

НАПОНСКИ ВАРИЈАЦИИ И ФЛИКЕР

1. Поим за Фликер, својства и причини кои го предизвикуваат

Фликер е субјективниот впечаток на варирање на густината на осветленоста. Промената на осветленоста пак, е причинета од напонските варирања. Напонските варирања се резултат на промените на падот на напонот на импедансата на мрежата заради промени на оптоварувањата во мрежата. Овие напонски промени кај лампите предизвикуваат промени на густината на светлината (фликер) што евентуално се забележува преку видот како смеѓавање. Во англискиот јазик треперење на осветленоста се нарекува “Flicker” и оттука доаѓа и името на овој феномен. Појавата е многу битен елемент на квалитетот на електричниот напон, бидејќи завлекува во прашањето за здрава животна околина и здравјето на човекот. Силен фликер предизвикува замор, главоболка, намалена работна способност.

Одма да напомниме дека поимот фликер не ги опфаќа сите напонски варијации (промени). Поиот напонски варијации е поширок и ги опфаќа на пример, и бавните напонски варијации кои не предизвикуваат фликер.

Мора да се каже дека во современиот енергетски систем причината за загриженост за фликерот не е само варирањето на осветленоста. Има осетливи потрошувачи како компјутери, инструменти и опрема за комуникации која може исто така негативно да биде повлијаена од оваа појава. Понекогаш овој ефект може да биде присутен иако треперењето на светлината не е битно присутно.

Конкретно, фликерот може негативно да се одрази на овие потрошувачи:

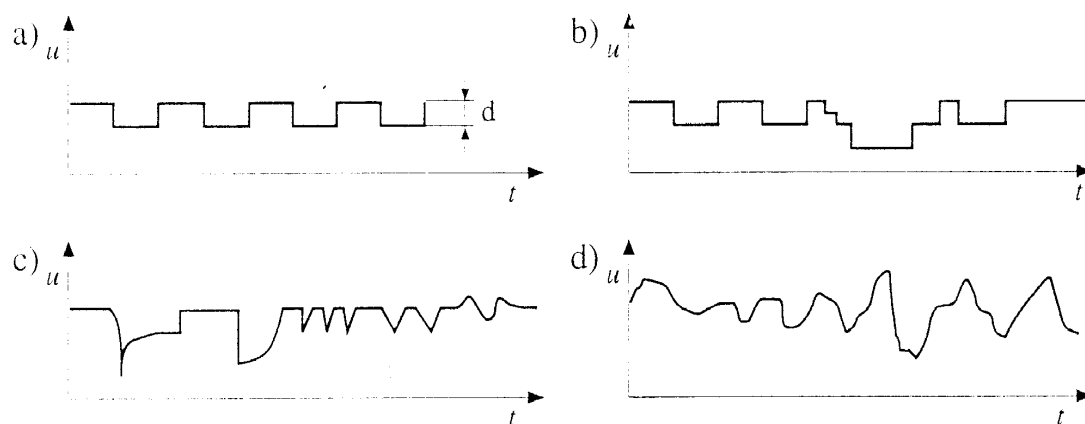
- Регулирани процеси, каде критеријум е фазниот агол на напонот;
- појава на моменти на кочење и забрзување на мотори кои се директно приклучени на мрежата
- влијание на електронски уреди, ако варијациите на напојниот напон се одразуваат на електрониката преку напојниот дел. Праксата покажала дека негативно се одразува врз работата на:
 - компјутери, печатачи, копир апарати;
 - уреди за надзор;
 - управувачки единици, процесни компјутери
 - компоненти на комуникационата техника.

Интензитетот на фликерот зависи од интензитетот на варирањето на напонот (овој обично се изразува како реалтивен пад на напон во %), но и од фреквенцијата на напонските промени. Фреквенцијата може да биде една, дискретна, но може да опфаќа и цел појас на фреквенции, што е почест случај.

Напонските промени кои може да водат кон фликер може меѓу другото да бидат предизвикани со вклучување и исклучување на големи товари, залет на големи мотори, апарати за електроотпорно и лачно заварување, преку пулсовидни товари како што се напр. ексцентар - преси или управување со пакети од осцилации. Во индустриските енергетски системи типичен пример е електролачната печка за топење на старо железо, која работи на наизменична струја. Фликерот може да се јавува

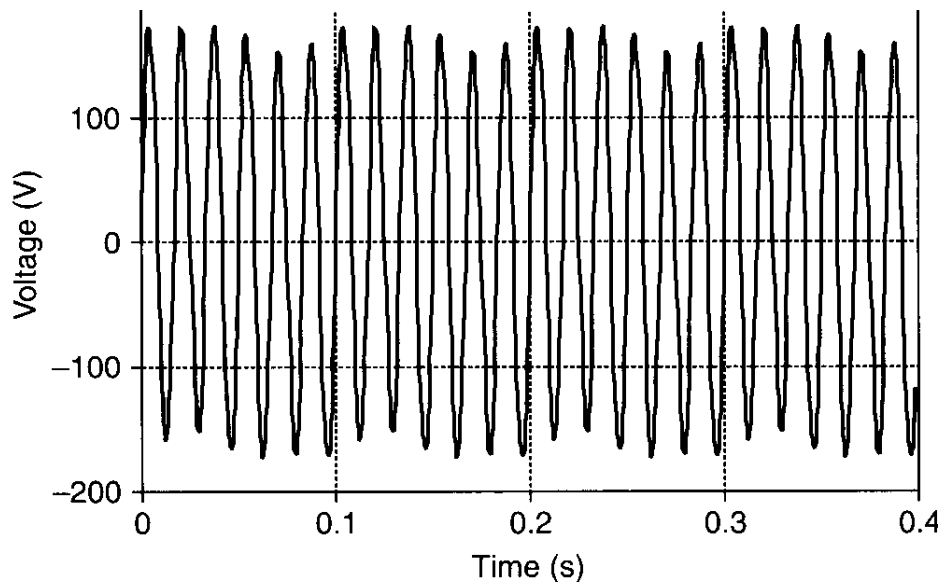
случајно, но и правилно периодично, како на пример кај автоматска машина за точкасто заварување.

На сликата подолу претставени се типични изгледи на напонските промени.



Можни типови напонски варирања: а) Периодична низа на еднакви правилни напонски промени; б) временски неравномерно распределена низа од скоковити напонски промени; в) Низа од напонски промени; д) случајни (стохастички) постојани напонски варијации

Сликата 1 покажува напоен напон во кој има фликер. Гледаме дека тоа е модулиран сигнал - носител, со фреквенција од 60 херци (пример од американска литература), које е амплитудно модулиран со напон со мала амплитуда и со пониска фреквенција.



Сл. 1. Напоен напон во кој има фликер. Номинална вредност на напонот е 120 V, фреквенцијата е 60 Hz. Амплитудата на напонската варијација е 5,9%, а фреквенцијата на напонските промени е 10 Hz (амплитудна модулација).

Можно е да има и термилошка забуна, па напонските јами да се сметаат за фликер. Точно е дека секоја промена на напонот, па и напонската јама предизвикува треперење на осветленоста (фликер). Но сепак напонската јама се третира како посебен феномен. Главната разлика меѓу двата ферномени е што кај напонските јами имаме нециклична примена на

ефективната вредност на напонот (поретко од една на час). Фликерот по дефиниција има цикличен (повторувачки) карактер.

Напонските флукуации кои го предизвикуваат фликерот се карактеризираат со два параметри: напонската амплитуда и фреквенцијата на повторувањето.

Ефект врз луѓето. Светлосниот фликер е психолошки ефект во кој учествуваат и очите и мозокот. Кај оваа појава важни се три механизми:

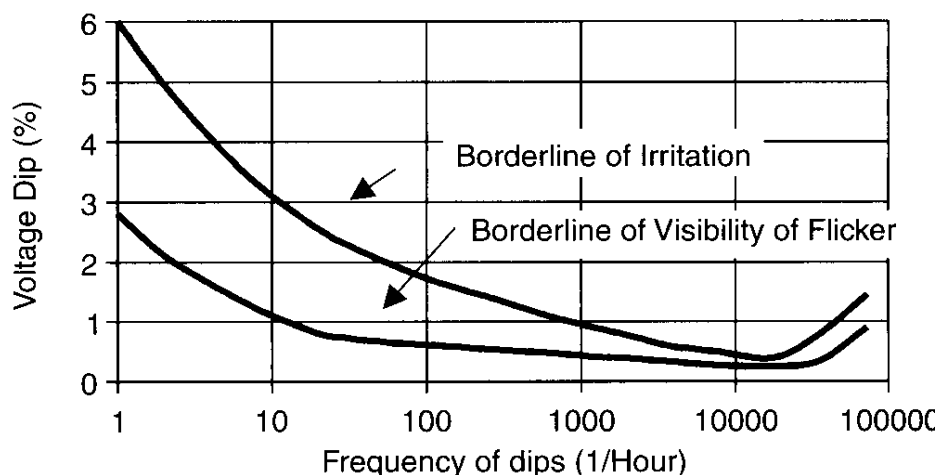
- динамичната карактеристика на лампата
- нелинеарната фреквентна карактеристика на окото – мозокот
- адаптивното време на окото/мозокот.

Овие механизми треба да бидат инкорпорирани во мерниот уред за мерење на фликерот.

Дозволено ниво на фликер. Постои американска и европска традиција на одредувањето на дозволеното ниво на фликер. Напонскиот фликер општо се опишува во однос на треперењето на осветленоста од лампи со вжарено влакно. Во последно време утврдено е дека и кај флуоресцентните лампи се јавува фликер.

Првите истражувања во Америка се спровеле во 1937 г. и како резултат е дадена крива како зависност на интензитетот на цикличните напонски промени во однос на фреквенцијата во случај на лампа со 115 V со влакно од волфрам. При тоа фликерот бил токму на прагот на забележливост. Фреквентниот појас утврден меѓу 1 и 20 Hz. За фреквенции над 40 до 56 Hz својствата на човечкото око/мозок се такви да во процесот на гледање не се јавува смеѓавање, бидејќи настанува “фузија” (слевање) на сликите, па во тоа фреквентно подрачје и погоре нема фликер. Се утврдило дека напонските флукуации од 0,3 V (при ниво на напонот 115V!) ако се при фреквенција 8Hz се приметливи кај 10% од набљудувачите (луѓето). За да се добие забележливост кај 90% од луѓето, напонските флукуации треба да бидат 1V. Критичната фреквенција се утврдила во подрачјето меѓу 6 и 12 Hz.

Во 1930 година истражувањата на General Electric биле насочени кон изнаоѓање на 2 карактеристики: “Забележливост” на фликерот (visibility) и “досадност” (Irritability). Овие две криви долго време биле користени за оценка на фликерот. Покасно и фирмата “Consolidated Edison” предложила слични две криви, кои покасно се усвоени како IEEE стандард, сл. 2 (стандардот IEEE ст. 141 од 1939г).



Сл. 2. IEEE стандард 141 – 1993, крива за забележливост и граница на диосада на фликерот

Покасно, истражувањата во Англија во осумдесеттите години покажале дека човечкото око го забележува фликерот во осветленоста во случај ако фликерот е предизвикан од повеќекратни синусни напонски пореметувања. Човекот го забележува светлосниот фликер како утежнет корен на сума од квадратите на поедините фреквентни компоненти.

Европоскиот пристап е даден во IEC 868 (од 1986), IEC 868 Amendment од 1990 и IEC 61000 – 4 – 15 (1997). Со овие стандарди се предлага и специјален инструмент како анализатор со амплитудна модулација при што носечка фреквенција е мрежната фреквенција, после што следува пост – детекција и band – pass филтрирање со што се имитира реакцијата на системот лампа – око – мозок.

IEC го стандардизира фликерметарот како утежнета крива што го претставува одговорот на човечкото око на светлосните варијации од 60 W 230 V лампа со двојна спирала на влакното (грејно). Излезот од мерачот се дава како единичен фликерен напон, при што единица се смета нивото на перцепција (забележливост) кај 50% од човечквата популација. Фликерот се дефинира како феномен поврзан со лампа со грејно влакно заради нејзината општа употреба и осетливост на светлосниот флуks на напонските промени (фликерот се јавува и кај други типови лампи – осветление, по посилна или послаба мерка).

(Во продолжеток ќе ја изложиме поподробно европската традиција и начин на оценка на фликерот)

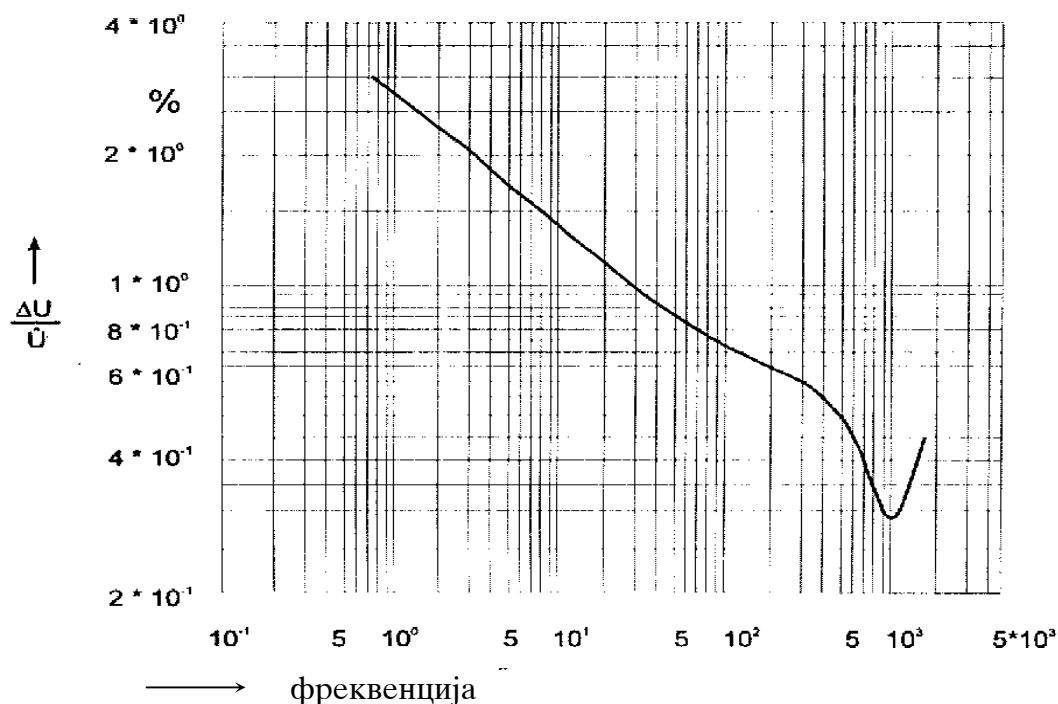
Толерантните граници се одредени врз база на експерименти со луѓе. Така е добиена сликата 1 според DIN VDE 0838 Teil 3. Напонските промени предизвикани од правоаголни суперпонирани варијации опишани со кривата од сл.1, при напојување на лампа со грејно влакно луѓето кои биле анкетирани ги опишале како непријатно смеќавачки. Човечкото око е најосетливо за фреквенција од 18Hz (1080 промени во минута). За такви фреквенции максимално допуштени промени на напонот се 0,3%.

За потребите на анализата, оваа крива може да се опише со приближни формули. Гледаме дека битно влијание за фликерот има релативната промена на напонот $d(t)$ и стапката на повторување r . За да се уважи и вистинската форма на промените (кривата на сл. 1 е добиена за правоаголна форма на суперпонираните промени на напонот) потребни се и дијаграми за **факторот на формата** F на промените.

Овде нема да се задржуваме на начинот на пресметка на релативната промена на напонот. Ако промената на напонот не може да се измери, таа може да се пресмета, ако се дадени податоци за мрежата и за електричните товари и нивните варирања.

Како мерило за фликерот е воведен **смеќавачки фактор за фликер** A . За сите точки од кривата на сл.1 по договор важи $A=1$. Но и секоја напонска промена макар и осамена создава еквивалентен фактор на фликер. Факторите од сите промени и смеќавачки апарати се собираат. Најчесто се употребува фактор на пречки за 10 минутен интервал означен како A_{st} (ознаката доаѓа од $A=annouance$, $st=short term$ = кусотраен фактор). Гранична вредност или ниво на подносливост за A_{st} е $A_{st}=1$.

Има смеќавачки фактори кои делуваат долго време например повеќе часови. За ваквите случаи се допушта помал фактор на пречки бидејќи веројатноста за суперпозиција на пречките е поголема. Така, фактор на пречки за дво часовен интервал се означува со A_{lt} ($lt= "long term"$ = долготраен фактор). За A_{lt} нивото на подносливост е 0.4. Во некои земји се воведени и други фактори означени со симболот P . Помеѓу нив важи следниот однос $A_{lt}=P_{lt}^3$, $A_{st}=P_{st}^3$. Ако некои пречки траат подолго време (повеќе од 30 мин. тогаш има смисла да се одредува A_{lt} во спротивно се одредува A_{st} .)



Сл. 3 Ниво на подносливост за напон модулиран со правоаголни импулси со константна фреквенција. Напонски промени при разна фреквенција кога е $P_{st}=1$.

2. Приближна постапка за одредување на факторите на фликер P_{st} и A_{st}

Можна е упростена пресметка на факторот на фликер земајќи ја предвид и кривата на CENELEC од сл.3

Факторот на пречки кој е предизвикан од една осамена напонска промена може приближно да се пресмета преку таканареченото фликерско време на дополнително делување (flickernachwirkungdauer) t_f :

$$t_f = 2,3s(100dF)^3$$

каде d е релативната промена на напонот во проценти;

F е факторот на формата кој зависи од видот на напонската промена. На пример за напонски скок со бесконечна стрмина е $F = 1$.

2,3s значи 2,3 секунди и е фактор за нормирање.

Резултантниот фактор на пречки A ќе се пресмета како сума на сите фликерски времиња кои настанале во даден интервал на време:

$$A_{st} = \frac{\sum t_f}{10 * 60s}; \quad A_{lt} = \frac{\sum t_f}{120 * 60s} \quad \text{бидејќи } A_{st} \text{ е дефинирано за интервал од } 10, \text{ а } A_{lt} \text{ за 2 часа (120 минути).}$$

Ако фликерот е предизвикан од рамномерни (правилни) напонски промени, кои имаат стапка на повторување r , би добиле:

$$A_{st} = \frac{2,3sr(dF)^3}{600s}$$

Ако напонските варијации се опишуваат со некоја фреквенција, тогаш за стапка на повторување треба да се земе двојна вредност. Тоа значи дека за еден херц одговараат две напонски промени во секунда.

Алтернативно, наместо факторот на фликер A_{st} , се користи и фактор P_{st} . Приближна формула за пресметка на факторот P_{st} е:

$$P_{st} = 0,36dr^{0,31}F$$

Вредностите на факторите A_{st} и P_{st} се во ваков однос:

$$A_{st} = P_{st}^3 \quad \text{и} \quad P_{st} = \sqrt[3]{A_{st}}$$

Според горните равенки излегува дека факторот P_{st} е пропорционален на висината на напонската промена, а факторот A_{st} е пропорционален на стапката на промени r .

Факторот на формата F всушност врши претворање на посебните форми на варирање на напонот во еквивалентни скоковити промени со бесконечна стрмина. Факторите на форма се даваат во стандардите во вид на дијаграми зависно од фреквенцијата на повторување на обликот на варирањето на напонот, за секој вид на варирање во посебен дијаграм (на пример, посебно за правоаголни промени, за триаголни, синусоидални и

други). Неговата вредност е обично број меѓу 0 и 1, а во некои служби оди и до 1,5. За детали, види во стандардите.

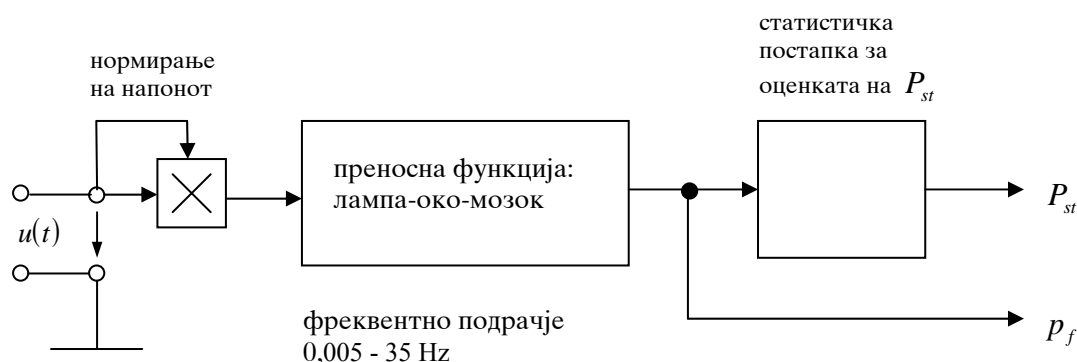
3. Мерни инструменти и мерење на фликер

Во пракса напонските промени се појавуваат неправилно односно стохастички и по амплитуда и по зачестеност. Затоа факторот на фликер не може правилно рачно да се пресмета а може да се измери со компјутерски базиран инструмент во кого со помош на разни филтри и алгоритми се зема предвид физичкиот процес на зрачење на светлината од една лампа со вжарено влакно и физиологијата на окото и осетот за светлина на човекот а врз база на напонските промени. Оваа постапка е предмет за стандарди за инструментот фликерметар. Има и аналогни (постар тип) но и дигитални фликерметри.

Придржувањето кон стандардот има и тешки економски последици и понекогаш е причина за спор меѓу испорачателот на ел. енергија и потрошувачите. Често треба да се утврди кој е причинителот на фликерот и колкав му е износот. А за ова е потребно мерење.

Споменатата материја е регулирана со национални и интернационални стандарди, например DIN VDE0338 Teil 3. Со стандардите се дефинирани и мерните инструменти кои вршат одредено моделирање на емитирањето на светлина на лампите и делувањето на окото и мозокот на човекот.

Во кривата на сликата 1 содржани се физиолошките и психолошките гранични услови на човековото сетило за вид. При експериментите каде е добиена кривата од сл. 1 користена е сијалица со вжештено влакно 230 V 60 W, па така таа крива точно важи само за тие услови.



Блок шема на инструмент фликерметар

Фликерметрите најпрво мора напонските варирања да ги преобразат во една величина наречена „моментален фликер,, притоа земајќи ги предвид преносната функција на сијалицата (напон - светлосен флуks), како и преносната функција која ја содржи окото и мозокот на човекот. Во инструментот тоа е реализирано преку неколку функционални блокови во кои се содржани филтери кои го преобразуваат сигналот. На излезот од тие блокови сигналот го претставува

таканаречениот моментален фликер p_f . Последниот функционален блок врши статистичка обработка на измерената низа од моментален фликер преку постапката за добивање на факторот на фликер P_{st} .

4. Норми и прописи

Како и кај другите аспекти на квалитетот на електричната енергија, и овде има обврски за испорачателот на електричната енергија од една страна, и обврски за корисникот на електричната енергија - потрошувачот. Испорачателот на електрична енергија треба да испорачува таков напон, во кој не е присутен фликер над пропишаниот интензитет. Значи, за напонот мора да бидат запазени граничните вредности за фликерот, или како што стои во литературата на англиски јазик, да бидат придржани референтните нивоа за напонот (на англиски: "Reference Levels", на германски: "Verträglichkeitspegel" во превод: ниво на подносливост). Обврска пак на потрошувачот е да не создава фликер над дозволени граници, односно да не емитира "пречки". Ова во литературата се формулира како обврска на потрошувачот да ги запази "емисионите лимити за фликерски пречки" (на англиски: "Emission limits", на германски: "störspegel einzelgerät" или буквално преведено: ниво на пречки кои ги емитира поединечен уред). Во крајна линија фликерот е предизвикан токму од потрошувачите, и тој е величина која се изведува од напонот, но филозофијата на нормирањето е вкупниот капацитет за апсорпција на пречки на енергетскиот систем да се распредели што поправедно меѓу потрошувачите.

Во долната таблица, врз база на стандардите, дадени се граничните вредности на фликерот и емисионите граници според германските норми (VDE 0839 Teil 2-2; и Teil 2-4, потоа во EN 50160. На пример, во долната табела дадени се обврските и на испорачателот и на корисникот на електрична енергија.

Табела I.

Дозволен Фликер според DIN VDE0338 Teil 3/D6 [1]

дозволен фактор на фликер во мрежа	A_{lf}	A_{st}	d (рел. промена на напонот)
низок напон	0,4	1	---
среден напон	0,3	0,75	---
висок напон	0,2	0,5	---
дозволен фактор на фликер предизвикан од еден клиент во			
нисконапонска мрежа	0,05	0,2	0,03
среднонапонска мрежа	0,05	0,2	0,02
високонапонска мрежа	0,05	0,2	0,02

Одлуката за дозволеност на еден приклучок во ниско, средно или високонапонската мрежа се врши според шемата во наредната таблица. Ако при приклучок на еден потрошувач вредностите не надминат за $A_{st}=0,2$ и за $A_{lf}=0,05$, приклучокот е дозволен. Во исклучителни случаи може да се дозволат за некој потрошувач и поголеми износи. Тоа е можно секогаш кога на истата приклучна точка на мрежата има други

потрошувачи кои своето право на создавање фликерски пречки не го искористиле. Притоа треба да се спазува фактот дека на еден единствен потрошувач за долготрајна емисија на пречките вредноста за A_{lt} не го надмине износот 0,2.

услови за факторите A_{st} и A_{lt}	последици за приклучокот
$A_{st} < 0,2$ и $A_{lt} < 0,05$	дозволено
$0,2 < A_{st} < 0,5$ или $0,05 < A_{lt} < 0,2$	Ограничено дозволено
$A_{lt} > 0,2$	Недозволено. Треба заштитни мерки



Шема за оценка на фликерот

Одново според германските прописи важи следното: Ако е односот на моќноста на куса врска кон моќноста на корисникот која се приклучува поголема од 1000, приклучокот е дозволен. Но ова е од второстепено значење ако приклучокот е еднофазен.

Граничните вредности за емисија на пречки за уреди се сврстени во класи за уреди со $I_N \leq 16A$ и уреди со $I_N > 16A$ (VDE 0838 Teil 5). Овие норми исто така имаат и правила за испитување.

5. Мерки за сузбивање на фликерот

При дадени други услови, интензитетот на фликерот зависи од моќноста на куса врска на енергетскиот систем. При приклучување на нов потрошувач за кој се знае дека би предизвикал фликер (пулсовиден), треба да се утврди следното:

1. Моќноста на пулсовиниот потрошувач (kVA), амплитудата на ударите и нивната фреквенција;
2. Импедансата (или моќноста) на куса врска во дистрибутивниот систем во сите точки нагоре почнувајќи од местото на претпоставеното приклучување на товарот, барајќи така точка во системот доволно крута за варијациите на товарот не би предизвикале битен фликер;
3. Да се утврди дали во очекуваното дистрибутивно подрачје има потрошувачи кои се осетливи на фликер и колкава е нивната осетливост.

Мерките кои се можни за сузбивање на постоечкиот или превенција против потенцијалниот фликер се истите како и секои субтранзиентни пречки, како што се и хармониците, а тоа е пред се обезбедување на

доволно крута напојна точка во енергетскиот систем, така што ефектот на фликер би се добил занемарлив.

6. Примери на измерен фликер во Р. Македонија

Со помош на модерен дигитален инструмент за мерење на некои параметри на квалитетот на електричната енергија во кој е исто така како опција е имплементиран дигитален фликерметар според прописите, вршено е снимање во некои точки од енергетскиот систем во Република Македонија. Подолу се дадени еден пример. Во примерот одредуван е факторот на фликер A_{st} , во мерни периоди од 10 минути. Сликата 5 е снимена на собирниците од висок напон 110 kV во точката на приклучување на електролачната печка во Железарницата во Скопје. Овде истовремено се снимени и тековите на моќностите, активна и реактивна во одводот на печката (за ова не е приложена слика). Се гледа дека временските промени и големи износи на моќноста добро се поклопуваат со временските интервали на голем фликер, а во другите интервали на време фликерот има многу мал износ. Врз основа на тоа заклучуваме дека токму печката го создава тој голем фликер.

Од прикажаниот дијаграм се гледа дека низата измерени вредности прима многу различни вредности, од најмали до најголеми. Некои измерени вредности се многу големи, но тие траат многу кусо време. За оценка на фликерот во светлото на проблематиката на квалитетот на електричната енергија, не се земаат како меродавни ниту најголемите износи, ниту средните, туку таканаречените 95% износи или 99% износи. Тоа значи оние вредности кои владееле во текот на 95% (99%) од мерениот интервал на време, кој треба да е една цела седмица. Она што се јавило во 5% (односно 1%) од времето не се зема предвид. На овој начин се исклучуваат од оценката оние измерени вредности кои се одликуваат со голема амплитуда. Тоа е и логично, бидејќи во текот на една седмица секогаш се случуваат некои недостатоци на напонот кои предизвикуваат (се манифестираат како) огромен фликер. Такви се кусотрајни напонски испади или напонски јами, кои обично не се предизвикани од работата на некои потрошувачи, туку од други причини (атмосферски празнења, куси врски и друго).

