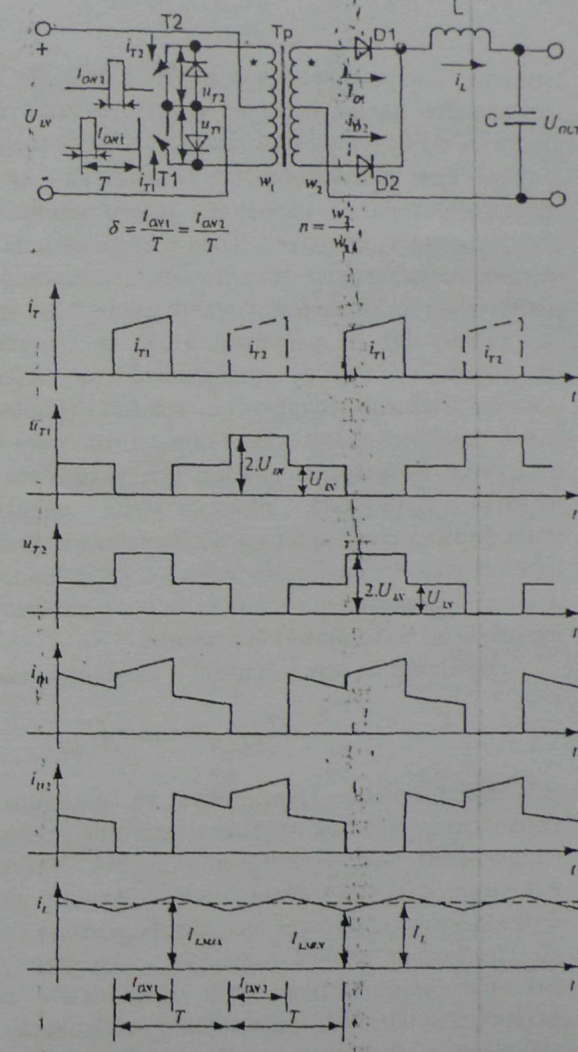
транзистори токът през индуктивността L намалява през отпушените диоди D1 и D2- обратен ход. Всеки от транзисторите може да работи при максимален коефициент на запълване 0.45.

Връзката между входното и изходното напрежение е:

$$U_{OUT} = 2.n.\delta.U_{IN}$$

Предимства: Мощност към изхода се прехвърля до 90% от периода на работа, разгледан като превключване и на двата транзистора, което позволява трансформаторът да се използва по-пълно, да се намалят обемът и размерите му. Непрекъснатият ток в изхода води до малки пулсации и необходимост от по-малък изходен кондензатор. Както при правия преобразувател в този режим стабилността на затворената система за регулиране на изходното напрежение се осигурява по-лесно. Двата транзистора имат общ електрод (емитер или сорс) спрямо които се осигурява управлението им без изискване за галванично разделяне един от друг (както например при следващите полумостов и мостов преобразуватели).

Недостатъци: Изисква се включване на обратни диоди антипаралелно на всеки от транзисторите. Това позволява енергията, запасена в индуктивностите на разсейване, да се върне през тях обратно към захранващия източник в началния момент на изключване на транзистор. Тази енергия е причина за поява на пик на напрежение върху транзистора в началния момент на изключване. Изисква се много добро конструктивно изпълнение на трансформатора, за да се спази симетрията и се осигури много добра връзка между двете полунамотки на първичната и вторичната страни. Обикновено навиването е бифилярно. Максималната стойност на напрежението върху транзисторите е равно на удвоената стойност на входното напрежение, т.к при включване на един от тях върху другия се прилага сумата от входното напрежение и напрежението върху съответната му полунамотка от първичната страна. Това прави преобразувателя по-подходящ за работа при ниски входни напрежения. Характерна особеност на този преобразувател е неприятната възможност за липса на симетрия в двете посоки на намагнитване. Това може да се дължи на несиметрия в трансформатора, на разлика във времената на превключване на транзисторите или несиметрия на управлението им. При това може да се стигне до насищане в едната посока особено при високи входни напрежения.



Фиг. 5.49

За избягване на този ефект се вземат специални мерки, в някои случаи схемотехнически. Особено подходящо за този случай е т.н. токово управление, при което във всеки цикъл на включване на транзистора се следи максималната стойност на тока през него и при

достигането й той се изключва. Следователно през двата транзистора токът ще достига една и съща стойност и описаният по-горе нежелан ефект ще бъде отстранен от системата за регулиране.

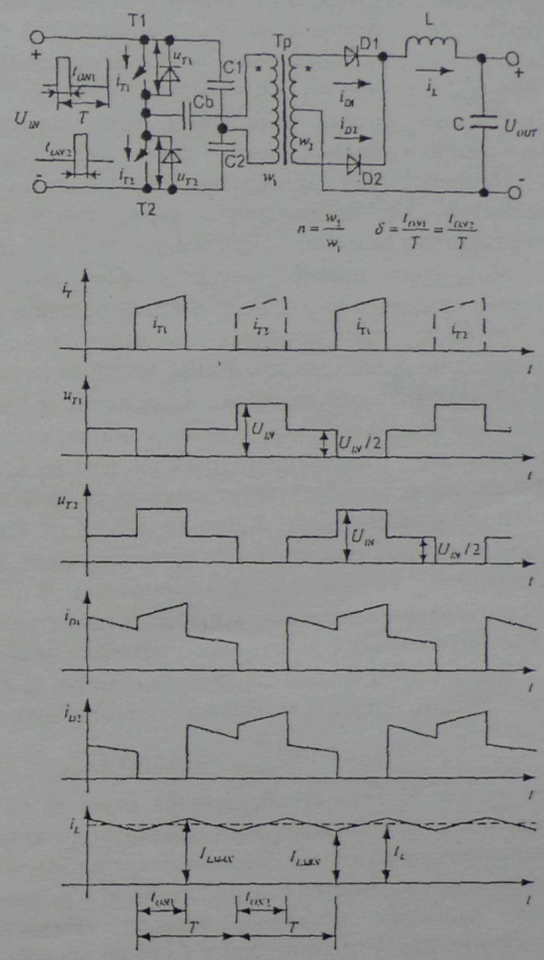
Пушпулният преобразувател е подходящ за работа при по-ниски входни захранващи напрежения – 12, 24 или 48 V и мощности от 200 до 800 W.

Доста популярен за използване при по-високи мощности е полумостовият преобразувател – фиг. 5.50. Двата последователно свързани кондензатора C1 и C2 образуват средна точка на захранващия източник, като всеки от тях е зареден до половината от входното напрежение. Транзисторите се включват последователно, прилагайки към първичната намотка на трансформатора напрежението върху някой от тези кондензатори всеки път в противоположна посока на предния. По този начин намагнитването на трансформатора е двупосочно и използването му е по-добро. По това схемата прилича на пушпулния преобразувател, но там към първичната полунамотка се прилага цялото захранващо напрежение. От времедиаграмите се вижда, че те са същите както при пушпулния преобразувател, но напреженията върху транзисторите са два пъти по-малки. Максималното напрежение е равно на входното, като то се прилага върху изключения транзистор при включване на другия. Максималният коефициент на запълване за всеки от транзисторите е 0,45, имайки предвид времената на превключване на транзисторите и т.н. мъртво време, което трябва да бъде осигурено между момента на изключване на единия и момента на включване на другия. То е нужно, за да се избегне едновременното провеждане на двата транзистора, което би дало захранващия източник накъсо.

Връзката между изходното и входното напрежение е:

$$U_{OUT} = n.\delta.U_{IN}$$

Предимства: Те са свързани с доброто използване на трансформатора, който се намагнитва двупосочно и не е необходима размагнитваща намотка. Освен това в сравнение с пушпулния първичната намотка няма средна точка. Работата в режим на непрекъснат ток на изходната индуктивност L води до намалени пулсации на изходното напрежение и необходимост от по-малък изходен кондензатор C. Друго предимство в сравнение с пушпулния преобразувател е по-лесното отстраняване на опасността от асиметрия в намагнитването на трансформатора в двете посоки. Това става чрез



Фиг. 5.50

включване на блокиращия кондензатор Cb (обикновено под 10 μF), който не позволява наличие на постоянна съставна на тока през първичната намотка. Сериозно предимство са намалените два пъти напрежения върху приборите.

Недостатъци: Необходимостта от кондензаторите C1 и C2, които са с голям капацитет, увеличава габаритите на преобразувателя. Необходими са обратни диоди за всеки транзистор, през които се връща запасената енергия в индуктивността на разсейване обратно в захранващия източник. Тя е причина за поява на пик на напрежение в началото след изключване на транзистора . Горният по схемата транзистор изисква галванично разделено управляващо стъпало от това на долния, т.к. долните им електроди (емитери, сорсове) нямат обща точка, както е при пушпулния преобразувател. Допълнителните кондензатори и диоди повишават цената на преобразувателя.

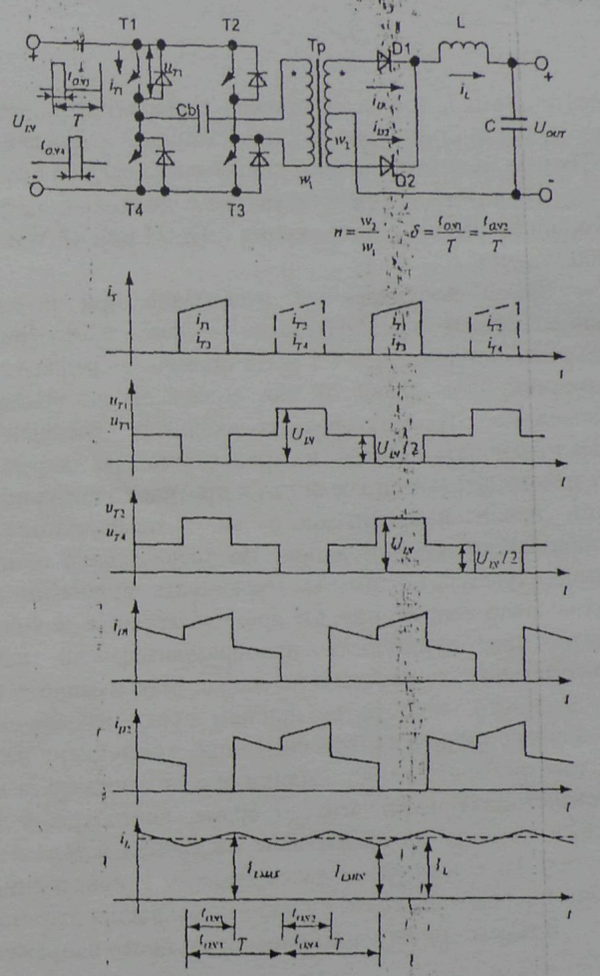
Полумостовият преобразувател е подходящ за високи входни напрежения, т.к. напрежението върху транзисторите не превишава захранващото и се използва при мощности от 500 до 1500 W.

Мостовият преобразувател – фиг. 5.51 съдържа най-много елементи от всички разгледани, което определя и най-високата му цена. Транзисторите се включват последователно по двойки, като едновременно провеждат два по два диагонално включените – T1 с T3 и T2 с T4. При това цялото входно напрежение се прилага към първичната намотка на трансформатора, а не половината, както е при полумостовия преобразувател. Следователно при едни и същи транзистори, избрани по ток, с мостовия преобразувател може да се получи ориентировъчно два пъти по-голяма мощност. Както се вижда от времедиаграмите, те са същите както при полумостовия преобразувател. Идентична е и ролята на блокиращия кондензатор Cb – премахване на постоянната съставна на тока в първичната намотка, а с това и предотвратяване на евентуална несимстрия в намагнитването на сърцевината на трансформатора.

Поради това, че към първичната намотка се прилага цялото входно напрежение, то връзката между него и изходното е :

$$U_{OUT} = 2.n.\delta.U_{IN}$$

Предимства: С този преобразувател може да се постигне най-голяма изходна мощност. Липсват двата кондензатора за създаване средна точка на захранващия източник. По отношение на вторичната страна режимът е както при полумостовия и пушпулния – режим на непрекъснат ток, малки пулсации и малък изходен кондензатор. Максималното напрежение върху транзисторите (ако се пренебрегне началния пик от индуктивността на разсейване) е равно на входното напрежение. Ограничаваща за постигане на голяма мощност е стойността на тока през транзисторите.



Фиг. 5.51

Недостатъци: Най-много елементи в силовата схема, което прави преобразувателя най-сложен за реализация и повишава цената му. Горните по схемата транзистори изискват галванично разделени управляващи стъпала.

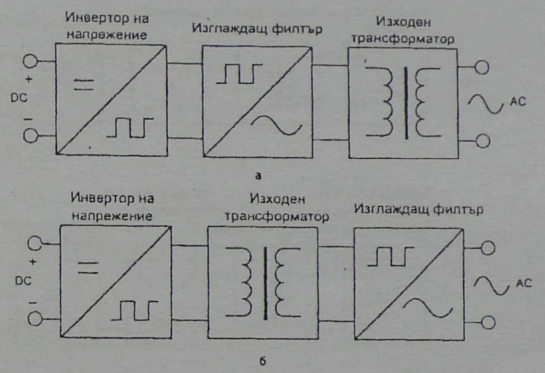
Мостовият преобразувател се използва при високи входни напрежения и мощности от 1000 до 5000 W.

5.5. ПРЕОБРАЗУВАТЕЛИ НА ПОСТОЯННО В ПРОМЕНЛИВО НАПРЕЖЕНИЕ

Предназначението на тези силови електронни устройства е да преобразуват постоянното напрежение от токоизправител или от акумулаторна батерия в променливо за захранване на консуматора. Реализират се най-често на базата на инвертори на напрежение, при които изходното напрежение има правоъгълна или варианти на правоъгълната форма. На входа на инвертора има включен кондензатор с голяма стойност, който поставя захранващия източник в режим на генератор на напрежение и поема върнатата обратно чрез инвертора енергия в случай на реактивен характер на товара. За да се получи синусоидално напрежение за консуматора от изходното напрежение на инвертора, се налага включване на изглаждащ филтър, който пропуска към изхода хармоничната с основна честота (50 или 60 Hz) и не пропуска висшите хармонични. Трябва да се отбележи, че при някои системи за непрекъсваемо електрозахранване такъв филтър може и да липсва, като товарът се захранва с правоъгълно напрежение. Това се прави при мощности под 500 VA обикновено за захранване на еденични компютри или при консуматори , които не са чувствителни спрямо коефициента на несинусоидалност на захранващото напрежение. Има изследвания обаче, които показват, че захранващото напрежение за компютрите не бива да е с различна от синусоидалната форма поради опасност от високочестотни смущения и въпреки това на пазара някои фирми предлагат и такива варианти. Висококачествените системи за непрекъсваемо електрозахранване осигуряват в изхода си напрежение с коефициент на несинусоидалност под 5 % [6]. Потребителят трябва да има предвид характера на своя консуматор и неговите изисквания, т.к. коефициентът на несинусоидалност се гарантира от фирмите в два случая: при линеен товар (обикновено под 2 %) и при нелинеен товар (обикновено под 5 %, в някои случаи и под 3%).

За да се осигури променливо напрежение с необходимата стойност в схемата на DC/AC преобразувателя се предвижда повишаващ трансформатор, чието преводно отношение зависи от стойността на напрежението на акумулаторната батерия (обикновено 12, 24, 96 V). Има варианти на системи, които използват по-високо напрежение на акумулаторната батерия и при тях липсва изходен трансформатор. Трябва да се има предвид, че съгласно изискванията за техническа

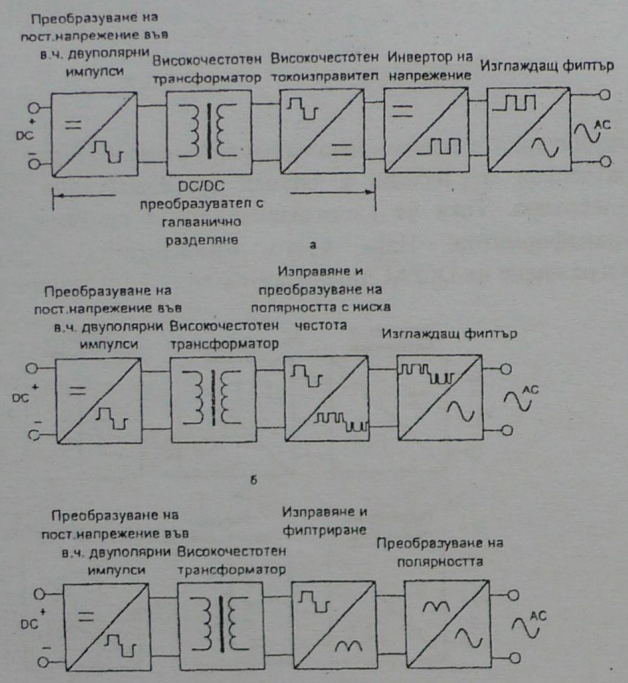
безопасност е необходимо акумулаторната батерия да бъде галванично разделена от изхода в случай на евентуална сериозна повреда в инвертора. Така че висококачествените системи предвиждат изходен трансформатор. Най- често използваните структурни схеми за изграждане на DC/AC преобразувателя са показани на фиг. 5.52.



Фиг.5.52

И при двата варианта трансформаторът е нискочестотен (50 или 60 Hz). При този на фиг. 5.52а) той работи в облекчен режим със синусоидално входно напрежение , а филтърът е на ниско напрежение и голям ток. При варианта на фиг. 5.52б) трансформаторът се натоварва и с висшите хармонични от изходното напрежение на инвертора, а филтърът е на по-високо напрежение и по-малка стойност на тока. Недостатък на тези варианти е големият обем и тегло на трансформатора, който е със стоманен манитопровод, поради това, че работи на ниска честота.

Този недостатък се избягва чрез използване на високочестотно прехвърляне на енергията и трансформатор с магнитопровод от феромагнитен материал. Вариантите са показани на фиг. 5.53. Те се характеризират с по-малък обем и тегло в сравнение с първите. Трябва да се има предвид, че поради все още по-малките мощности, които са достигнати при феромагнитните материали, тези варианти се използват при системи ориентировъчно под 10 kVA. Има случаи на прилагането им и за по-голяма мощност, но чрез паралелно работещи DC/AC модули. Вариантът от фиг. 5.53а) представлява съчетание на DC/DC преобразувател с галванично разделяне, инвертор на напрежение и



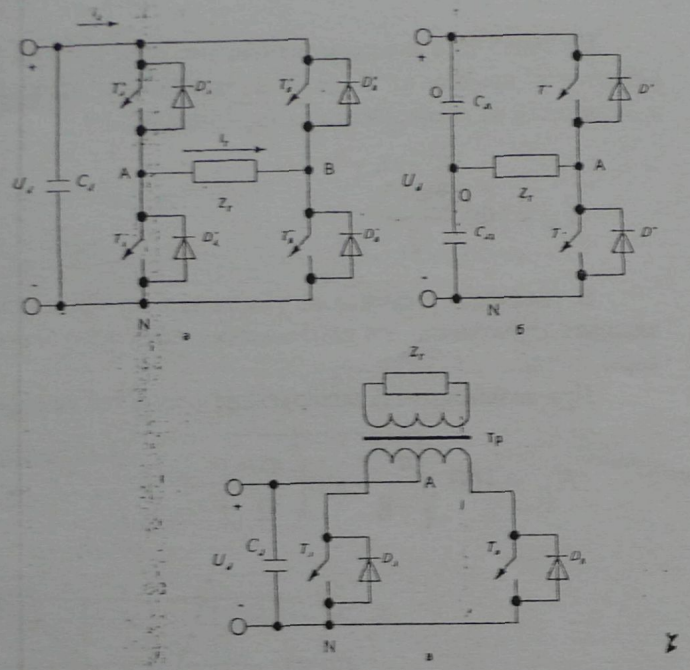
Фиг. 5.53

изглаждащ филтър. Предимствата му са в намалените тегло и размери, а недостатъкът му – в по-ниския к.п.д. При фиг.5.53б) се използва преобразувател, който сменя полярността на импулсите от вторичната страна на в.ч. трансформатор периодично с ниската честота на изходното напрежение, след което те се филтрират.

При последния вариант първоначално във вторичната страна става изправянето и филтрирането по подходящ начин така, че след преобразуването на полярността в изхода да се получи желаното напрежение. При това решение филтърът е с най-малки размери и тегло, а с това и преобразувателят като цяло. Както бе споменато, за изграждане на по-големи мощности се използва паралелна работа на няколко от разгледаните варианти или пък паралелна работа само на модули, съдържащи първите три блока от фиг.5.53а) или първите два блока от фиг. 5.53б) и фиг. 5.53в).

При всички варианти в схемите участва и блокът на системата за управление и регулиране, която изработва импулсите за управление на силовите прибори и осъществява стабилизация на изходното променливо напрежение. При малка мощност (под 300 VA) някои фирми предлагат системи без стабилизация на изходното напрежение, при които се използват нерегулируеми инвертори на напрежение. Почти винаги обаче се използват регулируеми инвертори със стабилизация стойността на изходното напрежение. Смущаващи въздействия са промяна стойността на захранващото постоянно напрежение на акумулаторната батерия или промяна на товара на изхода на инвертора. Висококачествените системи гарантират 1 % статична грешка, а при промяна на товара 100% динамична грешка обикновено под 3% и време на реакция под 10 mS.

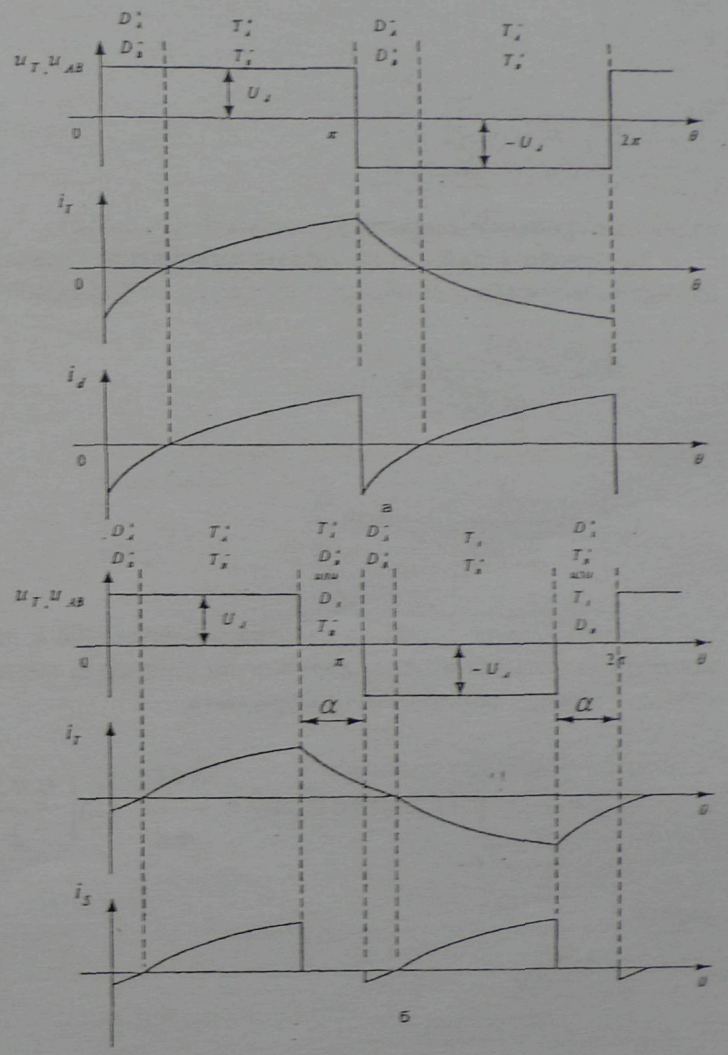
На фиг.5.54 са дадени схемите на най-често използваните еднофазни инвертори на напрежение – мостова –а), полумостова –б) и пушпулна или схема със средна точка на трансформатора – в). За да бъде разглеждането по-общо, чрез ключове са означени силовите прибори, като стрелката показва посоката на тока през тях. В съвременните системи те са напълно управляеми (с възможност за включване и изключване от управляващ електрод чрез импулсите от системата за управление) и могат да бъдат мощни биполярни транзистори (BJT), мощни полеви транзистори (MOSFET), а напоследък предимно биполярни транзистори с изолиран гейт (IGBT). Обратните диоди на всеки прибор обикновено са част от структурата му и служат за връщане на част от реактивната енергия на товара обратно в захранващия източник в интервалите, когато посоките на напрежението и тока през товара са различни. Те участват и във веригата на товарния ток по време на паузите в изходното напрежение в случай на регулируем инвертор. Означеният с Zt товар е активно-индуктивен и представлява или повишаващия трансформатор или входа на изглаждащия филтър. Схемата от фиг. 5.54а) използва 4 силови прибора, всеки от които трябва да бъде с максимално напрежение по-голямо от захранващото Ud, като тя може да работи и като регулируем инвертор. Схемата от фиг.5.54б) използва само 2 прибора, също с напрежение по-голямо от захранващото, но изисква средна точка на захранващия източник. За да работи в режим на регулируем инвертор, се въвеждат допълнителни силови прибори, които дават накъсо товара по време на паузите на изходното напрежение. Въвеждане на такива прибори в режим на регулируем инвертор изисква и схемата от фиг.5.54в). Тя използва само два прибора, но те трябва да имат максимално напрежение по-голямо от удвоената стойност на



Фиг.5.54

захранващото.. Тази схема е често използвана при нерегулируеми инвертори с малка мощност, захранвани от ниско напрежение на акумулаторната батерия – обикновено 12 V.

На фиг.5.55 са представени времедиаграмите, пояснява щи действието на мостовата схема в случай на нерегулируем – а) и регулируем инвертор – б) с една пауза за полупериод. Най – отгоре са означени приборите, които провеждат във всеки интервал, чрез което може да се проследи подробно действието на схемата. Показан е и токът от захранващия източник и се вижда, че в интервалите на проводимост на обратните диоди, той сменя посоката си, като запасената в индуктивността на товара енергия се поема от входния кондензатор. При наблюдение на времедиаграмите на регулируемия инвертор се забелязва,



Фиг.5.55

че обратни диоди участват във веригата на товарния ток и по време на паузите на изходното напрежение. Ясно е, че промяна в стойността на

това напрежение при промяна на товара или на напрежението на захранващия източник става чрез промяна продължителността на паузата α.

Ефективната стойност на изходното напрежение в случаите на нерегулируем и регулируем инвертор се определя съответно по формулите:

$$U_T = U_d$$

$$U_T = U_d \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

където α е продължителността на паузата от фиг.5.55б).

Ефективната стойност на първата хармонична с основна честота на изходното напрежение се определя съответно по формулите:

$$U_T^1 = \frac{4}{\pi.\sqrt{2}}.U_d$$

$$U_T^1 = \frac{4}{\pi.\sqrt{2}}.U_d.\cos\frac{\alpha}{2}$$

Правоъгълната форма на изходното напрежение с един импулс в полупериод съдържа нечетни хармонични с номер n, чиято максимална стойност може да се определи по формулата:

$$U_m^n = \frac{2}{\pi}.\int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} U_d.\sin(n\theta).d\theta = \frac{4.U_d}{n.\pi}.\sin\left(\frac{n.\pi.\gamma}{2}\right)$$

където

$$\gamma = \frac{2.t_И}{T}$$

Т е периодът на изходното напрежение, а tи – продължителността на импулса в един полупериод, като

$$\omega.t_И = \pi - \alpha$$

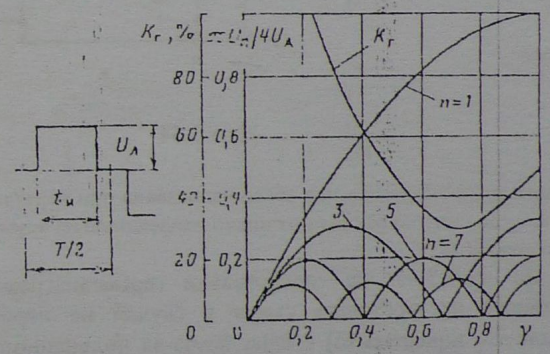
На фиг.5.56 е показано изменението на първата хармонична и на висшите с номера от 3 до 7 в зависимост от γ. Представено е и изменението на коефициента на хармонични:

$$K_H = 100.\frac{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}{U_1}$$

В числителя е сумата от квадратите на ефективните стойности на висшите хармонични, а в знаменателя – ефективната стойност на първата хармонична.

При анализираната правоъгълна форма той се определя от израза

$$K_H = 100.\sqrt{\frac{\pi^2.\gamma}{8}\sin\left(\frac{\pi.\gamma}{2}\right) - 1}$$

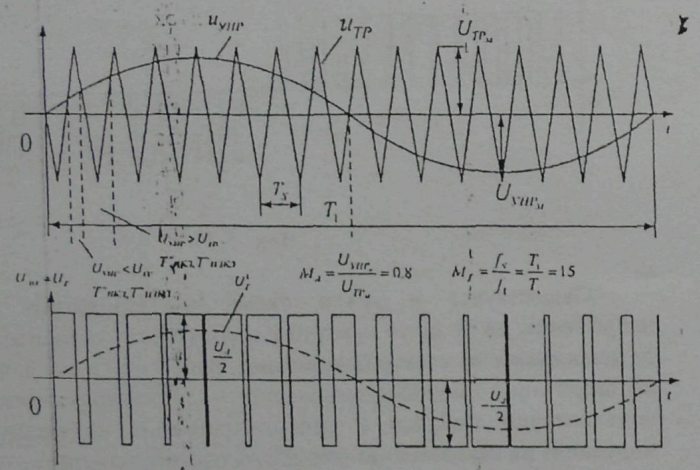


Фиг. 5.56

От нея се получава, че при нерегулируем инвертор (γ=1) Кн = 48.4%.

Минималната стойност на този коефициент е 29% при γ=0.74 (пауза α= 46.44°). Основният недостатък на разгледаната форма на изходното напрежение е наличието на хармонични с ниска честота, които биха изисквали филтри с по-голям обем и тегло, а също и промяната на коефициента на хармонични при регулиране на изходното напрежение.

За елиминиране на хармоничните с малък номер и подобряване на хармоничния състав се използва методът на синусоидалната широчинно-импулсна модулация, пояснен на фиг. 5.57 за полумостовата схема от фиг.5.54б) [31]. В случая модулацията е двуполярна, т.к. в рамките на един полупериод изходното напрежение сменя своята полярност. Включването и изключването на силовите прибори става чрез сравнение на едно управляващо синусоидално напрежение с честотата на първата хармонична на изходното и едно трионообразно напрежение така, както е показано на фигурата. При включен прибор напрежението върху товара е равно на половината от захранващото. Регулирането на стойността на първата хармонична на изходното напрежение става чрез промяна съотношението на амплитудите Ma. Важен параметър, определящ хармоничния състав е отношението на честотите Mf, което при двуполярната модулация трябва да е нечетно число.



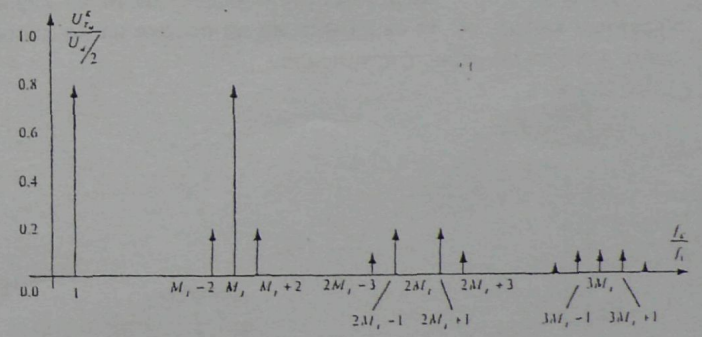
Фиг.5.57

Максималната стойност на първата хармонична на изходното напрежение зависи от стойността на захранващото и от съотношението на амплитудите:

$$U^1_{T_M} = M_A \cdot \frac{U_d}{2}$$

Разпределението на хармоничните зависи от коефициента Mf и е представено на фиг.5.58 за съотношение на амплитудите 0.8 [31].

Вижда се, че при повишаване честотата на превключване на силовите прибори (увеличаване на Mf) хармоничните се изместват по посока на по-високите честоти, т.е. филтрирането им би станало по-лесно. При регулиране на изходното напрежение (промяна на Ma) стойностите на хармоничните се променят, така че представените съотношения на фиг. 5.47 са само за отношение на амплитудите 0.8, както е показано на фигурата. При това най-влиятелна остава хармоничната, чиято честота е Mf пъти по-висока от тази на основната, като при малки стойности на Ma тя може да се окаже и по-голяма по стойност от основната хармонична.



Фиг.5.58

Двуполярна синусоидална широчинно-импулсна модулация може да се реализира и в мостовата схема от фиг.5.54а. Алгоритъмът на работа е следният: Когато управляващото напрежение е по-голямо от трионообразното се включват $T_A^+; T_B^-$, а в противен случай - $T_B^+; T_A^-$

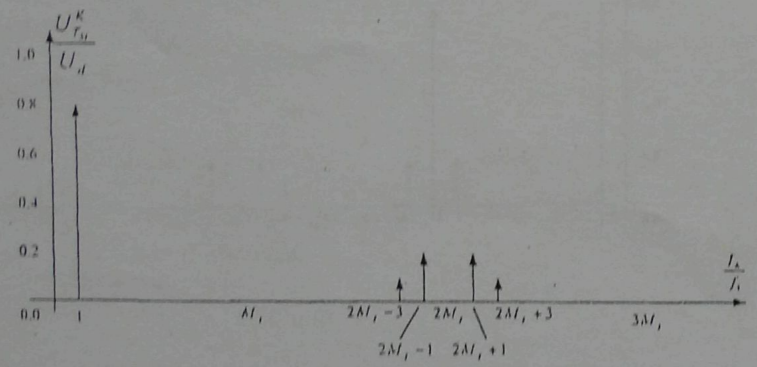
При включена двойка силови прибори върху товара се прилага цялото захранващо напрежение. Максималната стойност на първата хармонична с основна честота в изхода се определя от зависимостта:

$$U^1_{T_M} = M_A.U_d$$

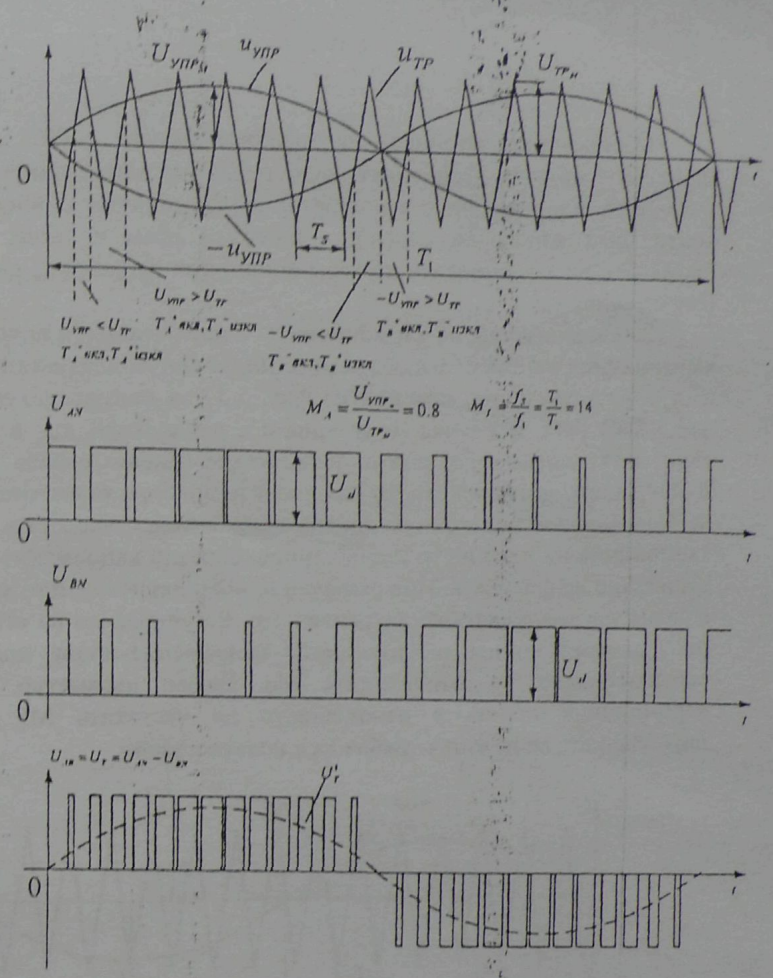
Разпределението на хармоничните е същото, както бе показано на фиг. 5.58, разбира се в относителни единици спрямо цялото захранващо напрежение Ud.

По-нататъшно подобряване на хармоничния състав може да се постигне с използването на еднополярна модулация – фиг.5.59 [31], осъществена при мостовата схема. При нея коефициентът Mf трябва да е четно число. Алгоритъмът на работа е следният: Когато управляващото напрежение е по-голямо от трионообразното се включва T_A^+, в противен случай $-T_A^-$. Когато дефазираното на 180° управляващо напрежение е по-голямо от трионообразното се включва T_B^+, в противен случай T_B^- -. Съществуват интервали, през които са включени едновременно или двата горни или двата долни прибора. Това са интервалите на паузите в изходното напрежение, през които провежда един силов прибор с обратния диод на съседния му, свързан към същия полюс на захранващия източник, в зависимост от посоката на тока през товара.

На фиг. 5.60 е представено разпределението на хармоничните, от където се вижда, че те са изместени по посока на по-високите честоти, което води до по-лесно филтриране.



Фиг.5.60

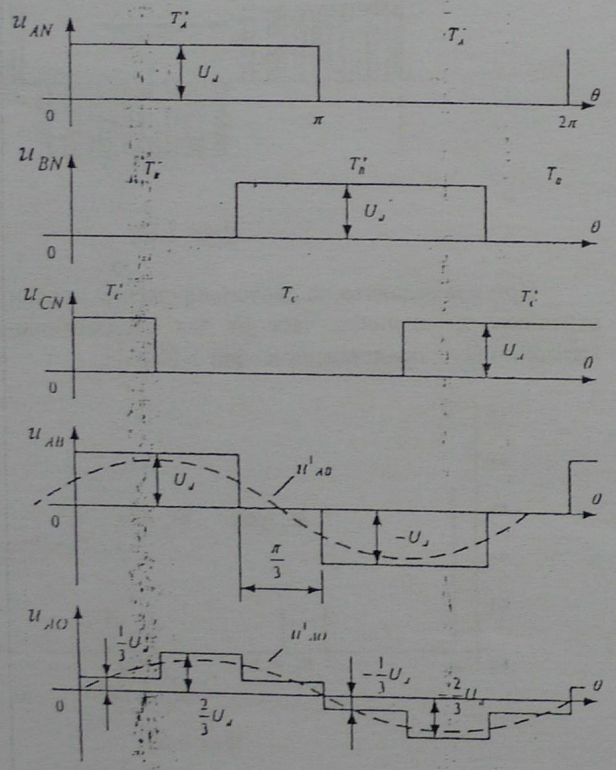


Фиг. 5.59

Съществуват и други схеми на еднофазни инвертори на напрежение, но те не са намерили широко разпространение в системите за непрекъсваемо електрозахранване. Известни са също и други методи на широчинно-импулсна модулация – делта модулация, вмъкване на допълнителни импулси с цел отстраняване на някои хармонични, модулация на няколко нива (multilevel converters) и т.н.

Известни са методи на геометрично сумиране на изходните напрежения на няколко инверторни клетки така, че изходното напрежение да не съдържа определени хармонични. Всички те се реализират с много голяма точност при управление на инверторите с помощта на цифрови сигнални процесори [15], [16].

При захранване на трифазни консуматори се използва най-често схемата на трифазния инвертор на напрежение, показана на фиг.5.62. Времедиаграмите в режим на работа на нерегулируем инвертор са показани на фиг.5.61. От тези на напреженията в изходите A, B и C спрямо минуса на захранващия източник може да се видят интервалите на проводимост на отделните прибори. Представена е и графиката на линейното напрежение Uab, представляващо разлика между тези в т.A и т.B.

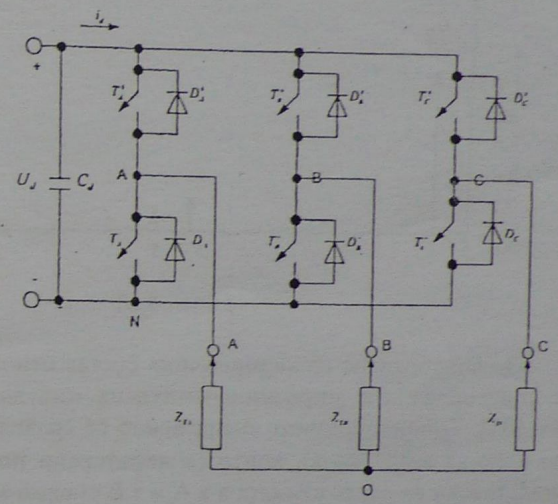


Фиг. 5.61

При свързване на симетричен товар в звезда фазовото напрежение (спрямо звездния център O) има формата, показана на последната графика. Другите две фазови напрежения са дефазирани на по 120° спрямо него, образувайки симетрична трифазна система.

Графиката на линейното напрежение е подобна на тази на еднофазен регулируем инвертор на напрежение – фиг. 5.55 с пауза α=60°. Поради това от формулата за него може да се намери максималната стойност на първата му хармонична

$$U^1_{AB_M} = \frac{4}{\pi}.U_d.\cos\frac{\pi}{3} = \frac{4}{\pi}.U_d.\frac{\sqrt{3}}{2}. = 1.1.U_d$$



Фиг.5.62

Следователно ефективната му стойност е:

$$U^1_{AB} = \frac{4}{\pi}.U_d.\frac{\sqrt{3}}{2}.\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.77969.U_d$$

Съответните максимална и ефективна стойности на фазовото напрежение са:

$$U^1_{AO_M} = \frac{4}{\pi}.U_d.\frac{\sqrt{3}}{2}.\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{2}{\pi}.U_d = 0.6366.U_d$$

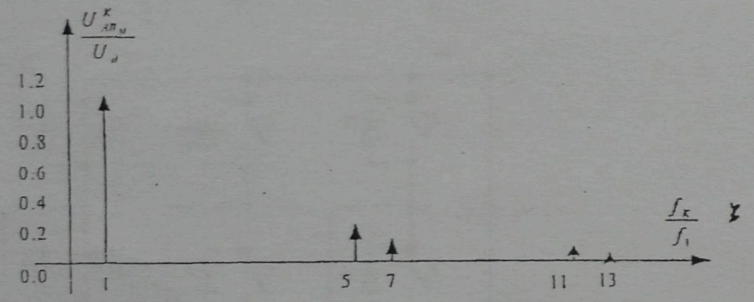
$$U^1_{AO} = \frac{2}{\pi}.\frac{1}{\sqrt{2}}.U_d = 0.45.U_d$$

На фиг.5.63 е представено разпределението на хармоничните на линейното напрежение. Номерата им се определят от зависимостта:

$$k = 6.n \pm 1 \qquad \text{за} \qquad n = 1,2,3.....$$

а стойностите им са:

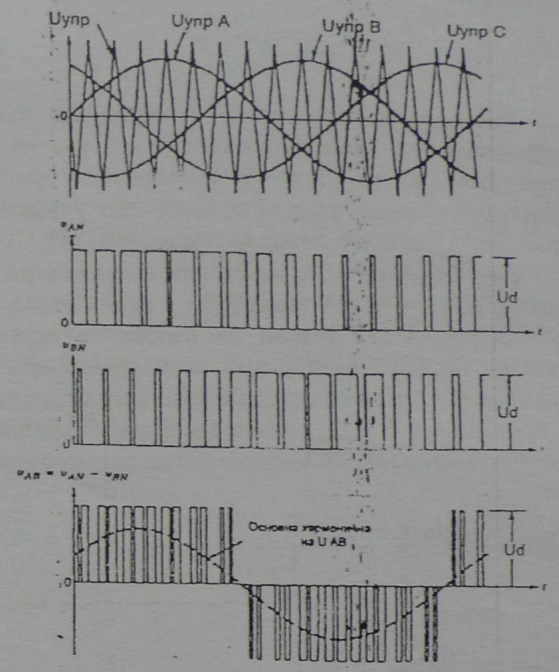
$$U^K_{AB_M} = \frac{U^1_{AB_M}}{k} \qquad U^K_{AB} = \frac{U^1_{AB}}{k}$$



Фиг. 5.63

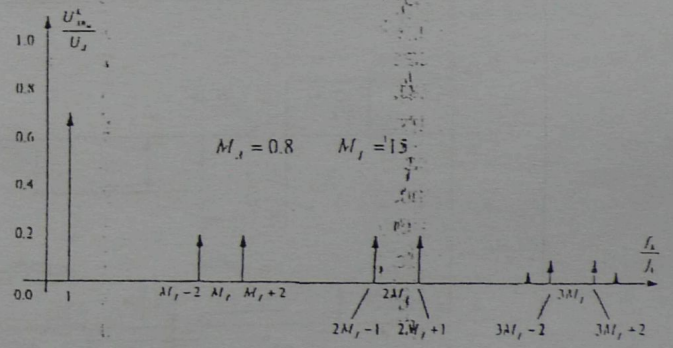
За подобряване на хармоничния състав отново се прилага методът на синусоидалната широчинно-импулсна модулация, пояснен на фиг. 5.64 [31]. Трионообразното напрежение се сравнява с три управляващи (по едно за всяка фаза), които са дефазирани помежду си на по 120°. Представени са напреженията в т.А и т.В спрямо минуса на захранващия източник (т.N), както и линейното напрежение, получено като разлика между тях.

Трябва да се отбележи, че коефициентът Mf трябва да е нечетен и кратен на 3 (на фиг. 5.64 е равен на 15). Поради това хармоничният състав на всяко от напреженията в т.А и т.В ще е идентичен с този на еднофазен инвертор с двуполярна широчинно-импулсна модулация – фиг.5.58.



Фиг. 5.64

При изваждането на двете напрежения поради фазовата разлика на отделните хармонични част от тях се елиминират така, че остават хармоничните, представени на фиг.5.65 [31].



Фиг.5.65

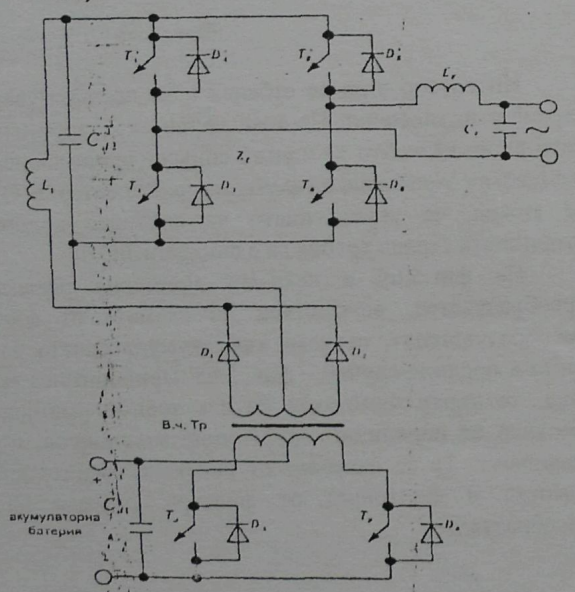
За максималната стойност на първата хармонична на напрежението Uan може да се приложи формулата от еднофазния инвертор:

$$U^{1}_{AN_M} = M_A \cdot \frac{U_d}{2}$$

Същото се отнася и за напрежението Ubn. Първите хармонични на двете напрежения са дефазирани помежду си на 120°. Разликата между тях определя линейното напрежение, така че неговата максимална стойност ще бъде √3 – пъти по-голяма от определената по горната формула. Следователно ефективната стойност на първата хармонична на линейното напрежение е:

$$U^{1}_{AB} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} . M_A \cdot \frac{U_d}{2} = 0.61237 . M_A . U_d$$

На фиг.5.66 е представен DC/AC – преобразувател, осъществен по схемата от фиг.5.53а).



Фиг. 5.66

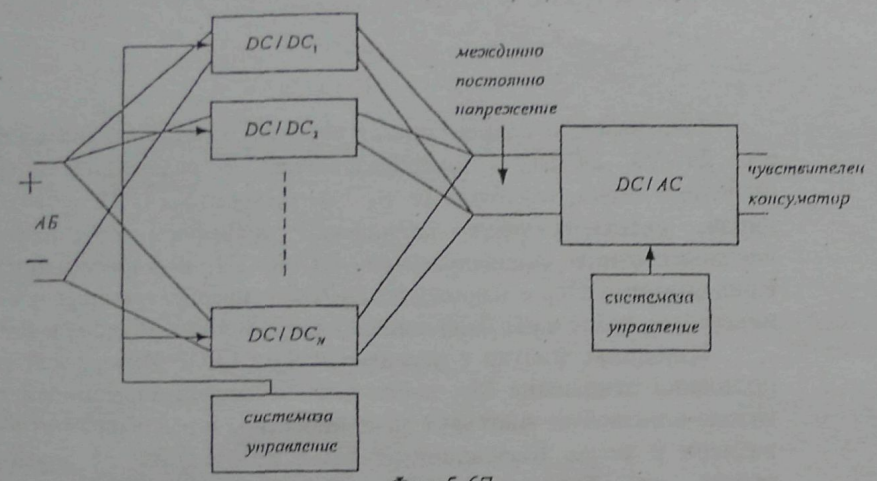
Захранващото напрежение от акумулаторната батерия е ниско (12 или 24 V). DC/DC – преобразувателят е реализиран посредством пушпулна схема, състояща се от транзисторите Та, Тв, обратните им диоди, високочестотния повишаващ трансформатор, диодите на високочестотния токоизправител D1 и D2 и индуктивността L1. Кондензаторът Cd2 е изходен за DC/DC – преобразувателя и входен за инвертора , който е със синусоидална широчинно-импулсна модулация.

Изходният филтър е реализиран чрез Lf,Cf. Инверторът работи с постоянно отношение Ма, което дава постоянен хармоничен състав в изхода и позволява филтърът да се проектира и реализира оптимално по размери и тегло. Коефициентът Ма е избран така, че хармоничният състав да бъде най-добър. Регулирането става в DC/DC-преобразувателя, като се изменя входното захранващо напрежение на инвертора, а оттам и стойността на променливото напрежение в изхода.

При ниско захранващо напрежение от акумулаторната батерия (например 12 V номинално и около 10.4 V минимално) и изходна променливотокова мощност над 300 VA (например 2.5 kVA) изискванията към високочестотния трансформатор и приборите на пушпулния преобразувател стават по-сериозни. За намаляване натоварването на приборите и повишаване на надежността тогава се предпочита реализация на няколко (например 8) DC/DC – преобразувателя, работещи паралелно по отношение на изходите си, с обща система за управление – фиг. 5.67.

В зависимост от схемата и начина на модулация в DC/AC – преобразувателя се избира стойността на междинното постоянно напрежение – обикновено при изходно променливо 220 V то е от 320 до 360 V. Идеята е разбираема лесно като подход, но при практическата й реализация е необходимо да бъдат взети под внимание няколко съществени въпроса. Първият е свързан с изравняване натоварването по ток на паралелно работещите преобразуватели. Някои фирми ги преоразмеряват по ток до 1.2 пъти и не предвиждат схемотехнически мерки за изравняване.

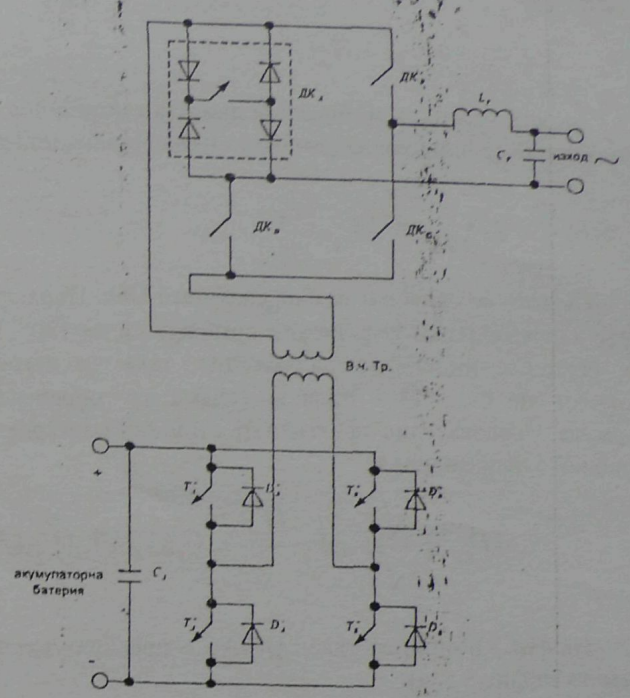
По–съвременният подход е използване на специализирани интегрални схеми за изравняване токовото натоварване на преобразувателите без излишно преоразмеряване. Вторият въпрос е свързан с взаимната зависимост на системите за управление (обикновено специализирани интегрални схеми), така че при екстремални режими (първоначален пуск, късо съединение в изхода) да се осигури достатъчно бързодействаща защита и на изходния и на първичните преобразуватели



Фиг.5.67

На фиг. 5.68 е показана реализация на еднофазен преобразувател чрез използване на схемата от фиг.5.53б). Към акумулаторната батерия е свързан инвертор на напрежение, чрез който се осъществява синусоидална широчинно-импулсна модулация така, че трансформаторът работи на висока честота. Трябва да се отбележи, че управлението на силовите прибори става по такъв начин, че върху намотките на в.ч. трансформатора всеки два съседни импулса от поредицата широчинно-импулсно модулирани имат противоположна полярност независимо дали са за положителния или отрицателния полупериод на изходното напрежение с ниска честота. В първичната страна става и регулирането.

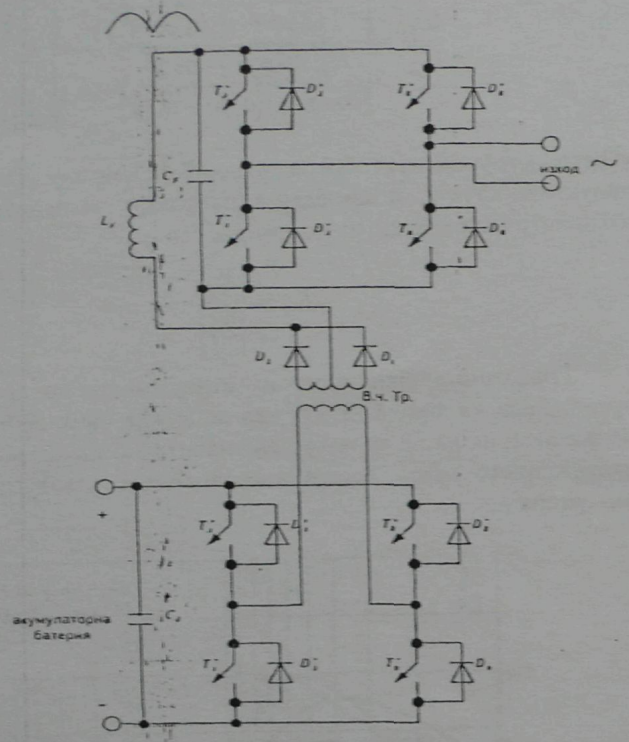
Във вторичната страна на високочестотния трансформатор е включен преобразувател, съставен от двупосочни ключове, чрез който става изправянето на високочестотните широчинно модулирани импулси така, че да се формират двата полупериода на изходното напрежение, както бе разгледано при еднополярната модулация. На фигурата е показана примерна реализация на един от двупосочните ключове. Всеки два диагоналносвързани ключа се включват и изключват едновременно. Ролята на изходния филтър е позната – да подтисне висшите хармонични и да пропусне към товара напрежението с честота на основната хармонична.



Фиг. 5.68

Интересно е да се отбележи, че преобразувателят във вторичната страна е двупосочен. По този начин ако например изходът се разгледа като вход, на който се подава синусоидално напрежение, то може да се осъществи зареждане на акумулаторната батерия. От принципа на работа се вижда, че управлението на силовите прибори в първичната и вторичната страна трябва да е синхронизирано.

На фиг.5.69 е показана примерна реализация на DC/AC – преобразувател, осъществен по схемата от фиг. 5.53в). При него преобразувателят, свързан към акумулаторната батерия, се управлява както в предния случай – фиг. 5.68. Приборите се включват и изключват така, че върху намотките на в.ч. трансформатора всеки два съседни импулса от поредицата широчинно модулирани имат противоположна полярност. Те се изправят от високочестотните диоди във вторичната намотка и филтрират от филтъра, свързан на входа на втория преобразувател.

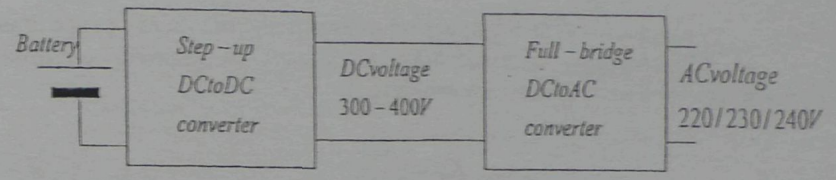


Фиг.5.69

По този начин напрежението върху филтровия кондензатор има показаната на фигурата форма. Преобразувателят във вторичната страна сменя полярността на това напрежение, като приборите се превключват близо до нулевата му стойност. Това става с ниска честота, зависеща от тази на изходното напрежение, което намалява загубите върху тях. Понякога напрежението върху филтровия кондензатор се следи чрез обратна връзка, а паралелно на него се включва силов прибор, който при отпушване го дава накъсо. По този начин може да се получи по-прецизна форма при комплексен товар в изхода.

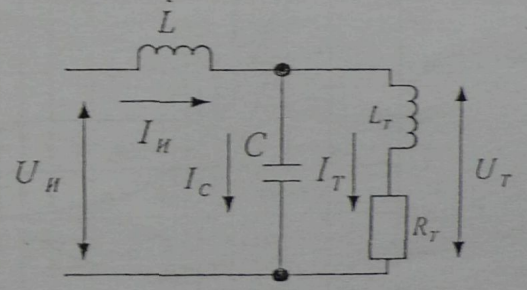
Разгледаните дотук преобразуватели на постоянно в променливо напрежение бяха с галванично разделяне между входа и изхода и съдържаха нискочестотни (фиг. 5.52) или високочестотни (фиг. 5.53) трансформатори. Трябва да се отбележи, че от някои фирми –

производители се предлагат и преобразуватели без галванично разделяне, реализирани по показаната на фиг. 5.70 схема.



Фиг.5.70

При тях повишаващият преобразувател е реализиран по схемата от фиг. 5.46, а мостовият инвертор – по схемата от фиг.5.54а). Обикновено това се предпочита поради намаляване на размерите и теглото, т.к. елементът с магнитопровод е само дроселът на повишаващия преобразувател. В друг случай може преобразувателят на постоянно в постоянно напрежение да е от няколко звена, като изравняването на токовете става по-лесно, ако те са без галванично разделяне. При всички случаи обаче подобна реализация противоречи на изискванията за техническа безобасност, съгласно които източникът на постоянно напрежение (в случая акумулаторната батерия) трябва да е галванично отделен от изходното напрежение.



Фиг.5.71

За филтриране на изходното напрежение най-често се използва Г-образният LC- филтър, представян и в разгледаните по-горе схеми. На фиг.5.71 е пояснена работата му при активно-индуктивен характер на товара. Недостатък на този филтър е повишаване на тока на инвертора в сравнение с тока на товара за сметка на тока на кондензатора C, и

намаляване на напрежението върху товара в сравнение с напрежението на инвертора за сметка на пада на напрежение върху индуктивността L.

Връзката между тока на инвертора и тока на товара се дава с израза:

$$\frac{I_И}{I_T} = \left| \frac{\cos\varphi + j(\sin\varphi - K_1)}{K_1.(\sin\varphi - j\cos\varphi)} \right|$$

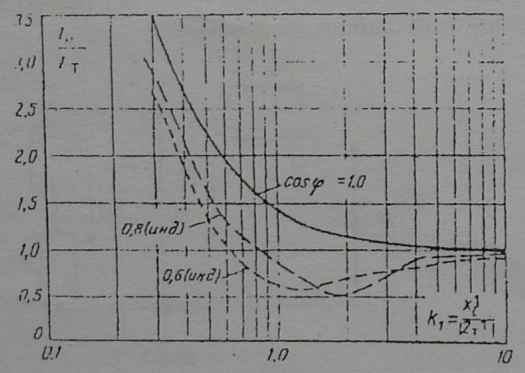
Коефициентът K1 представлява отношение между съпротивлението на кондензатора и импеданса на товара за първата хармонична на изходното напрежение на инвертора.

$$K_1 = \frac{X_C^1}{|Z_T^1|}$$

а ъгълът φ се определя от зависимостта :

$$\varphi = arctg\left(\frac{\omega L_T}{R_T}\right)$$

На фиг. 5.72 е дадена графична зависимост на отношението на двата тока, откъдето се вижда, че за да не се увеличава токът на инвертора значително, добре с коефициентът K1 да се избира по-голям от 1.



Фиг.5.72

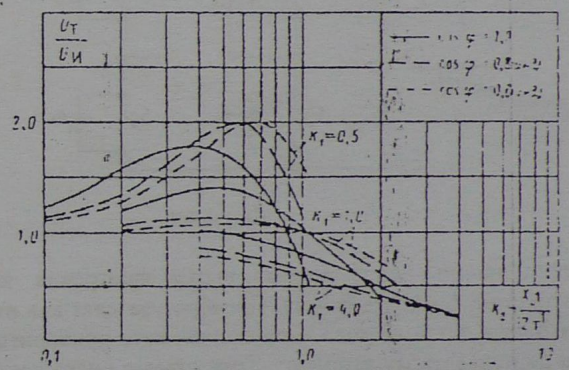
От друга страна отношението на напрежението върху товара и изходното напрежение на инвертора е:

$$\frac{U_T}{U_И} = \left| \frac{\dfrac{K_1(\sin\varphi - j\cos\varphi)}{\cos\varphi + j(\sin\varphi - K_1)}}{\dfrac{K_1(\sin\varphi - j\cos\varphi)}{\cos\varphi + j(\sin\varphi - K_1)} + jK_2} \right|$$

където коефициентът K2 е отношение между съпротивлението на индуктивността L и импеданса на товара за първата хармонична на изходното напрежение на инвертора:

$$K_2 = \frac{X_L^1}{|Z_T^1|}$$

Графичната зависимост на отношението на двете напрежения е представена на фиг. 5.73. От нея се вижда, че е добре K2 да бъде по-малък от 1, за да не се получава значително намаление в стойността на напрежението върху товара в сравнение с изходното напрежение на инвертора.



Фиг. 5.73

Ако се въведе отношението в стойността на n-тата хармонична на напрежението на инвертора и съответната й стойност на напрежението върху товара като степен на затихване

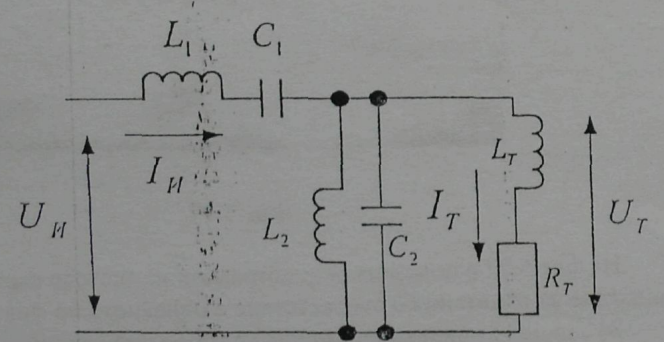
$$C_3^x = \frac{\left|U_И^n\right|}{\left|U_T^n\right|}$$

то може да се покаже, че:

$$K_2 = \frac{K_1}{n^2}\left|\frac{\cos\varphi + j.n.\sin\varphi}{\cos\varphi + j\left(n.\sin\varphi - \frac{K_1}{n}\right)}\right|\left(C_3^n - 1\right)$$

Както се вижда, при проектирането на филтъра трябва да се вземат предвид всички фактори особено при силно променящ се товар и регулиране на инвертора, свързано с промяна в съотношението между отделните хармонични. Предимство на филтъра са намалените му размери и тегло, т.к. резонансната му честота може да се избере достатъчно висока при условие, че хармоничният състав на изходното напрежение на инвертора е добър (например при еднополярна синусоидална широчинно-импулсна модулация).

Понякога за филтриране се използва двойният резонансен филтър, съставен от последователно и паралелно звена , настроени на честотата на първата хармонична на изходното напрежение – фиг. 5.74 [4].



Фиг.5.74

По отношение на първата хармонична съпротивлението на последователния резонансен кръг L1C1 в идеалния случай е 0, така че

върху него не се получава пад на напрежение за тази хармонична. От друга страна съпротивлението на паралелния резонансен кръг L2C2 е безкрайно голямо, така че той не натоварва по ток допълнително инвертора. По отношение на висшите хармонични при положение, че :

$$n\omega.L_1 >> \frac{1}{n\omega.C_1} \quad \text{и} \quad n\omega.C_2 >> \frac{1}{n\omega.L_2}$$

може приблизително да се приеме, че филтърът е еквивалентен на Г-образен L1C2-филтър. Недостатъците на този филтър са свързани с големите му размери и тегло, както и със стабилността на параметрите във времето с опасност от промяна в натоварването на инвертора и в качеството на напрежението върху товара при отклонение от резонанса на някой от кръговете.

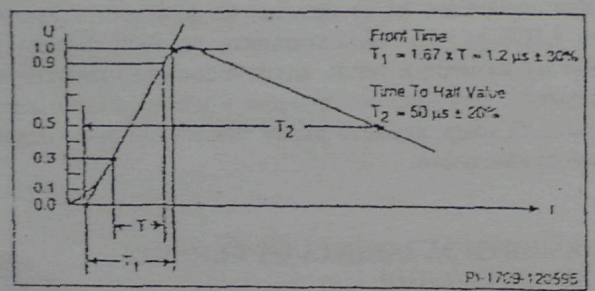
5.6. ЕЛЕМЕНТИ ЗА ЗАЩИТА ОТ ВЪНШНИ СВРЪХНАПРЕЖЕНИЯ

Разгледаните в т.5.3 пасивни и активни силови филтри ограничават влиянието на системата за непрекъсваемо електрическо захранване върху захранващата мрежа. Възможно е обаче и входът на системата да бъде подложен на външни свръхнапрежения, проникващи от мрежата. Те могат да се дължат на различни причини, по-важните от които са:

- Включване или изключване на индуктивни или капацитивни товари – електродвигатели, трансформатори, кондензаторни батерии.
- Къси съединения, пускови процеси или резонансни явления в мрежата
- Преходни процеси при разпределено генериране на електроенергия с използване на възобновяеми енергийни източници
- Силни електромагнитни полета
- Попадение на мълния – може да предизвика повреда в разстояние до 20 км от мястото, където е паднала.
- По данни на [37] в мрежа 220 V ежедневно възникват пренапрежения с големина от 50 до 600 V и продължителност

от 0.1 до 100 μs, като повтаряемостта им е различна. Трябва да се отбележи, че разгледаните в т.5.3 пасивни противосмутителни филтри за защита от радиосмущения играят известна защитна роля от пренапрежения поради елементите, от които са изградени – последователни индуктивности и паралелни кондензатори. Те обаче са недостатъчни, т.к. изискванията на стандартите са по-високи.

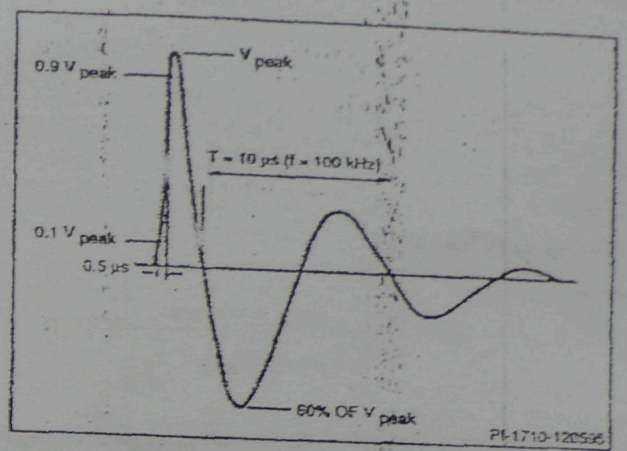
На фиг.5.75 е показана формата на типично тестово преходно свръхнапрежение, специфицирано от IEC 1000-4-5 [37]. Пиковата стойност е специфицирана на 3 kV, но има приложения, където се изисква и по-висока стойност. Предният фронт е с продължителност μS, а времето до спадане с 50 % - 50 μS.



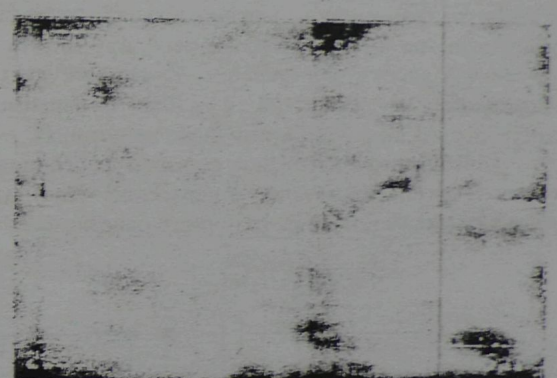
Фиг.5.75

На фиг.5.76 е показана формата на тестово свръхнапрежение със затихващ колебателен процес съгласно IEEE – 587 [37]. Пиковата стойност е 6 kV, а времето за нарастване до 90 % - 0.5 μs. Следват затихващи колебания с честота 100 kHz, като всеки следващ максимум е със стойност 60 % от предходния.

Работещите от захранваща мрежа устройства (в частност системите за непрекъсваемо електрическо захранване) се подлагат на изпитания, за да се провери устойчивостта им на външни свръхнапрежения. За тази цел в тях се включват специални елементи, предназначени да осигурят устойчивостта им. При това трябва да се има предвид, че външните свръхнапрежения могат да бъдат както диференциални (Differential Mode), така и синфазни (Common Mode). При изпитанията се използват специални генератори на тестови сигнали, които се прилагат към входа на тестваното устройство, като откъм страната на захранващата мрежа се свързва специален пасивен филтър за развързване.



Фиг.5.76



Фиг.5.77

На фиг.5.77 е показана осцилограмата на тестово свръхнапрежение, прилагано за изпитания в съответствие с описаното по фиг.5.76.

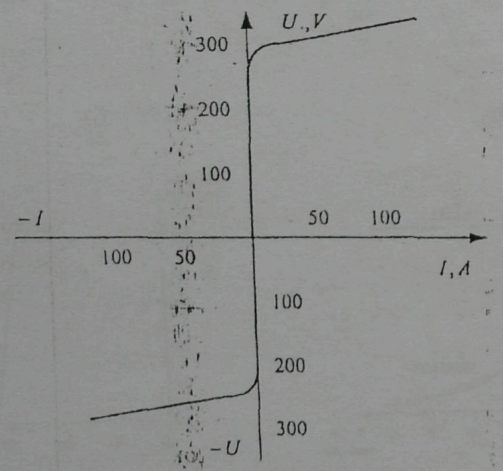
За защита от свръхнапрежения се използват следните елементи:

- газонапълнени пренапрежителни разрядници (газови разрядници);
- съпротивления, зависими от приложеното напрежение (варистори);

- диоди, чиито характеристики зависят от напрежението (супресордиоди).

Газовият разрядник се състои от изолационно тяло (луминиевооксидна тръба или съклена тръба) и два или три електрода в специално изпълнение. Тялото е пълно с благороден газ и провежда енергията, възникнала вследствие свръхнапрежение, към защитна земя. В динамичен режим тези елементи издържат скорости на нарастване до 100 V/μS. Типични стойности на тока, който могат да отведат са 5, 10 и 20 кА. Температурният диапазон на работа е от -40 до + 90 С. Типични стойности на капацитета на елемента са няколко pF.

Най-често използваният елемент за защита от свръхнапрежения е металоокисният варистор със симетрична волтамперна характеристика показана за един тип на фиг.5.78), чието съпротивление зависи от приложеното напрежение. Елементът се състои обикновено от цинков окис и се изпълнява с различна форма. Енергията, която може да поеме обикновено за 2 mS) варира от 0.3 до 200 J. Капацитетът на варистора зависи от формата му и има стойности от 0.1 до 40 nF.

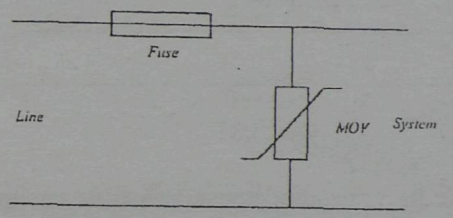


Фиг.5.78

Ударното токово натоварване на варистора, се осигурява чрез равномерно разпределение на енергията по цялата металоокисна керамика. Съпротивлението му от стойност по-голяма от 1 MΩ при свръхнапрежение за по-малко от 25 nS спада до около 1 Ω.. На фиг.5.79 е

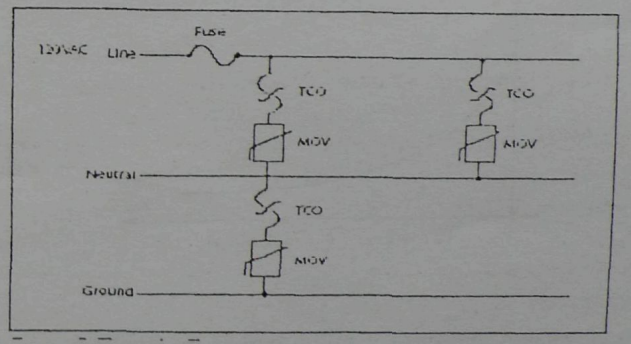
показана схемата на свързване при еднофазна мрежа, като при свръхток мрежовият предпазител може да изгори, а енергията се поема от варистора, защитавайки системата.

Така например при захранваща мрежа с номинално напрежение 220 V и вътрешен импеданс 25 Ω, ако се очаква краткотрайно свръхнапрежение със стойност 20 kV (това са еднократни стойности , примерно не повече от 50 пъти за целия очакван период на работа на системата) еднократният токов импулс е 800 A.



Фиг.5.79

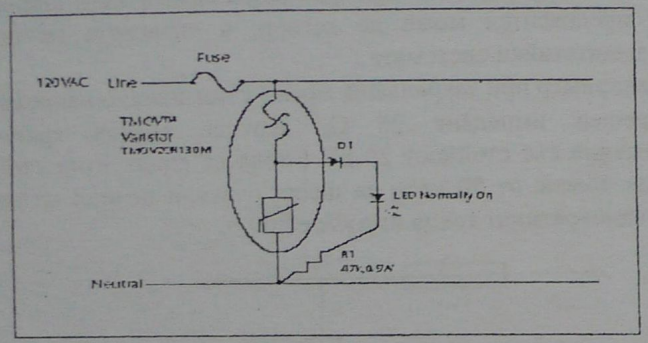
Подходящ за целта е варистор на Siemens S20K250, който може да поеме краткотрайно ток до 1000A. Все пак трябва да се има предвид, че става дума по каталожни данни за време най-много 20 μS.



Фиг.5.80

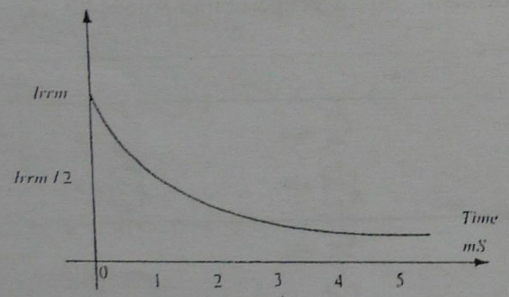
Тъй като при по-продължително натоварване температурата на варистора се повишава , той може да се повреди необратимо. Поради това фирмата Littelfuse препоръчва последователно с варистора да се включи т.н. температурен елемент за изключване (thermal Cut-Off Device) —фиг.5.80, който при превишаване на температурата прекъсва

:гата на тока през варистора. Тази фирма предлага в един корпус станието на двата елемента – TMOV (Thermal MOV), който се рзва по показания на фиг.5.81 начин. При нормална работа годиодът свети, а при превишаване на температурата и сработване на мента за термична защита – загасва.



Фиг.5.81

За ограничаване на преходни пренапрежения се предлагат и т.н. ресори на напрежение (Transient Voltage Suppressor). Това са ресордиоди, подобни на ценеровите диоди, но много по-бързи. актеризират се с времена на превключване pS до 5 nS. На фиг.5.82 с азана зависимостта на еднократния максимален ток от времето, за го той протича.

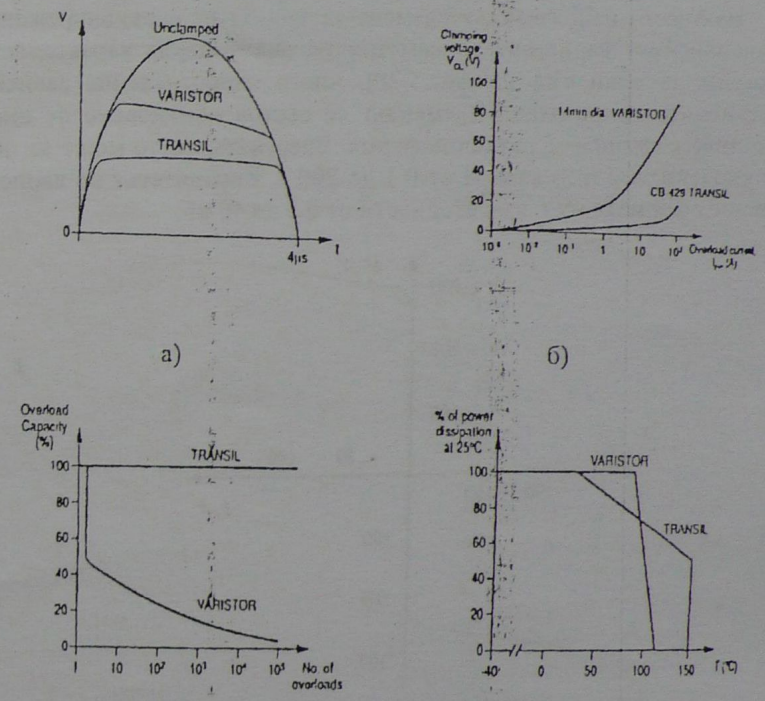


Фиг.5.82

Както се вижда, времето е от порядъка на милисекунди. Все още че достигнатите стойности по отношение мощност – до 2.5 kW, рен ток – до десетки ампери и пробивни напрежения – до 300 V

ограничават приложението на тези елементи предимно в защитни групи на силовите прибори от блоковете на системата за непрекъсваемо електрическо захранване. Има супресордиоди с еднопосочна или двупосочна проводимост с типични стойности на капацитета 300 до 9500 pF. Вероятно с течение на времето и използването на нови полупроводникови материали тези елементи ще достигнат и по-добри стойности на параметрите си.

Фирмата SGS-Thompson разработи специални защитни диоди – Transil Diode, чиито възможности се доближават до тези на варисторите. На фиг. 5.83 е направено графично сравнение между възможностите на един такъв прибор и варистор с диаметър 14 mm [40].



Фиг.5.83

Последователно са показани: напрежението на ограничение от времето – фиг.5.83а); напрежението на ограничение и токът на претоварване – фиг.5.83б); способността за претоварване от броя на претоварванията – фиг.5.83в) и температурните характеристики – фиг.5.83г).

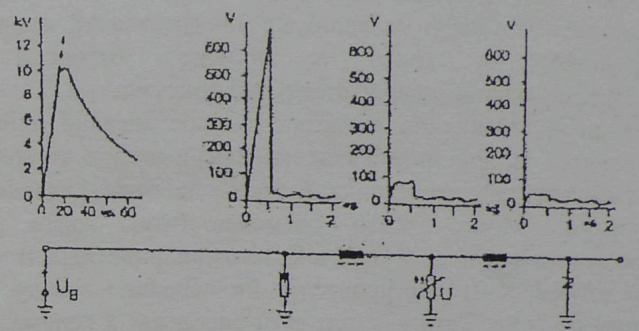
Все още тези диоди отстъпват на варисторите основно по възможност за еднократно претоварване, но пък притежават по- добри характеристики по отношение на многократни претоварвания, както и по-добри параметри във времето. Диапазонът на напреженията е от 5 до 500V (за варисторите до 1200V), но при еднократно претоварване за 20μS Transil – диодът поема енергия от 1 до 150 J (за разгледания варистор 0.1 до 0.7J). Тази разлика става по-малка при многократни претоварвания – например 10 пъти с продължителност 20 μS – 0.4 до 60J при диодите и 0.4 до 0.7J при разгледания варистор. Възможно е и тези диоди с времето да получат приложение при защита от мрежови свръхнапрежения. Засега и те се използват главно при защита например на тиристорите от променливотоковите прекъсвачи, разгледани в т.5.1.

Трябва да се отбележи, че при проектирането и реализацията на силовите схеми на преобразувателите на електрическа енергия се предвиждат специални мерки за защита от пренапрежения. Елементите, които се използват за тази цел стават част от силовата схема. Така например при токоизправителите се използват RC-групи, свързани паралелно на всеки силов прибор. Те ограничават възникналите пренапрежения при работа на токоизправителя вследствие процесите на възстановяване на силовия прибор, но играят затихваща роля и при външни пренапрежения. При трифазни токоизправители – т.5.2 и наличие на трансформатор откъм захранващата мрежа, във вторичната му страна се включват групи от последователно свързани резистор и кондензатор между всеки две от трите фази [4]. Те ограничават външните свръхнапрежения като резисторите внасят допълнително затихване на преходния процес. Освен за защита от мрежови свръхнапрежения тези групи предпазват приборите на токоизправителя и при изключване на захранващия трансформатор от мрежата.

Обикновено най-ефикасна защита от свръхнапрежения се постига чрез използване на всички разгледани елементи така, както е показано на фиг. 5.84.

Ако входът на устройството, което се защитава, бъде подложен на на свръхнапреженов импулс, то газовият разрядник отвежда големия ток и ограничава предавания по-нататък импулс. Намаленият по този начин

напреженов импулс затихва от включените последователно индуктивности, въздейства на последващите варистор и супресордиод и последователно се ограничава до още по-малки стойности.



Фиг.5.84

Ако постъпилият смущаващ пренапреженов импулс е с по-малка стойност или с по-малка скорост на нарастване, той ще въздейства само на варистора и на супресордиода. Така например ако на входа постъпи напреженов импулс със скорост на нарастване 1 kV/μS и пикова стойност 10 kV, първото стъпало от газовият разрядник ще го ограничи до около 600 – 700 V. Ако входът на конкретно устройство изисква ниско напрежение (например 24 V), то следващото стъпало, включващо варистор, може да намали това напрежение до около 90 V. Последното стъпало от супресордиода намалява още тази стойност до около 35 V при използване например на 24 –волтов диод. Следователно входът на устройството ще бъде подложен най-много на напрежение 1.5 пъти по-голямо от номиналното.

Разгледаните елементи и схемите на свързване представляват основа на изграждането на устройствата, които се наричат "surgeprotector". С входа си те се включват към захранващата мрежа и имат един или няколко изхода, към които се включват чувствителни консуматори (компютър, факс, мрежови комуникационни адаптери и др.). Ясно е, че те не осигуряват непрекъсваемо електрическо захранване, а предпазват консуматорите единствено от свръхнапрежения, проникващи откъм захранващата мрежа. Много известни са произвежданите от фирмата American Power Conversion устройства, наречени "Surgearrest" [11].

ГЛАВА 6
КОМУНИКАЦИЯ НА СИСТЕМИТЕ ЗА НЕПРЕКЪСВАЕМО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ С ДРУГИ СИСТЕМИ

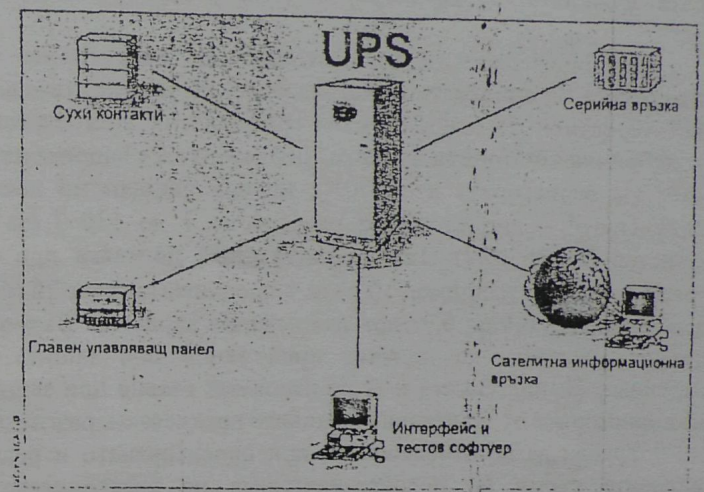
От направеното разглеждане стана ясно, че системите за непрекъсваемо електрозахранване представляват сложни комплексни устройства, на които се възлагат отговори функции по електрозахранването на чувствителни консуматори. Това налага да бъдат предвидени специални средства за проследяване действието на тези устройства, а при възникване на неизправност времето за реакция и отстраняване на евентуална повреда да бъде сведено до възможния минимум. Много често възможностите, които дадена фирма-производител е предвидила в това отношение играят съществена роля при избора, който потребителят би направил между предлаганите на пазара системи. Тези възможности определят в голяма степен скоростта на отстраняване на неизправност – задължение, което фирмите поемат при договаряне за работа по време на гаранционно и сервизно обслужване.

В системите за управление на силовите електронни устройства, използвани в системите за непрекъсваемо електрозахранване, основно място заемат напоследък цифровите сигнални процесори (DSP). Самите процесори притежават серийни периферни интерфейси и/ или серийни комуникационни интерфейси с възможности за синхронен и асинхронен обмен на информация, което улеснява вграждането в системите на хардуерни и софтуерни средства за комуникация. При конструирането на системите за управление се предвиждат възможности за самодиагностика на различните блокове, за да може тази информация да бъде достъпна до обслужващия персонал. Най-общо средствата за комуникация могат да се разделят на две групи:

- средства за следене, индикация, имитация и управление на мястото на инсталиране на системата за непрекъсваемо електрозахранване;
- средства за следене и управление от разстояние.

На фиг.6.1 са показани примерни възможности за комуникация на система за непрекъсваемо електрическо захранване.

Към първата група спадат използваните от всички фирми течнокристални дисплеи за индикация и управление, които най-често се управляват от отделен микропроцесор. Обикновено на тях се изобразява в блоков вид структурата на системата с индикация кои блокове работят в момента, като са предвидени и различни функционални бутони за въвеждане и/или извеждане на информация на дисплея.



Фиг.6.1

Това позволява:

- индикация на работещите в момента блокове чрез засветяване на означеното им в блоковата схема на дисплея;
- индикация на напрежение, ток и честота (на входа, на изхода и на акумулаторната батерия);
- индикация на всяка аларма за нарушена работоспособност и на нейната история;
- индикация на оставащото време за работа при липса на напрежение на захранващата мрежа в зависимост от състоянието на акумулаторната батерия, моментния товар на изхода и температурата;
- индикация на оставащото време на използване на акумулаторната батерия в зависимост от историята на използването ѝ;
- разрешение или забрана на звукова сигнализация;

- конфигурация на изредените по-горе функции в зависимост от изискванията на потребителя – език, индицирани параметри, дата, време през което се тества батерията и т.н.

Както се разбира, до този дисплей има достъп и потребителят. Допълнително се монтира т.н. панел за дистанционно наблюдение и управление (remote mimic and control panel). Този панел е с куплунг за връзка със специализиран сервизен персонален компютър, използван от сервизните инженери и на него са изведени сигнали от вида "сух контакт" за:

- товар на инвертора;
- претоварване;
- тест за повреда на батерията;
- товар на мрежата;
- изключен инвертор аварийно;
- предстоящ стоп;
- изключен токоизправител;
- изключен заряд на батерията;
- авария в системата за "bypass" и др.

Това са само част от най-важните сигнали, които позволяват на сервизния инженер бърза диагностика на аварията и вземане на решение как да продължи отстраняването й. За целта например фирмата SOCOMEC GROUP използва за своите SOCOMEC SICON UPS и DIGYS UPS компютър IBM AS 400. Освен чрез специализиран куплунг и "сухи контакти", връзката с персонален компютър може да бъде осъществена и чрез сериен интерфейс RS232. Цялата информация от базата данни на системата за непрекъсваемо захранване от типа DIGYS на тази фирма се предава посредством сериен интерфейс RS485 и JBus/ModBus протокол.

Втората група средства са за наблюдение и управление от разстояние. То се осъществява от специално създадени за целта центрове на фирмите. С вградените в UPS- системите модеми (посредством телефонна линия чрез Internet) в тези центрове постъпва непрекъснато информация за състоянието на най-отговорните обекти. Това позволява да се следят параметрите за правилно действие, да се предава статуса на съответната система посредством т.н. "доклади" през зададен интервал от време. Въз основа на това може да се предвиди евентуално нарушение в работоспособността и да се информира предварително както потребителя, така и съответната сервизна група. Интересно решение предлага фирмата POWERWARE за системите си POWERWARE PLUS. Предвидена е възможност за връзка и предаване на съобщение на

пейджъра на сервизния инженер. Естествено за средствата и от двете групи съответните фирми притежават необходимия софтуер, като той е оформен във вид на отделни пакети с различни фирмени наименования. Информация за него може да се намери в рекламните материали на производителя.

Ако системата за непрекъсваемо електрозахранване се използва за компютърни системи и мрежи, трябва да се знае че са предвидени средства за връзка със самите компютри. Предлага се съответния софтуер, който може да бъде интегриран с различни операционни системи като WINDOWS, NOVELL, OS/2, UNIX, LINUX и др. Софтуерният пакет на фирмата SOCOMEC се нарича UPS VISION и чрез него на екрана на компютъра може да бъде изведена посредством менюта в графичен или табличен вид информация за текущото състояние и за параметрите от минало време. Фирмата MERLIN GERIN притежава софтуерния пакет MONITOR-PAC за работа с операционни системи WINDOWS 95,98, 2000,NT. Този пакет използва Jbus/ModBus комуникационен протокол и се предлага за нейните системи GALAXY UPS. Софтуерният пакет на фирмата POWERWARE се нарича POWERVISION и притежава богати възможности за визуална индикация.

ГЛАВА 7
РЕЗЕРВНО ЕЛЕКТРИЧЕСКО ЗАХРАНВАНЕ

Както вече беше изтъкнато, изграждането на системи за непрекъсваемо електрическо захранване все по-често включва и решения за резервно захранване, за увеличаване на времето за автономна работа.

При по-голяма част от решенията на резервното захранване се възлага единствената функция - да предоставя електрическа енергия при прекъсване на основното захранване. Задачите за "непрекъсваемостта" се решават без участие на системата за резервно захранване.

Възможни са и решения, при които системата за резервно захранване има и определени функции във връзка с постигане на непрекъсваемост на електрическото захранване.

Резервното електрическо захранване може да се осъществи по различни начини, в зависимост от това какъв е резервният източник (или резервните източници!) на електрическа енергия.

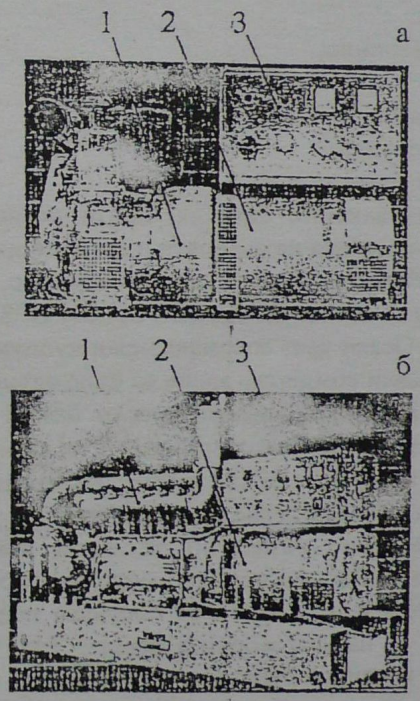
При големи и отговорни потребители на електрическа енергия, освен основният източник на електрическо захранване (захранваща линия), пак от електрозахранващата система се предвижда един, но може и повече резервни източници (линии) на захранване. Те получават електроенергия от различни трансформаторни подстанции. Системата за резервно захранване в този случай се състои от необходимите устройства за превключване от основния към резервен източник. Тези устройства са известни като "АВР" – тъй като са предназначени за "автоматично включване на резерва". Масово предлаганите устройства "АВР" извършват превключване с прекъсване на електрическото захранване за интервал от около 100ms. Съществуват и т.н. **"Бързодействащи АВР"**, при които превключването се извършва за по-малко от 10ms, т.е. при спазване на изискванията на "СВЕМА кривата", дискутирана в т. 1.2. Известни са и като STS . Такива безконтактни превключватели предлагат напр. MGE, MASTERVOLT и др.

Бързодействащи "АВР" за резервно захранване в хибридно изпълнение за номинален ток 100А и напрежение 220V у нас са произвеждани от "ОПИКО" ООД, съвместно с НПО "БЕЛА" към НИС при Техническия университет – София.

Масовите потребители ползват резервно електрическо захранване от въртящи се **електрически генератори**, които се задвижват от двигатели с вътрешно горене1*. Това се отнася преди всичко за системите със статични UPS. При динамичните UPS въртящите се електрически генератори, задвижвани от двигател с вътрешно горене, се съдържат в тяхната структура.

Електрическите агрегати се състоят от:

- електрически генератор, въртящ се;
- възбудителна система на генератора;
- двигател с вътрешно горене за задвижване на електрическия генератор;
- комплектно устройство (табло) за автоматично управление на агрегата и за осъществяване на връзка с потребителите, предвидени за резервно електрическо захранване.



Фиг.7.1

Електрическите агрегати се предлагат за много широк диапазон на мощности. Най-малките са от порядък на 0,5÷1,0 kVA, масово предлаганите серии са с мощности 20÷400kVA, но има производители, които предлагат мощности до 20000÷30000 kVA. На фигури 7.1а), б) са показани два агрегата за различна мощност. Означени са основните им блокове (двигател с вътрешно горене-1,електрически генератор – 2 и комплектното устройство за управление – 3).

Електрическите генератори, които се използват са два вида - синхронни и асинхронни.

По-високо качество на добиваната електрическа енергия се постига с използване на син-

*Често тази комбинация се нарича "електрически агрегат", както и "електроагрегат"

хронни електрически генератори. Поради това в електрическите агрегати за резервно електрическо захранване на чувствителни консуматори се използват предимно синхронни генератори, въпреки че те са по-скъпи от асинхронните. Съвременните синхронни генератори се проектират в т.н. "безчетково изпълнение". При него няма триещи се и износващи се части, следователно експлоатацията им е с по-висока надеждност

Възбудителните системи на генераторите осигуряват поддържането на напрежението на електрическия генератор в необходимите граници. Прилагат се системи със самовъзбуждане на синхронния генератор и полупроводникови регулатори на възбудителния ток, с оглед напрежението на изводите на генератора да бъде практически неизменно, равно на номиналното. Към възбудителните системи се поставя изискване при к.с. на изводите на генератора, токът да бъде по-голям от определена стойност (най-често по-голям от трикратния номинален ток). За да се удовлетвори това изискване, полупроводниковите регулатори трябва да се захранват както от напрежението на генератора, така и от токовите му вериги.

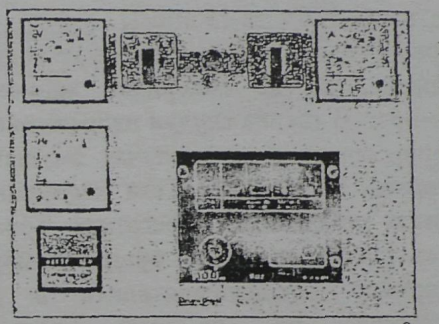
Двигателите с вътрешно горене, които се ползват за задвижване на електрическите генератори при малките мощности са предимно бензинови. При по-големите мощности се ползват дизелови двигатели, както и газови двигатели.

Комплектното устройство (табло) за автоматично управление на агрегата може да работи по различни алгоритми и режими (ръчен и автоматичен).

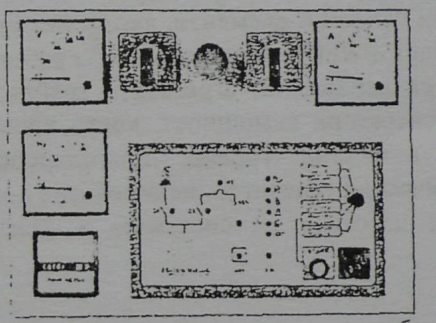
Неговата структура включва следните блокове. Два взаимно блокирани прекъсвача (прекъсвач може да бъде включен само при условие, че другият е изключен), първият от които включва товарите към захранващата електрическа мрежа (основния източник), а вторият включва товарите към генератора за резервно захранване. Има блокове за измерване на напрежението на основния и на резервния източник, като и блокове за стартиране и спиране на двигателя с вътрешно горене, който задвижва електрическия генератор. Има и блок за управление (управляващ контролер).

Най-често, в автоматичен режим, комплектното устройство работи по следния начин. Когато напрежението от захранващата мрежа се понижи недопустимо или се прекъсне, комплектното устройство след кратък интервал на изчакване (напр.15s) изключва първия прекъсвач, стартира двигателя с вътрешно горене и след като напрежението на генератора за резервно захранване се установи в необходимите граници,

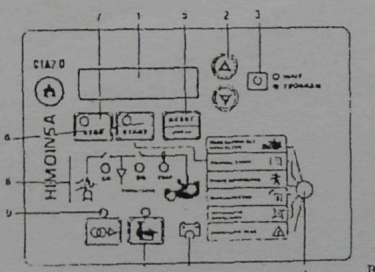
включва втория прекъсвач, с което товарите се захранват с напрежение от генератора. След възстановяване на напрежението на захранващата мрежа, изчаква се също определено време, изключва се вторият прекъсвач, включва се първият прекъсвач, с което товарите започват да се захранват от основния източник. Изключва се двигателя с вътрешно горене, с което системата остава в изходно положение.



а



б



в

Фиг.7.2

На фиг. 7.2 е показан видът на панелите за обслужване на комплектни устройства на различни генератори. Фиг. 7.2 а) се отнася за ръчно управляван агрегат. Това изпълнение е характерно предимно за малки мощности и при не много отговорни приложения. На фиг. 7.2б) е показан пулт на амтоматично управляван агрегат. На фиг. 7.2в) също е показан пулт на агрегат, който е предназначен за автоматично управление, но с най-съвременно изпълнение. На него с 1 е означен буквено - цифров дисплей, с 2, 3, 4 и 5 – бутони за програмиране, с 6 – бутон за стартиране, със 7 - бутон за спиране, с 8 – индикатори за състоянието на системата, с 9 – индикатор за зареждане на акумулаторната батерия за стартиране на двигателя, с 10 – бутон за включване на горивната помпа, с 11 – за нормална работа на акумулаторната батерия.

Експлоатацията на агрегатите изисква определени действия за техническо обслуж-ване, които са предписани от производителите. Трябва да се има предвид още, че при работа те имат сравнително високо ниво на шум, трябва да се отвеждат изгорелите газове, да се осигури безопасно складиране на горивото за тях.

От гледна точка на електрическото захранване на консуматорите, трябва да се обръща внимание съвпада ли броя на фазите на генератора и на товарите, честотата и напреженията им.

Обявените данни, които са най-съществени за избора на агрегат са:

- мощност активна, kW;
- мощност пълна, kVA или данни за напрежението и тока на генератора;
- мощност при еднофазно натоварване на трифазни генератори;
- честота, Hz;
- допустимо претоварване, напр. с 20% за 15 min-1.

Внимание трябва да се обръща товарите, които ще се захранват от системите за резервно захранване, да не генерират хармонични съставящи на тока, който консумират. В такива случаи напрежението на генераторите се деформира силно, могат да се получат смущения в работата на системата за резервно захранване. Тези смущения не позволяват да се използва пълната мощност на агрегатите. Товарите, които генерират хармонични съставящи на тока общо се наричан "нелинейни". Такива са например токоизправителите и други полупроводникови преобразуватели от по-стари поколения. Осветителните тела с електронни баластни елементи, ако са без блокове за корекция на фактора на мощност ("PFC") силно смущават работата. В случаите, при които товарите са нелинейни, агрегатите трябва да се комплектоват с електрически генератори с мощност, която превишава мощността на двигателя с вътрешно горене. Благодарение на увеличената мощност на електрическия генератор, нелинейните товари в по-малка степен ще смущават работата на системата в режим на резервно захранване.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Анчев М.Хр.** Енергийна ефективност на силови електронни устройства, Изд. на ТУ, 2000.
2. **Анчев М. Хр.** Ръководство за лабораторни упражнения по силови електронни устройства, Изд. на ТУ, 2002.
3. **Анчев М. Хр.** Преобразувател на постоянно в променливо напрежение , Електротехника и електроника, № 9-10, 1994.
4. **Бобчева М. Л., Н. П. Градинаров, Г.Ю.Малеев, Е. И. Попов, М. Хр. Анчев**, Силова електроника, Изд. на ТУ, 1998, 2001.
5. **Бобчева М.Л., С.Е.Табаков**, Основи на преобразувателната техника, С. Техника , 1988, 2002.
6. **Кръстев Г.Г., М.Хр. Анчев, Н.Й. Стефанов** Система за непрекъсваемо захранване на персонални компютри, сп. Електропром. и приборостроене, № 9, 1990.
7. **Петкова М.П., М. Хр. Анчев** Активни силови филтри – перспективно средство за постигане изискванията на Европейските стандарти за повишаване качеството на електроенергията, Енергетика, № 5, 2003.
8. **Стефанов Н.Й., Т.Б.Атанасов, А.Г.Манолов**, Наръчник по токозахранващи устройства, С., Техника, 1991.
9. **Хиршман В., А. Хойенщайн**, Мрежови импулсни токозахранващи устройства, Сименс-Дигиком АД, 1990
10. **Abdelhamid T.H., M.K. Darwish, P. Metha, A.I. Mohamadien, M.S. Abo-Elela**, A New Flexible and Compact High- Frequency Link On-Line UPS System, EPE Journal, vol.5 , №2, September 1995
11. **American Power Conversion** – APC, Solutions, www.apc.com
12. **Belling Lee**, SF4300, High Performance Chssis Mounted 3-Phase Filter, www.blpcomp.com.
13. **Casadei D., G. Grandi, C. Rossi**, A supercapacitor- based power conditioning system for power quality improvement and uninterruptible power supply, Industrial Electronics, 2002, ISIE2002, July, 2002.
14. **C.I.S.P.R.** " Limits and Methods of Measurement of Radio Interference Characteristics of Information Technology Equipment", 1993.
15. **Daniolos D., M.K. Darwish and P. Metha** Optimal PWM inverter control using neural networks, Electr. Letters, vol.31, № 20, 1995.
16. **Darwish M.K.**, Single-chip inverter for active filters, Electronics Letters, 26th September 2002, vol.36, No20.