

1. ВОВЕД ВО ПРОБЛЕМАТИКАТА НА КВАЛИТЕТОТ НА ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА

Од година во година, грижата за квалитетот на електричната енергија се повеќе ги засега и нејзините производители, електростопанските компании и самите потрошувачи на истата, крајните корисници. Уште од крајот на осумдесеттите години на минатиот век, терминот *”квалитетот на електричната енергија”* е еден од најприсутните во енергетиката. Станува збор за еден заеднички концепт, кој прави обиди во себе да ги обедини сите видови на штетни пореметувања во енергетскиот систем. Ова и не е нешто ново. Ново е што сега инженерите од оваа специјалност имаат еден поинаков пристап за решавање на таа проблематика, при што разните пореметувања не се разгледуваат одделно, туку како збир на проблеми.

Постојат четири главни причини за погоре споменатата зголемена грижа за квалитетот на електричната енергија:

1. Опремата која се користи ширум светот е далеку поосетлива на варијациите на квалитетот на електричната енергија, во споредба со таа во минатото. Многу нови уреди користат и содржат микропроцесорско-базирани управувања и мноштво осетливи инструменти кои се забележително осетливи на различни типови на пречки.

2. Зголемениот нагласок на ефикасноста на енергетските системи резултираше во континуиран пораст на примена на уреди, како што се високоефективните, регулирани електромоторни погони и кондензатори за корекција на факторот на моќност, а се со веќе познатата цел, редуцирање на загубите. Ова пак, предизвика зголемување на нивото на хармоници во енергетскиот систем, што пак од своја страна внесе сомнеж и грижа за можното влијание врз можностите на системот, ваков каков што е, во иднина.

3. Се зголеми свеста кај крајните корисници за квалитетот на електричната енергија. Тие сега се повеќе и доволно информирани за значењето на термините како што се прекините, преодните појави, напонските јами и слично. Со тоа, отворен е предизвик до производителите на електрична енергија кој ги тера да го зголемат квалитетот на својот производ.

4. Многу работи се сега вземно поврзани во мрежа. Интегрираните процеси подразбираат дека паѓањето на само една од компонентите во мрежата предизвикува редица значителни и важни последици.

Главната движечка сила, покрај споменатите причини, е зголемената продуктивност кај потрошувачите. Индустриските производители бараат побрза, попродуктивна и поефикасна машинерија.

Електростопанствата пак, го охрабруваат овој тренд бидејќи со тоа им помагаат на своите потрошувачи да од една страна, ја зголемат својата профитабилност, а од друга, го одложат сопствениот ангажман и големи инвестирања во нови дистрибутивни потстанции, што е можно, пред се со користење на поефикасна опрема. Интересно е што, токму опремата која е вградена да ја зголеми продуктивноста е таа што најчесто трпи последици и страда најповеќе од заедничките енергетски пречки. Исто така, таа опрема е понекогаш и извор на додатни проблеми со квалитетот на електричната енергија.

Што е квалитет на електричната енергија?

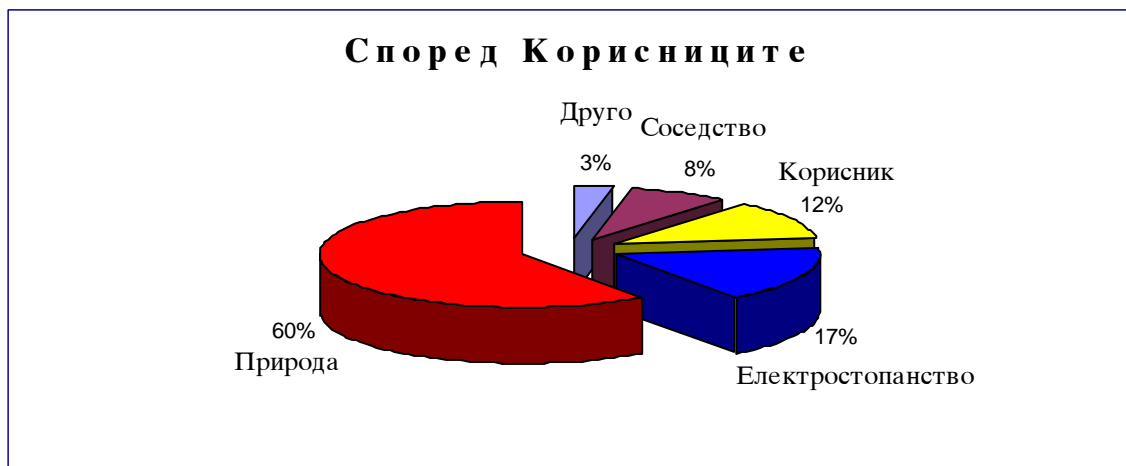
Можат да постојат мноштво различни дефиниции. На поимот За квалитет на електричната енергија, а се во зависност од тоа на што точно се однесува и на што се повикува секоја од нив. На пример, индустриските производители го изедначуваат поимот за квалитетот на електричната енергија со доверливост на снабдување на истата (непрекинатост во испораката), дефинирајќи го системот како 99,98 проценти доверлив. Производителите на разната опрема, во својата дефиниција за квалитетот на електричната енергија велат дека тоа се карактеристиките на системот за снабдување кои треба да обезбедат правилна работа на од нив вградената или продадена опрема. Ова нормално, е различно и за најразлична опрема и за различни производители. Но, како и да е, најприфатлива е, и во секој случај мора да има приоритет, дефиницијата зад која стои самиот корисник на електричната енергија, нејзиниот потрошувач. Со оглед на тоа, овде се зема за меродавна, следната дефиниција на поимот за проблемот со квалитетот на електричната енергија: *Секој енергетски проблем, манифестиран со напонска, синхронна или фреквенцна девијација, а кој резултира во преспаѓање на работната или неправилна работа на уредите кај корисниците.*

Постојат многу недоразбирања за тоа кој е причината за проблемите со квалитетот на електричната енергија. Сликата 1.1 ги покажува резултатите од анкетата меѓу двете, да не речам, спротивставени страни, електростопанството и крајните корисници. Испитувањата се спроведени од електродистрибутивна компанија во Џорџија-САД и, како што може да се види, постојат разлики во погледите. Заедничко е што и двете страни во најголем дел од случаите, околу две третини, за кривец ја сметаат природата т.е. природните појави, а пред се ударите на гром. Главната разлика, како што и може да се забележи од сликата, е во тоа што производителите на ел. енергија мислат дека самите тие се ретко кога одговорни за таквите проблеми, што не е случај со корисниците, кои во голем процент, вината веруваат дека ја сноси самото електростопанство.

Она што можеби највеќе внесува меѓусебна забуна е што често се јавуваат проблеми кај дел од опремата на корисниците, кај некој уред, на пример. Сопственикот на истиот, резонира по своја логика и го обвинува испорачателот на електричната енергија. Електростопанската компанија пак, вели дека тоа е локален проблем кој неговата опрема за контрола и

не го забележала, па како и да не постоел, оградувајќи се од евентуалната вина и не ставајќи го истиот во својата статистика.

Еден пример е влијанието на вклучувањето и исклучувањето на кондензаторите, што е нормална појава во еден систем, но појава која предизвикува преодни појави и пренапони кои прават пречки во работата. Друг пример се кусите врски во напојната мрежа (уште наречени грешки faults). Тие скоро во целиот енергетски систем предизвикуваат кратко-трајни напонски јами. Тие можат да ја прекинат работата на регулираните електромоторни погони, за кое нешто електростопанство нема ни да дознае.



Слика 1.1 Причинители на проблеми во квалитетот на електричната енергија – Анкета

Она што ја усложнува анализата за вистинските причинители на проблеми во системот е што причинителите на истите можат да бидат од хардверска или софтверска природа или да се кријат во неправилната работа на контролниот систем. Електронските компоненти со текот на времето ги влошуваат своите својства под влијание на честите пренапони

и може да откажат при релативно малата амплитуда на пречките. Според тоа, понекогаш е многу тешко да се поврзе настанатата грешка со конкретна причина.

Како одговор на зголемената грижа за квалитетот на електричната енергија, електростопанството развива програми кои треба да помогнат да одговорот на грижите кај корисниците. Филозофијата на тие програми базира на две основи. Едната е реактивна, каде се обидува да се даде одговор на веќе упатената поплака и активна, кога електростопанството се вклучува во едукацијата на своите корисници на проблематичната тематика и создава свои институции кои треба да помогнат во развивањето на решенија за проблемите со квалитетот на електричната енергија.

Во решавањето на проблемите и правењето анализи, неопходно е и учеството на економисти. Не е секогаш економски исплатливо да се врши елиминација на варијациите во квалитетот на електричната енергија. Во многу случаи, оптималното решение подразбира вметнување на одделен дел од опремата кој е помалку осетлив на разните промени. Нивото кое треба да се одржува притоа е она до кое опремата која ја користи електричната енергија функционира доволно правилно и континуирано.

Квалитетот на електричната енергија, како квалитетот кај останатите добра, е многу тешко да се изрази квантитативно. Не постои единствена и општоприфатена дефиниција. Постојат стандарди за напонот и останати технички критериуми кои можат да бидат измерени, но конечната мерка за квалитетот на електричната енергија е определена со перформансите и продуктивноста на опремата кај крајните корисници. Ако електричната енергија е неадекватна за поедини потреби, тогаш она што недостига е квалитетот.

Веројатно најголема симболика за недостатоците во напојниот енергетски систем и техничките апарати од широката потрошувачка внесе појавата на дигиталните часовници. Имено, производителите на часовници создадоа трепкачки дисплеј на дигиталниот часовник за предупредување од можно неточно покажано време, како последица на прекин во снабдувањето со енергија, со што несакајќи, беше креиран еден од првите монитори на квалитетот на електричната енергија. Со тоа, корисниците на ваквите часовници се во состојба да знаат за бројните минорни пречки кои се појавуваат во дистрибутивниот систем кои со својата минорност може и да немаат некое друго штетно влијание освен тоа што се детектирани од часовникот. Потребата од ресетирање на ваквите часовници поради брзи прекини на снабдување е поизразена од кога и да е, а и нивната бројност во едно домаќинство е значителна, имајќи во предвид дека сите нови најразлични уреди имаат, покрај другото, и вграден часовник. Постарите решенија на часовници го немаат овој проблем. Едноставно, за време на прекин на енергија, тие стојат, а по повторното вклучување под напон, продолжуваат со работа, губејќи ги од вид неколкуте секунди од прекилот и враќајќи се повторно во синхронизам.

Квалитет на електрична енергија = квалитет на напонот

Иако цело време во текстов се зборува за квалитет на електричната енергија, всушност квалитетот на напонот е она на што се мисли во повеќето случаи. Технички кажано, со инженерски речник, моќноста или енергијата е пропорционална на производот од напонот и струјата. Системот за снабдување со енергија може да го контролира единствено квалитетот на напонот; тој практично нема контрола врз струите кои поедините потрошувачи ги повлекуваат. Поради тоа, стандардите во областа на квалитетот на електричната енергија се однесуваат пред се на одржувањето на напонот на напојување во одредени граници.

Класичните системи се предвидени да работат со синусоидален напон со точно одредени фреквенција (50 или 60 Hz) и големина. Секоја значајна девијација во големината, фреквенцијата или чистотата на брановиот облик на напонот е потенцијален проблем со квалитетот на електричната енергија.

Секако дека, секогаш постои блиска взаемна врска помеѓу напонот и струјата во било кој практичен енергетски систем. Иако генераторите произведуваат скоро перфектен синусен напон, струјата која поминува низ импедансите на системот може да предизвика разни пореметувања на напонот. На пример:

1. Струјата која е последица на појавата на куса врска предизвикува напонски јами или целосно исчезнување на напонот, во зависност од случајот.

2. Струите поради удари на гром поминуваат низ системот, предизвикувајќи напони со високи импулси кои прават прескоци преку изолацијата и водат кон еден друг феномен, куси врски.

3. Изобличените струи од некои потрошувачите (т.н. “нелинеарни” потрошувачи) исто така го изобличуваат напонот, поминувајќи низ импедансата на системот. Според тоа, останатите крајни корисници добиваат веќе изобличен напон.

Поради тоа, додека напонот е оној поради кој си создаваме грижи, мора истовремено да се обрне внимание и на струјата, за полесно да се разбере основата на многу проблеми со квалитетот на електричната енергија. Затоа, со прописи се налагаат и одредени ограничувања и на струите кои ги повлекуваат потрошувачите.

Зошто е грижата за квалитетот на електричната енергија

Главната причина поради која владее интересирањето за квалитетот на енергијата има пред се економска позадина. Тоа е секако последица на економските влијанија на кои се изложени производителите на ел. енергија, потрошувачите на ел. енергија и снабдувачите на електрична опрема.

Квалитетот на енергијата може да има навистина директен економски удар врз повеќето индустриски потрошувачи. Веќе помина главниот бран на ревитализација на индустријата со автоматска и секако

помодерна опрема. Ова пред се значи опрема која се базира на електронска контрола и управување, со висок степен на енергетска ефикасност, која од своја страна е исклучително поосетлива на промените на напонот на напојување од нејзините електромеханички претходници. Според тоа, како и во случајот со трепкачкиот часовник, и самите индустриски потрошувачи се целосно свесни за постоењето и на најминорните неправилности во енергетскиот систем. Секако, поради неминовната поврзаност на “големи пари” со истиве. За илустрација, исклучувањето од системот на потрошувач со некоја средна големина, за чие рестартирање се потребни најмалку четири часа, резултира со загуби од над 10,000 долари.

Производителите на електрична енергија, рековме, се подеднакво загрижени за квалитетот на енергијата. Задоволувањето на очекувањата на потрошувачот и добивањето на неговата доверба се доволна мотивација. Неминовната конкуренција меѓу производителите е поизразена од кога и да е. Губењето на редовен муштерија и негово преоѓање во конкурентската фирма претставува значителен финансиски удар.

Покрај споменатите, постојат бројни индиректни и недостижни за анализа трошоци, поврзани со проблемите со квалитетот на електричната енергија. Потрошувачите од, на пример, станбените згради, не трпат директни финансиски загуби или неможност да се здобијат со приходи како резултат на повеќето проблеми со квалитетот на електричната енергија, но можат да бидат потенцијална и иницирачка сила при формирањето на мнение за некоја електродистрибутивна компанија и нејзино карактеризирање како лош снабдувач со електрична енергија. Ваквата појава за последица има големи маки кај самиот производител да се справи со лошите гласини.

Во борбата со конкуренцијата, многу производители на електрични уреди и опрема, за да ја намалат цената на својот производ, вградуваат лоши компоненти кои не можат секогаш да ги издржат разните неправилности. Примарната задача за отстранување на ваквите неадекватности несомнено лежи во соработката со корисникот кој ја користи опремата. Техничките спецификации за опремата (потрошувачите) мора да вклучуваат и критериум за квалитет на електричната енергија. Бидејќи повеќето корисници не се свесни за разните стапици, потребна е адекватна едукација за квалитетот на електричната енергија.

2. ТЕРМИНИ И ДЕФИНИЦИИ

Потребата за доследен речник

Терминот *квалитет на електрична енергија* се поврзува на широк опсег на електромагнетни појави во енергетскиот систем. Зголемената примена на електронска опрема во последните дваесеттина години го зголеми интересот за квалитетот на електричната енергија, кое нешто беше придружено со развојот на специјална терминологија за опис на тој феномен. За жал, таа терминологија не е еднозначна во разните индустриски гранки што довело до конфузија помеѓу испорачателите, крајните корисници и воопшто меѓу оние кои се бават со проблематика од овој вид.

Во контекст на погоре кажаното, присутна е појавата на разни двосмислени зборови кои имаат повеќезначно или нејасно значење. Таков е случајот со, на пример, зборот *surge* или пренапон, чиј точен превод е “голем бран, бранови, се бранува”, но сепак се користи како пренапон. Сличен е случајот и со термините од типот на *glitch* и *blink*, кои исто така воопшто немаат техничко значење, но влегле во секојдневниот речник¹.

Ова поглавје дава опис на постојаната терминологија која може да се користи во описот на промените на квалитетот на електричната енергија. Исто така, дадено е и објаснение зошто некоја терминологија не е прикладна за примена во дискусиите за квалитетот на електричната енергија.

Класификација на проблеми со квалитет на електрична енергија

Терминологијата која е презентирана во текстот што следува е одраз на напорите за унификација и стандардизација на дефинициите и термините поврзани со феноменот на квалитет на електрична енергија. Во САД, Institute of Electrical and Electronics Engineers Standards Coordinating Committee 22 (IEEE SCC22), го води главниот збор за координација на стандардите. Ова тело има координација и со Меѓународната Електротехничка Комисија (International Electrotechnical Commission – IEC), како и со Congress Internationale des Grand Reseaux Electriques a Haute Tension (CIGRE), или на англиски: International Conference on Large High-Voltage Electric Systems.

IEC го класифицира електромагнетниот феномен во групи прикажани во Табела 2.1. Нас пред се не интересираат само првите четири групи феномени.

¹ поимите се од американско говорно подрачје и литература

ТАБЕЛА 2.1 - Принципиелни појави кои предизвикуваат електромагнетни пречки, според класификацијата на ИЕС

Галвански поврзани нискофреквентни појави	
-	Хармоници (меѓухармоници)
-	Системи за сигнализирање (носач е водот од енергетскиот систем)
-	Напонски флукуации
-	Напонски јами и прекини
-	Напонска несиметрија
-	Варирање на фреквенцијата на напонот
-	Индукцирани нискофреквентни напони
-	DC (еднонасочни компоненти) во AC (наизменични) мрежи
Електромагнетно поврзани нискофреквентни појави	
-	Магнетни полиња
-	Електрични полиња
Галванско поврзани високофреквентни појави	
-	Индукцирани континуирани бранови на напонот и струјата
-	Еднонасочни преодни појави
-	Осцилаторни преодни појави
Електромагнетно сврзани високофреквентни појави	
-	Магнетни полиња
-	Електрични полиња
-	Електромагнетни полиња
-	Континуирани бранови
-	Преодни појави.
Појави на електростатско празнење (ESD)	
Нуклеарен електромагнетен импулс (NEMP)	

Табела 2.2 ја покажува категоризацијата на електромагнетните појави што се користи меѓу проучувачите на проблемите со квалитетот на електричната енергија. Појавите претставени во табелата можат понатаму да се објаснат со користење на соодветни атрибути, како во табелата што следува:

<i>За стаационарни појави</i>	<i>За нестационарни појави</i>
Амплитуда	Стапка на пораст
Фреквенција	Амплитуда
Спектар	Траење
Модулација	Спектар
Импеданса на изворот	Фреквенција
Длабочина на засекот	Зачестеност на појава
Површина на засекот	Енергетски потенцијал
	Импеданса на изворот

Застапниците на американската терминологија успеаа да додадат повеќе свои термини во ИЕС стандардот. Како илустрација, зборчето *sag* се користи како синоним на ИЕС терминот *dip*, а со значење-напонски јами. Категоријата *крајкокрајни варијации* се користи кога се мисли на напонски јами (*dips*) и куси прекини. Терминот *swell* (зголемување на напонот) се употребува како инверзен збор за *sag* (*dip*). Категоријата

“шум” се однесува на широкопојасни феномени кои се галвански поврзани.

ТАБЕЛА 2.2 - Категории и Карактеристики на Ел.-маг. појави во Енерг. Системи

Категории	Типична спектрална содржина	Типично времетраење	Типична напонска големина
1.0. Преодни појави			
1.1. Импулсни			
1.1.1. Наносекунди	5-ns пораст	< 50 ns	
1.1.2. Микросекунди	1- μ s пораст	50 ns - 1 ms	
1.1.3. Милисекунди	0.1-ms пораст	> 1 ms	
1.2 Осцилаторни			
1.2.1 Ниска фреквенција	< 5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Средна фреквенција	5-500 kHz	20- μ s	0-8 pu
1.2.3 Висока фреквенција	0.5-5 MHz	5- μ s	0-4 pu
2.0 Краткотрајни варијации			
2.1 Миговни			
2.1.1 Прекин		0.5-30 циклуси	< 0.1 pu
2.1.2 Јама		0.5-30 циклуси	0.1-0.9 pu
2.1.3 Рид		0.5-30 циклуси	1.1-1.8 pu
2.2 Моментални			
2.2.1 Прекин		30 циклуси-1 s	< 0.1 pu
2.2.2 Јама		30 циклуси-1 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Рид		30 циклуси-1 s	1.1-1.4 pu
2.3 Привремени			
2.3.1 Прекин		3 s-1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Јама		3 s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Рид		3 s-1 min	1.1-1.2 pu
3.0 Долготрајни варијации			
3.1 Прекин, траен		> 1 min	0.0 pu
3.2 Поднапони		> 1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Пренапони		> 1 min	1.1-1.2 pu
4.0 Напонска несиметрија		Стабилна состојба	0.5-2 %
5.0 Изобличување на бранова форма			
5.1 Еднонасочно изместување		Стабилна состојба	0-0.1 %
5.2 Хармоници	0-100-ти хармоник	Стабилна состојба	0-20 %
5.3 Интерхармоници	0-6 kHz	Стабилна состојба	0-2 %
5.4 Засек		Стабилна состојба	
5.5 Шум	Широкопојасен	Стабилна состојба	0-1 %
6.0 Напонски флукутации	< 25 Hz	Испрекинати	0.1-7 %
7.0 Варијации на индустриската фрек.		< 10 s	

Категоријата *браново изобличување* се употребува како заеднички термин за хармониците и меѓухармониците според IEC, како и за едномерна компонента во мрежите за наизменична струја, како и за други феномени како што се засеците.

Табелата содржи информации кои се однесуваат на спектралната содржина, времетраењето и големината, одредени за секоја категорија на електромагнетни појави. Категориите и нивните описи се важни, ако се сака да се класифицираат резултатите од мерењата и да се опишат електромагнетните појави кои можат да бидат причинители на проблеми со квалитетот на електричната енергија².

Преодни појави

Терминот *Преодни Појави* (transients) веќе подолго време се користи во анализите на варијациите на параметрите на енергетскиот систем, за означување на настан кој е непожелен и многу кусотраен. Поимот на пригушен осцилаторен преоден процес како последица на RLC карактеристиките на мрежата е она на што веројатно и најчесто помислуваат инженерите, кога ќе се сретнат со зборот преоден.

Други дефиниции на поимот преодни појави, кои се со пошироко значење и употреба, можат да се претстават како: “оној дел од промената во самата променлива кој исчезнува во текот на преодот од една во друга стабилна состојба”. За жал, оваа дефиниција може да се употреби за воопштено опишување на било кој невообичаен настан кој се случил во рамките на енергетскиот систем.

Збор со слично значење со терминот преодна појава е *surge*. Некои инженери на пример, овој поим го сметаат како преоден процес кој е резултат на ударот на гром. Корисниците во енергетскиот систем пак, според искуствата од испитувањата, најчесто го користат овој збор многу нејасно, пред се како објаснување за секоја невообичаена, а забележлива промена во енергетскиот систем, без разлика дали станува збор за падови, пораста или цели прекини во функционирањето на истиот.

Преодните појави се класифицирани во две категории: импулсни и осцилаторни. Термините се однесуваат на брановиот облик на струјната или напонската преодна појава. Во продолжение, следува опишувањето на споменатите категории, во повеќе детали.

2.3.1 Импулсна преодна појава

Импулсната преодна појава претставува ненадејна промена со фреквенција различна од мрежната фреквенција, при усталена состојба, на напонот, струјата или на обете големини, која е еднозначна во поглед на поларитетот (или само позитивна или само негативна).

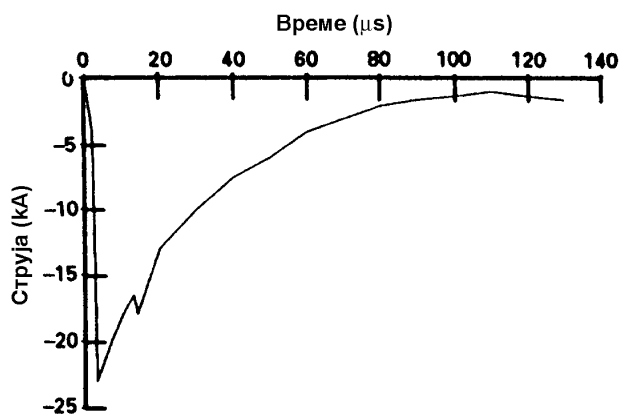
Преодните појави се карактеризираат со нивното време на пораст и со времето на опаѓање, што може да се види од нивниот спектрален

² Стручната терминологија се создава паралелно со развитокот на структурата. Досега во македонското говорно подрачје и немало развиена проблематика од областа на квалитетот на ел. енергија во современа смисла на зборот, па затоа и терминологијата е во создавање, за кое сведочи и овој текст, кој на македонски потекнува од пред 3 години. На пример, поимот “Квалитет на електричната енергија” го усвоивме како буквален превод на англискиот (американски) израз: “Power Quality” иако многу колеги го предлагаа поимот: “Квалитет на електричниот напон”. Во Германското говорно подрачје се користи зборот “Netzrueckwirkungen” што буквално преведено значи: Повратни влијанија врз мрежата (од потрошувачите).

состав. На пример, $1,2 / 50 \mu\text{s}$ 2000-V импулсната преодна појава има пораст од нула до врвната вредност од 2000 V за време од $1,2 \mu\text{s}$, по што опаѓа на половина од таа вредност, за време од $50 \mu\text{s}$.

Најчестата причина за појава на импулсни преодни појави е молњата.

Поради тоа што станува збор за големи фреквенции, кривата на импулсната преодна појава трпи брзи промени на обликот поради компонентите во самото коло, така што може да има битно различни карактеристики, гледано од различни делови на енергетскиот систем. Импулсните преодни појави немаат големо простирање на поголеми далечини од местото каде што се појавиле во системот. Можат да предизвикаат возбуда на природната фреквенција на колата на енергетскиот систем и со тоа да создадат осцилаторни преодни појави. Сликата 2.1. илустрира типична импулсна преодна појава на струјата предизвикана од гром.



Слика 2.1. Струјна импулсна преодна појава од гром

2.3.2 Осцилаторна преодна појава

Осцилаторната преодна појава претставува ненадејна промена со фреквенција различна од мрежната фреквенција при усталена состојба, на напонот, струјата или на обете големини, која вклучува и позитивни и негативни вредности.

Осцилаторната преодна појава се состои од напон или од струја чија моментална вредност брзо го менува својот поларитет. Се опишува со спектралниот состав (доминантна фреквенцијата), со времетраењето и со амплитудата. Подкласите се дефинираат според спектралниот состав како појава со висока, средна и ниска фреквенција.

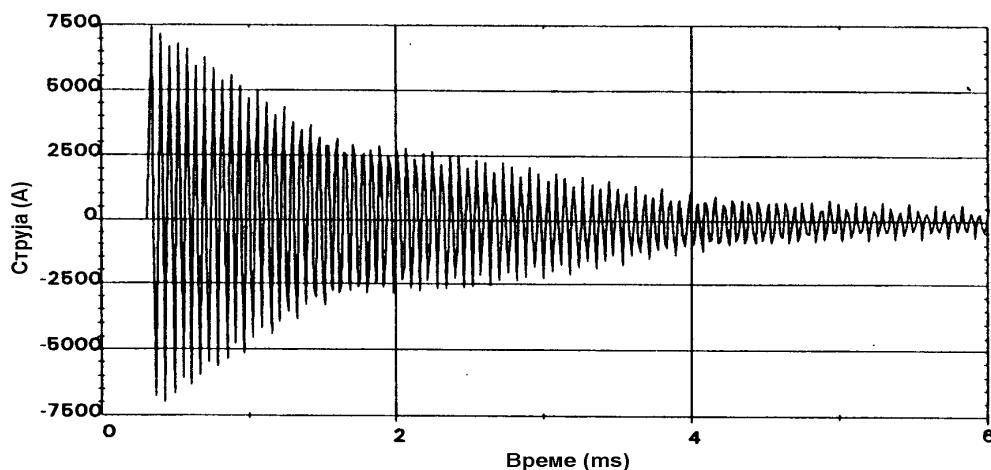
Осцилаторните преодни појави со компонента на примарната фреквенција поголема од 500 kHz и со типично времетраење измерено во ранг на микросекунди (или неколку циклуси од основната фреквенција), се сметаат за осцилаторни преодни појави со висока фреквенција. Овие преодни појави многу често се резултат на одговорот на локалниот систем на импулсна преодна појава.

Осцилаторна преодна појава, со компонента на примарната фреквенција помеѓу 5 и 500 kHz и со времетраење измерено во десетици

микросекунди (или неколку циклуси од основната фреквенција), се нарекува преодна појава со средна фреквенција.

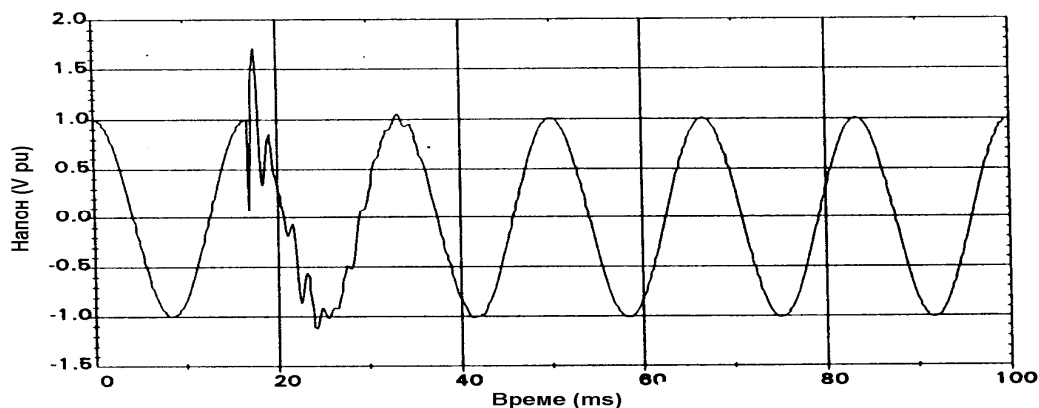
Приклучувањето на еден кондензатор кон друг веќе приклучен на мрежата (на англ.: Back-to-back), резултира во осцилаторни преодни појави на струите во десетици килохерци, како што може да се види од Слика 2.2. Преодните појави со средна фреквенција можат исто така да бидат резултат на одговорот на локалниот систем на импулсна преодна појава.

Преодна појава со компонента на примарната фреквенција помала од 5 kHz, и со времетраење од 0,3 до 50 ms, се смета за преодна појава со ниска фреквенција.



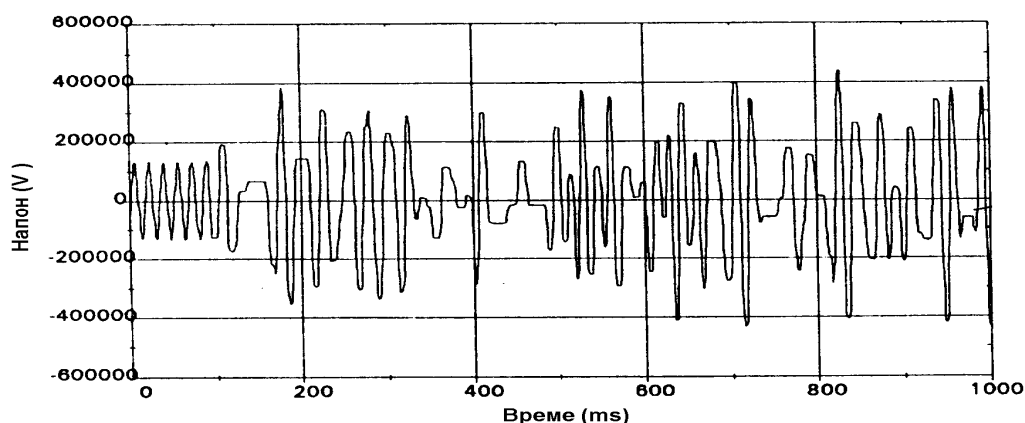
Слика 2.2 Осцилаторна преодна струја, при паралелно вклучувањето на кондензатор на веќе приклучен кондензатор.

Овој вид на појави често се среќава кај дистрибутивните системи, а го причинуваат најразлични настани. Најзастапена причина е вклучувањето на кондензаторски батерии, што типично има за последица појава на напонска осцилаторна преодна појава, со примарна фреквенција помеѓу 300 и 900 Hz. Темената вредност притоа теориски може да достигне големина од 2,0 единични големини, но обично е меѓу 1,3 и 1,5, со времетраење помеѓу 0,5 и 3 циклуси, во зависност од пригушувањето на системот (Слика 2.3).



Слика 2.3 Нискофреквентна осцилаторна преодна појава, предизвикана од приклучувањето на кондензаторска батерија

Осцилаторни преодни појави, со основни фреквенции помали од 300 Hz, можат исто така да се сретнат во дистрибутивниот систем. Овие пак, генерално се доведуваат во врска со појавата на ферорезонанса и вклучувањето на трансформатори (Слика 2.4). Преодните појави при серииско вклучување на кондензатори би можеле исто така да влезат во разгледуваната категорија. Тие се појавуваат кога системот одговара со резонанција со компонентите со ниска фреквенција од струјата на вклучување на трансформаторот (вториот и третиот хармоник) или кога невообичаени услови резултираат во ферорезонанса.



Слика 2.4 Нискофреквентна осцилаторна преодна појава, предизвикана од ферорезонанса на неоптоварен трансформатор

Можно е, исто така, да се изврши категоризација на преодните појави (и други пречки) според нивниот мод или вид. Основно е дека, преодната појава во трифазен систем со одделен неутрален проводник може да биде или од заеднички мод (“common mode”) или од нормален мод (“normal mode”), се во зависност од тоа дали се појавува помеѓу фазниот или неутралниот проводник и земјата или пак меѓу фазниот и неутралниот проводник. На пример, ако преодната појава (или општо сигналот) се појавува истовремено меѓу жиците кои во нормална употреба се користат за обавување на функцијата на колото од едната страна и земјата од другата страна, тој пренапон или сигнал е “common mode” (заеднички мод). Ако пак пренапонот или сигналот дделува меѓу жиците кои и онака служат за пренос на корисниот сигнал, на пример фазата и нулата, а сигналот не се јавува према земјата тоа е сигнал од видот “normal mode”.

2.4 Долготрајни напонски варијации

Долготрајните варијации вклучуваат девијации на ефективната вредност, при индустриска фреквенција, за подолго време од една минута. ANSI C84.1 ги пропишува толеранциите за стабилна напонска состојба кои можат да се очекуваат во енергетскиот систем. Напонска варијација се

смета за долготрајна ако границите на ANSI³ се надминати за подолго од една минута.

Долготрајните варијации можат да се поделат на пренапони и поднапони. Пренапоните и поднапоните генерално, не се последица на грешки во системот, туку се причинети од варијациите на оптоварувањата во системот и од прекинувачките операции во него. Таквите варијации обично се прикажуваат како графичка зависност на ефективната вредност на напонот во зависност од времето.

2.4.1 Пренапон

Пренапон се дефинира како зголемување на ефективната вредност на наизменичниот напон, поголемо од 110 %, при индустриска фреквенција, со времетраење подолго од една минута.

Пренапоните најчесто се резултат на промени на оптоварувањето (на пример, исклучување на голем товар или пак вклучување на кондензаторски батерии). Доаѓа до пренапони затоа што или системот е преслаб за саканата напонска регулација или пак напонските контролни уреди се неадекватни. Неточното поставување на бирачот кај трансформаторите исто може да резултира во појава на пренапони во системот.

2.4.2 Поднапон

Поднапон претставува намалување на ефективната вредност на наизменичниот напон на помалку од 90 проценти, при индустриска фреквенција, во траење подолго од една минута.

Поднапоните се резултат на настани кои се спротивни од настаните кои причинуваат пренапони. Вклучувањето на голем товар или исклучувањето на кондензаторски батерии може да доведе до поднапон, се додека опремата за напонска регулација на системот не го врати напонот во границите на толеранција. Преоптоварените кола можат исто така да предизвикаат поднапони.

Терминот *brownout* (затемнување, во директен превод), често се употребува за опис на трајни периоди на поднапон, иницирано од посебни стратегии за редуцирање на енергетската потрошувачка. Бидејќи не постои формална дефиниција за овој термин, и не е јасен како терминот поднапон кога се прави обид да се карактеризира некоја пречка, истиот треба да се избегнува во употребата.

2.4.3 Трајни прекини

Кога напонот на напојување имал вредност нула за период на време кој надминал една минута, долготрајната напонска варијација се смета за траен прекин. Напонските прекини подолги од една минута се често постојани и бараат човечка интервенција за повторно враќање на состојбата. Терминот траен прекин се однесува на специфична појава во енергетскиот систем и генерално, нема врска со употребата на терминот

³ ANSI е американски стандард

outage или во превод “испад” . Дистрибуцијата го користи поимот прекин или испад за појава со слична природа во своите статистики и анализи за доверливоста на снабдување. Терминов предизвикува конфузија помеѓу крајните корисници кои за испад го сметаат било кој прекин на енергијата кој го исклучува процесот. А ова би можело да биде кратко колку и половина циклус (10 ms) .

2.5 Краткотрајни напонски варијации

Оваа категорија ги вклучува ИЕС категориите **напонски јами**⁴ и **кратки прекини**. Секој тип на варијација може да се именува како миговна, моментална или привремена, во зависност од нејзиното времетраење, како што е дефинирано во Табела 2.2.

Краткотрајните напонски варијации се последица на грешки (куси врски), вклучување на големи товари кои повлекуваат големи струи на поаѓање или на прекин на врски во енергетскиот систем. Во зависност од локацијата на грешката и од условите во системот, грешката може да предизвика или привремени напонски опаѓања (јами, sag) или зголемувања на напонот (подување, swell) или пак целосно губење на напонот, т.е. прекин. Самата грешка може да биде во близина или далеку од местото на интерес. И во обата случаи, влијанието врз напонот за време на постоечката состојба на грешка е од типот на краткотрајна варијација, се додека заштитата не ја отстрани грешката.

2.5.1 Прекин

Прекин се појавува кога напонот на напојување или струјата паѓа на помалку од 0,1 единични големини, за период на време кој не надминува една минута.

Прекините настануваат како последица на грешки во енергетскиот систем, оштетувања на опремата и неправилности во работата на контролната опрема. Прекините се мерат преку нивното времетраење, од моментот и за време кога амплитудата на напонот е постојано помала од десет проценти од номиналната вредност. Времетраењето на прекилот кој настанал поради грешка во системот е одредено со времето на реакција на заштитните уреди во системот. Миговното ревклучување на заштитниот уред⁵ генерално ќе го ограничи прекилот предизвикан од нетрајна грешка на помалку од 30 циклуси. Одложеното ревклучување на заштитата ќе причини моментален или привремен прекин. Времетраењето на прекините настанати заради неправилности во работата на опремата и прекин на врските во енергетскиот систем е неправилно односно непредвидливо.

На некои прекини можат да им претходат напонски јами, кога овие прекини се поради грешки во напојниот систем. Напонските јами се појавуваат во интервалот на време помеѓу иницирањето на грешката и реагирањето на заштитната опрема. На Слика 2.5 е покажан таков

⁴ Има еден израз на Македонски, кој би бил исто така добар за опис на овој феномен: “напонски длапки”. Овој се појави скоро во една дипломска работа.

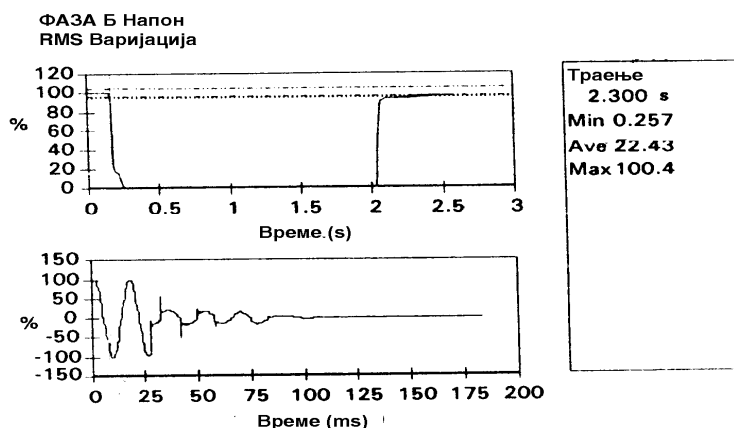
⁵ се мисли на автоматското повторно вклучување кое е вградено во некои прекинувачи.

моментален прекин за време на кој напонот паѓа на околу 20 проценти од вредноста за време од три циклуси, по што опаѓа на вредност нула за околу 1,8 циклуси, се додека не се случи ревклучувањето. Брановиот облик на напонската јама е типичен за грешка пропратена со електричен лак.

2.5.2 Напонски јами

Напонска јама (*sag*) е намалување на ефективната вредност на напонот или струјата, при индустриска фреквенција, на вредност помеѓу 0,1 и 0,9 единични големини, во времетраење од 0,5 циклуси до една минута.

Во терминологијата која се користи во проблематиката со квалитетот на електричната енергија, терминот напонска јама редица години се користи за да се опише краткотрајно намалување на напонот. Иако самиот термин не е формално дефиниран, истиот набрзина беше прифатен од производителите на електрична енергија и од корисниците. ИЕС дефиницијата за овој феномен е *dip*. Двата термини се во синоними, со тоа што *sag* повеќе се преферира во САД.

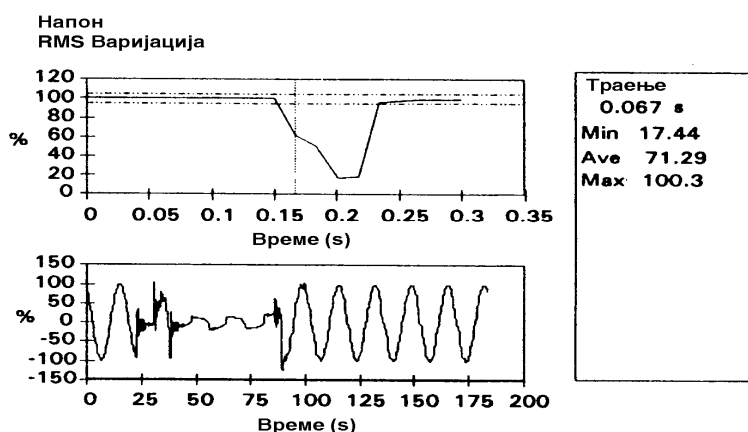


Слика 2.5 Моментален прекин како последица на грешка (куса врска) и операцијата на последователно ревклучување

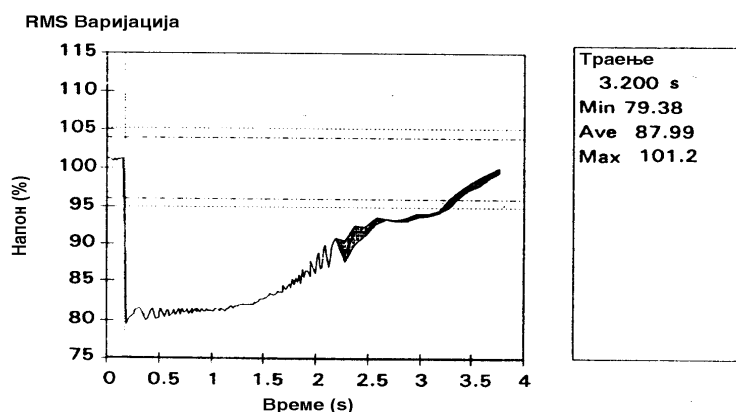
Терминологијата пак, која се користи за опис на величината на напонската јама е често збунувачка. “Дваесет процентна напонска јама” може да се однесува на напонска јама која одговара на напон од 0,8 единични големини или на напон од 0,2 единични големини. Со оглед на тоа, треба да се преферира таква терминологија која нема да остава сомнеж со своето значење, за соодветното напонско ниво: “напонска јама до вредност од 0,8 единични големини” или “напонска јама чија вредност е 20 %”. **Кога не е потенцирано поинаку, 20 %-на напонска јама ќе се смета онаа појава за време на која ефективната вредност на напонот се намалила за 20 %, на вредност од 0,8 единични големини.** Исто така, потребно е притоа да се спомене и прецизира номиналната вредност на напонот, на која се однесува разгледуваната промена.

Напонските јами вообичаено се поврзани со грешки (куси врски) во системот но може да се последица и на ставањето под напон на тешки оптоварувања или стартување на големи мотори. Сликата 2.6 прикажува типична напонска јама што може да и се припише на грешка од типот фаза-земја. 80 %-ната напонска јама трае три циклуси, се додека не се прекине струјата на куса врска во потстаницата. Типичното време на отстранување на грешката трае од 3 до 30 циклуси, а зависи од величината на струјата на куса врска и од типот на прекуструјната заштита.

Сликата 2.7 го илустрира ефектот од стартувањето на голем мотор. Имено, асинхронниот мотор ќе повлече 6 до 10 пати поголема струја од номиналната за време на поаѓањето. Ако величината на струјата е голема во споредба со можностите на системот во таа точка, резултирачката напонска јама ќе биде значителна. Во случајов, напонот пропаѓа на 80 %, по што постепено се враќа на нормала, за околу 3 секунди.



Слика 2.6 Напонска јама, поради грешка од типот фаза-земја



Слика 2.7 Привремена напонска јама, како последица на стартување на мотор

Се до неодамна, времетраењето на појавата напонска јама не беше јасно дефинирано. Типичното времетраење на напонската јама, дефинирано во некои публикации е во рангот од 2 ms (околу една десетина од циклусот) па се до неколку минути. Поднапоните кои траат помалку од

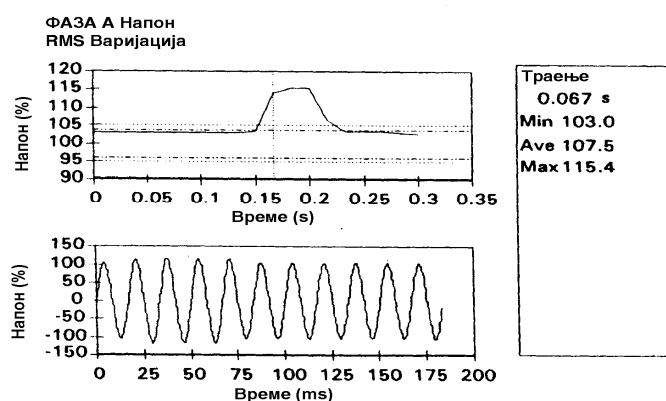
половина циклус не можат ефективно да се карактеризираат преку промена во ефективната вредност на основната фреквенција. Поради тоа, овие настани се сметаат за преодни појави. Поднапоните кои траат подолго од една минута можат да се контролираат од опремата за регулација на напонот и можат да се стават во групата на причини кои не се дефинираат како грешки во системот. Поради тоа, тие се класифицираат како долготрајни варијации.

Времетраењата на напонските јами понатаму се поделени во три категории: миговни, моментални и привремени (0,5-30 циклуси; 30 циклуси-1 сек.; и 3 сек-1 мин.) - што коинцидира со трите категории на прекини и на зголемувања на напонот (*swells*). Вака одбрани траења се во согласност со времињата кои се типични за работата на дистрибутивната заштитна автоматика и се во согласност со траења кои се препорачани од меѓународни технички организации

2.5.3 Зголемувања на напонот, напонски ридови (Swells)

Зголемување на напонот (струјата)-*swell*, се дефинира како пораст на ефективната вредност на напонот или на струјата на 1,1 до 1,8 единични големини, при индустриска фреквенција, во времетраење од половина циклус до една минута. Сметаме дека најадекватен израз а македонски би бил: “напонски рид”.

Како и во случајот со напонските јами, напонските ридови се поврзуваат со состојби на грешки во системот, но тие не се така чести како напонските јами. Еден од начините на кој може да се појави зголемување на напонот е привремениот напонски пораст кај здравите фази, во текот на грешка од типот фаза-земја. Сликата 2.8 е приказ на зголемување на напонот предизвикано од таква грешка. Зголемувања можат да се појават и при исклучувања на големи оптоварувања или при вклучување на големи кондензаторски батерии.



Слика 2.8 Миговно зголемување на напонот, поради грешка фаза-земја

Зголемувањата на напонот се карактеризираат со нивната величина (ефективната вредност) и со времетраењето. Интензитетот на напонското зголемување во текот на состојбата на грешка е функција од локацијата на грешката, импедансата на системот и од видот на заземјувањето на

нултата точка на системот. Кај незаземјен систем, со бесконечна импеданса на нултиот систем, напоните фаза-земја кај незаземјените фази ќе бидат 1,73 единични големини, за време на грешката фаза-земја. Блиску до потстаницата на заземјен систем, ќе има мал или воопшто ќе отсуствува пораст на напонот кај здравите фази, бидејќи трансформаторот во потстаницата обично е поврзан во триаголник-свезда, обезбедувајќи патека со мала импеданса на нултиот систем за струјата на грешка. Кај заземјениот четирижичен систем на низок напон, типично зголемување е 15%.

Терминот моментален пренапон често го користат поедини автори, како синоним за погоре разгледаниот термин-“напонски рид”.

2.6 Напонска несиметрија

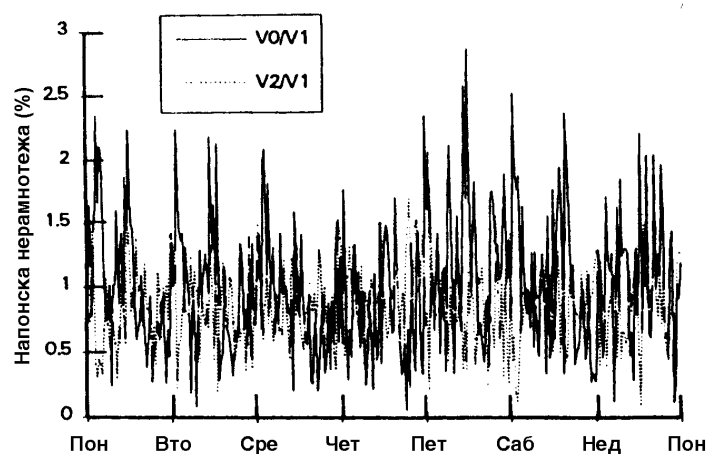
Симетричен 3 фазен систем на напони имаме ако сите три напони се со иста ефективна вредност и фазно се изместени за 120 степени и имаат правилен редослед (директен). Ако било кој од овие услови не е исполнет, системот е несиметричен. Истото важи за еден трифазен систем на струи.

Напонската несиметрија понекогаш се дефинира како максимална девијација од средната вредност на трифазните напони или струи, поделени со средната вредност на трифазните напони или струи, изразени во проценти.

Несиметријата може да се дефинира и со помошта на симетрични компоненти. Односот помеѓу инверзната или нултата компонента и директната компонента може да се искористи да се наведе процентната несиметрија.

Примарниот извор на напонска несиметрија, помалку од два проценти, се еднофазни оптоварувањата во трифазно коло. Напонската несиметрија може исто така да биде резултат на изгорен осигурувач во една фаза кај трифазна кондензаторска батерија.

Сликата 2.9 покажува пример на овие два односа за несиметрија на напојниот вод во еден стан во период на една седмица.



Слика 2.9. Несиметрија на резиденцијален напојувач

2.7 Браново изобличување

Брановото изобличување е дефинирано како отстапување од идеалниот синусен бран при индустриска фреквенција, првенствено карактеризирано со спектралниот состав на отстапувањето.

Постојат пет основни типови на браново изобличување:

- Еднонасочно (dc) изместување
- Хармоници
- Меѓухармоници
- Засеци
- Шум

2.7.1 Еднонасочно изместување

Присуството на еднонасочен напон или на еднонасочна струја, во наизменичен енергетски систем, се нарекува еднонасочно изместување (*dc offset*). Се појавува како последица на геомагнетско пореметување или поради ефектот на полубраново исправување. Уредите за продолжување на векот на траењето на светилките со грејно влакно, на пример, можат да се состојат од диоди кои ја редуцираат ефективната вредност на напонот со кој се напојува светилката токму преку полубраново исправување. Директната струја може да има штетен ефект преку влијанието врз јадрата на трансформаторот, со што тие се заситуваат во нормален режим. Ова предизвикува дополнително загревање и намалување на векот на трансформаторот. Директната струја може исто така да предизвика електролитичка ерозија на електродите за заземјување како и на некои други врски.

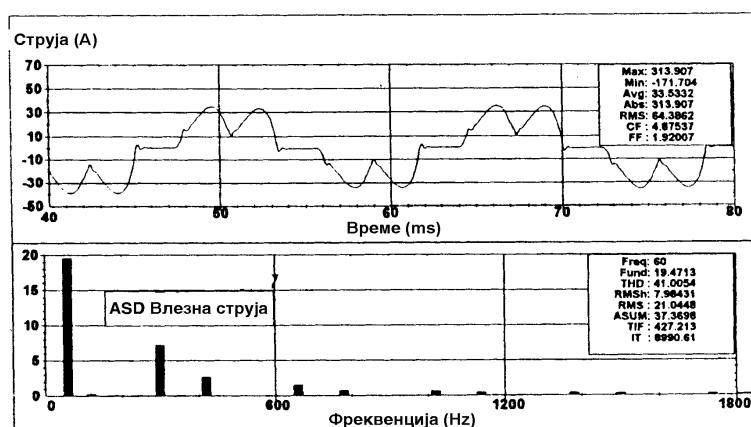
2.7.2 Хармоници

Хармониците се синусоидални напони или струи кои имаат фреквенции кои се цел множител од фреквенцијата на која напојниот систем е предвиден да оперира (означена како *основна фреквенција*; обично 50Hz во Европа и други земји или 60 Hz во Америка и некои други земји). Изобличените бранови можат да се разделат на сума од основната фреквенција и хармониците. Хармониското изобличување потекнува од нелинеарните карактеристики на уредите во енергетскиот систем.

Нивоата на хармониското изобличување се опишани со целосниот хармониски спектар, со амплитудата (поточно, ефективната вредност) и фазниот аголи на секоја поединечна хармониска компонента. Вообичаено е исто така, да се земе целосното хармониско изобличување (*total harmonic distortion* или *THD*), како мерка за ефективната вредност на хармониското изобличување. Сликата 2.10 ги прикажува брановиот облик и хармонискиот спектар на влезната струја на регулиран електромоторен погон. Нивоата на изобличување на струјата можат да се карактеризираат

со THD вредноста, како што е опишано погоре но тоа често може да не измами. На пример, многу регулирани електромоторни погони покажуваат високи THD вредности за влезната струја кога работат под многу слаби оптоварувања. Овде сепак не е неопходна значителна загаженост затоа што величината на хармониската струја е ниска дури и иако нејзиното релативно изобличување е високо.

За да се справи со грижата за карактеризирање на хармониските струи на конзистентен начин, IEEE Standards 519-1992 дефинира еден друг термин, изобличување на вкупната побарана струја (*total demand distortion* или TDD). Терминов всушност е ист со THD , со таа разлика што изобличувањето тука е прикажано како процент од некоја номинална струја на оптоварување, а не како процент од величината на основниот хармоник. Инаку, IEEE Standards 519-1992 дава упатства за нивоата на хармониското изобличување на струјата и напонот во дистрибутивните и преносните системи.



Слика 2.10 Бранов изглед на струјата и хармониски спектар за влезната струја на регулиран електромоторен погон

2.7.3 Меѓухармоници

Напоните и струите кои имаат фреквентни компоненти кои не се целобројни множители на фреквенцијата за која напојниот систем е проектиран да работи (на пример, 50 или 60 Hz), се викаат меѓухармоници. Можат да се појават како дискретни фреквенции или како широк спектар.

Меѓухармониците можат да се сретнат во мрежите од сите напонски класи. Главни извори на меѓухармониско браново изобличување се статичките фреквентни конвертори, циклоконверторите, асинхроните мотори и лачните уреди. Исто така и испраќањето на командни сигнали по енергетската мрежа (т.н. “тонфреквентна команда”)

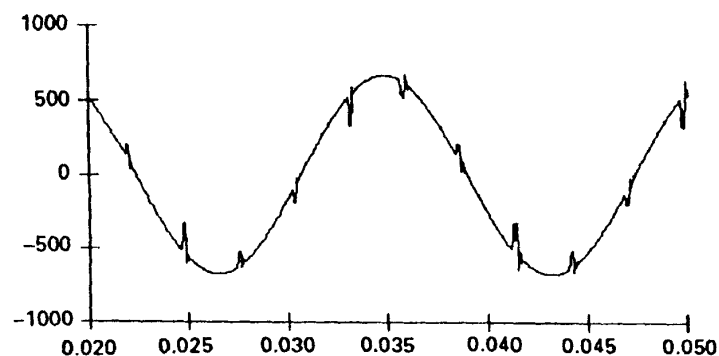
Ефектите од меѓухармониците не се баш добро познати и затоа и не се тука претставени.

2.7.4 Засеци

Засек претставува периодично напонско пореметување кое настанува при нормалното работење на електронските уреди, кога струјата комутира од една во друга фаза.

Со оглед на тоа што засеците се појавуваат континуирано (стационарно), можат да се опишат со помош на хармонискиот спектар на изобличениот напон. Како и да е, генерално се третираат како специјален случај. Фреквентните компоненти поврзани со засеците може да се доста високи и да не можат да бидат доволно карактеризирани со опремата за мерење која нормално се употребува за хармониските анализи.

На Слика 2.11 е прикажан пример на напонски засеци од трифазен преобразувач кој продуцира континуирана еднонасочна струја (значи, исправувач). Засекот се јавува кога струјата комутира од една во друга фаза. Во текот на овој период, има моментална куса врска помеѓу две фази, што го тера напонот на вредност толку блиска до нула колку што дозволува импедансата на системот.



Слика 2.11 Пример на напонски засеци, создадени од трифазен исправувач

2.7.5 Шум

Шумот се дефинира како несакани електрични сигнали, со широкопојасен спектрален состав понизок од 200 kHz, суперпонирани со напонот или струјата од енергетскиот систем во фазните проводници, или појавени во неутралните проводници или сигналните линии.

Шум во енергетските системи може да биде причинет од електронските уреди, контролните кола, лачната опрема, оптоварувањата со исправувачи како и од прекинувачките напојни уреди. Шумот често е последица на неправилното заземјување, кое не успева да го одведе тој шум надвор од системот. Поедноставено, шумот се состои од секое несакано изобличување на енергетскиот сигнал, кое не може да се класифицира ниту како хармониско изобличување ниту како преодни појави. Шумот предизвикува пречки кај електронските уреди какви што се микрокомпјутерот или програмабилните контролери. Проблемот може да се ублажи со користење на филтри и изолациони трансформатори.

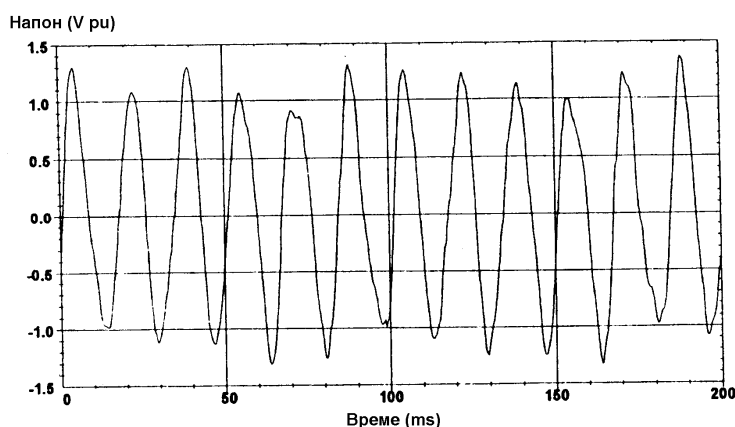
2.8 Флуктуација на напонот

Напонските флуктуации се систематски варијации на напонската анVELOпа или серија на случајни напонски промени, чија величина не ги надминува напонските опсези специфицирани од ANSI C84.1-1982 кои се од 0,9 до 1,1 единична големина.

IEC 1000-3-3 дефинира различни типови на напонски флуктуации. Ние ќе ја ограничime овдешнава дискусија на IEC 1000-3-3 Тип (d) напонски флуктуации, кои се карактеризираат како серии на случајни или континуирани флуктуации на напонот.

Оптоварувањата кои можат да предизвикаат континуирани и брзи варијации на величината на струјата на оптоварување може да предизвикаат варијации на напонот кои често се означуваат како фликер што значи треперење (*flicker*). Терминот е изведен од влијанието на напонските флуктуации на светилките кои предизвикуваат појава на фликер кај човечкото око. Да се биде технички точен, флуктуацијата на напонот е електромагнетна појава додека фликерот е несакан резултат на напонската флуктуација кај некои оптоварувања. Како и да е, двава термини се често поврзани меѓусебно во стандардите. Поради тоа, и овде ќе се користи заедничкиот термин, напонски фликер, за да се опишат таквите флуктуации на напонот.

Пример на напонски бранов облик кој произведува фликер е прикажан на Слика 2.12. Создаден е од лачна печка, една од најчестите причини за напонски флуктуации во електростопанските трансмисиони и дистрибутивни системи. Фликерскиот сигнал е дефиниран со неговата ефективна величина изразена како процент од фундаменталната, $\Delta U / U$. Напонскиот фликер се мери во однос на осетливоста на човечкото око. (Постојат специјални единици за интензитетот на фликерот, кои ќе се објаснат во соодветното поглавје). Типично, величините со големина од 0,5 % можат да резултираат во видлив фликер кај светилката, ако фреквенциите се во рангот од 6 до 8 Hz.



Слика 2.12 Пример на напонски фликер, создаден од лачна печка

2.9 Варијации на фреквенцијата

Варијациите на фреквенцијата се дефинираат како отстапување на основната фреквенција на енергетскиот систем од нејзината номинална вредност (на пример, 50 или 60 Hz).

Фреквенцијата на енергетскиот систем е директно поврзана со кружната брзина на генераторите кои го снабдуваат системот. Постојат слаби варијации на фреквенцијата како последица на промените на динамичката рамнотежа помеѓу генераторот и оптоварувањата. Големината на фреквентното изместување и неговото времетраење зависат од карактеристиките на оптоварувањата и од одговорот на генераторскиот контролен систем на промените во товарот.

Варијациите на фреквенцијата, кои излегуваат надвор од прифатените граници за нормална стабилна состојба на оперирање на енергетскиот систем, можат да бидат причинети од грешки во системот на големите централи, поради исклучување на голем блок на оптоварување или при испад од системот на голем генераторски извор.

Во модерните меѓусебно поврзани енергетски системи, значителните варијации на фреквенцијата се реткост. Фреквентни варијации проследени со последици се можни повеќе во случаите на изолирани генератори од системот (Електрични мрежи со мал обем кои работат независно од енергетскиот систем. Или пак во случај на испад на напојувањето од системот, во едно претпријатие се вклучи сопствен генератор кој го напојува претпријатието, или установата). Во таквите случаи, одговорот на регулацијата на товарот може да биде неадекватен на брзите промени и недоволен за строгите граници кои ги бараат осетливите потрошувачи.

Засеците понекогаш може да се замешаат со фреквентно пореметување. Ако засеците дојдат многу близу до преминит на напонот низ нулата, ќе предизвикаат грешки кај инструменти и управувачки системи чија работа се засновува на одредувањето на минувањето низ нула на напонот, како метода се се одреди времето.