



УНИВЕРЗИТЕТ "СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ"
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ – СКОПЈЕ
Настава на постдипломски студии на проектот:

ЕКОНОМСКИ ИСПЛАТЛИВИ И ЕКОЛОШКИ ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ
(COST EFFECTIVE&ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ENERGY SYSTEMS)

НАСТАВА ПО ПРЕДМЕТОТ:

" КВАЛИТЕТ НА ЕЛЕКТРИЧНАТА ЕНЕРГИЈА " (P O W E R Q U A L I T Y)

Материјал изработен од:
проф. д-р Јовица Милановиќ, УМИСТ-Манчестер
и предавачите на CARDS-универзитетите:
доц. д-р Амир Токиќ, ЕТФ – Тузла,
проф. д-р Владимир Катиќ, ТФ- Нови Сад
проф д-р Ристо Ачковски, ЕТФ – Скопје

Манчестер, Тузла, Нови Сад, Скопје, 2005/2006 г.

III ДЕЛ. ФЛИКЕРИ

(Припремил проф. д-р Ристо Ачковски, ЕТФ – Скопје)

С о д р ж и н а:

- 3.1. ВОВЕД
- 3.2. ФЛИКЕРИ
- 3.3. ИЗВОРИ НА ФЛИКЕРИ
- 3.4. МЕТОДИ ЗА УБЛАЖУВАЊЕ НА ФЛИКЕРИТЕ
- 3.5. КВАНТИФИЦИРАЊЕ НА ФЛИКЕРИТЕ

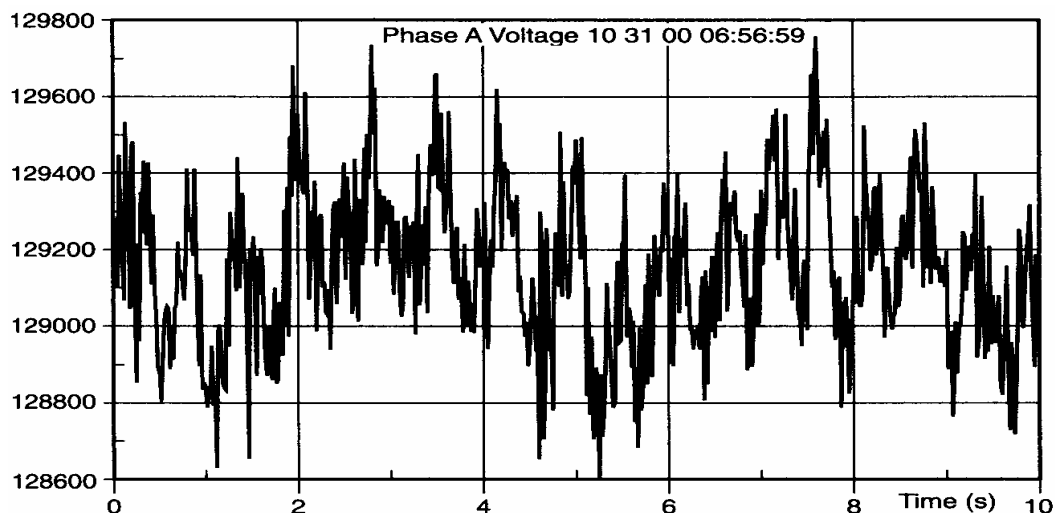
3.1. UVOD

Naponske fluktuacije (kolebanja napona) predstavljaju sistemske varijacije anvelope krive napona ili predstavljaju niz slučajnih promena efektivne vrednosti napona. Pritom veličina tih promena najčešće ne nadmašuje dozvoljeni opseg (prema ANSI C84.1) od 0.9 do 1.1 pu.

Standard IEC 61000-2-1 definiše različite tipove naponskih fluktuacija. Ovde će biti reči više o fluktuacijama tipa (d) koje su okarakterisane kao niz slučajnih ili dugotrajnih fluktuacija (kolebanja) napona.

Potrošači koji uvode brze promene struje opterećenja mogu izazvati varijacije napona koji se često nazivaju *flikeri*. Pojam fliker (treperenje) je izveden od uticaja naponskih varijacija na intenzitet električnog osvetljenja lampi onako kako što fliker zapaža čoveče oko. Korektnije bi bilo reći da je naponska fluktuacija elektromangetska pojava dok je fliker samo neželjeni rezultat tih varijacija. U svakom slučaju oba termina se podjednako upotrebljavaju u standardima. Zato će se u sledećem tekstu najčešće upotrebljavati termin *naponski fliker* i njime će se opisivati pomenute fluktuacije napona.

Na slici 3.1 je prikazan vremenska zavisnost efektivne vrednosti napona koja izaziva flikere. Varijacije su izazvane elektrolučnom peći – jednim od glavnih razloga pojave naponskih fluktuacija u prenosnim i distributivnim sistemima.



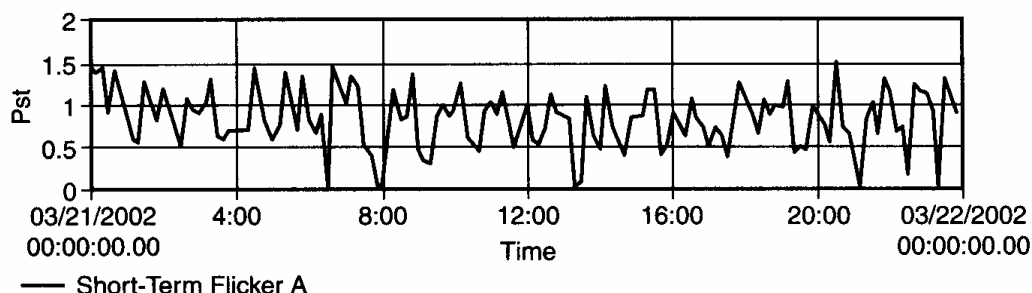
Slika 3.1. Naponske fluktuacije (kolebanja ef. vrednosti napona) izazvane radom jedne elektrolučne peći

Fliker se definiše svojom **efektivnom vrednošću** izražene kao procenat od njegove osnovne vrednosti. Tako, na primer, fliker od 2% označava da se efektivna vrednost napona u datom trenutku razlikuje za 2% od njegove uobičajene vrednosti. Međutim naponski fliker se meri na drugi način tako da on **odražava osetljivost čovečjeg oka** na varijacije svetlosti. Kod čovečjeg oka čak i varijacija napona od **0,5%** može izazvati primetne varijacije svetlosti električnih sijalica ukoliko je frekvencija kolebanja napona između 6 i 8 Hz.

Standard IEC 61000-4-15 definiše **metodologiju za merenje** kao i daje **specifikaciju merne opreme** potrebne za merenje flikera. Merni metod **simulira transfer funkciju** sistema sijalica – oko – mozak i kao rezultat, t.j meru za nivo flikera, daje vrednost nazvana **kratkotrajna osetljivost na fliker (Pst)**. Ova se vrednost normalizira na 1.0. Vrednost 1.0 označava nivo flikera (t.j. nivo naponskih varijacija) dovoljno da izazove treperenje svetlosti koje će biti primetno za 50% ljudi u posmatračkoj grupi.

Postoji i druga mera za flikere, nazvana **dugotrajna osetljivost flikera (Plt)**. Ona se često koristi za verifikaciju nivoa usaglašenosti kvaliteta isporučene električne energije sa nivoom kompatibilnosti određenog standardima i ugovorima sa isporučiocem električne energije. Na izvestan način vrednost Plt predstavlja **prosek** trenutnih vrednosti osetljivosti Pst za određene duže vremenske intervale.

Na slici 3.2 je prikazana promena vrednosti Pst izmerenih na sabirnicama 161 kV transformatorske stanice od kojih se napaja jedna elektrolučna peć. Vrednosti Pst se pritom odnose na 10 minutne intervale. Statističkom evaluacijom procesa definisana mernim standardima obrađuje se trenutno merene vrednosti osetljivosti flikera kako bi se dobila Pst vrednost flikera. Zatim, na osnovu tako dobijenih vrednosti Pst dobija se Plt vrednost flikera na svaka 2 sata.



Slika 3.2. Pst vrednost flikera na sabirnicama jedne 161 kV trafostanice koja napaja elektrolučnu peć. Merenja su vršena u saglasnosti sa IEC Standard 61000-4-15

3.2. FLIKERI

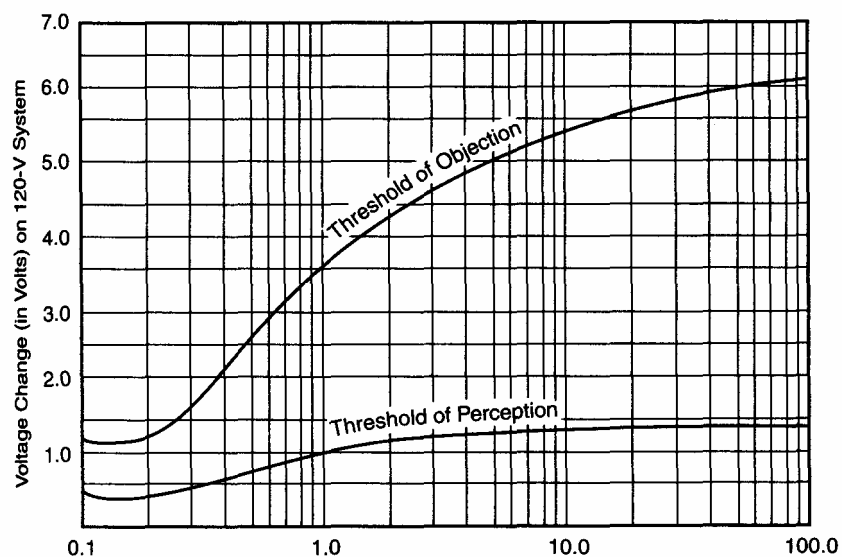
Mada u suštini flikeri ne predstavljaju u tehničkom smislu dugotrajne naponske varijacije, osnovni razlog njihovog postojanja je isti – sistem je i suviše slab da bi podneo teret. Neka od rešenja problema sa flikerima su, takođe, ista kao i kod rešavanja problema sa dugotrajnim naponskim varijacijama. Varijacije napona koje su rezultat flikera su najčešće u granicama normalnih odstupanja napona ($U_n \pm 10\%$) ali su te **promene isuviše brze** tako da one **izazivaju iritaciju** pojedinih krajnjih korisnika električne energije.

Fliker je relativno stari problem koji je odavno bio predmet zapažanja i interesovanja korisnika električne energije. On je u poslednje vreme potencirano u fokusu interesovanja zbog sve veće aktuelnosti pitanja koja se tiču kvaliteta električne energije – opšte. Prva razmišljanja o flikerima su u dalekim 1880-tim godinama kada je još uvek postojala dilema dali koristiti naizmeničnu ili jednosmernu struju. Još se onda znalo da naizmenična struja niske frekvencije izaziva treperenje svetlosti t.j. fliker. Da bi se izbegao ovaj problem, onda je odlučeno u Severnoj Americi ići na frekvenciju 60 Hz kao standard za naizmeničnu struju.

Termin **fliker** ponekad predstavlja **sinonim za naponske fluktuacije** (t.j. kolebanja efektivne vrednosti napona), naponski fliker (**voltage flicker**) i svetlosni fliker (**light flicker** ili **lamp flicker**). Pojava na koju se on odnosi se može definisati kao **kolebanje (fluktuacija) napona** koje može izazvati primetne promene intenziteta električnog osvetljenja (flickering). Pošto je fliker uglavno problem zapažanja oka on se tretira kao problem čovečje percepcije.

Na početku XX veka su vršena brojna istraživanja uticaja flikera na ljudsko oko kako bi se odredile nivo zapažanja i nivo primedbi flikera svetlosti. Različite kompanije su na osnovu takvih istraživanja dobijale različite zavisnosti nivoa tih prihvatljivih naponskih fluktuacija od njihove učestanosti. Jedna od takvih zavisnosti, dobijena u **1937 god.** je prikazana u formi krivih na slici 3.3. Dobijena je na osnovu istraživanja uticaja flikera na **21 grupe** posmatrača. Kako bi se vodilo računa o prirodi flikera, posmatrači su bili izloženi na različite oblike naponskih fluktuacija, zatim na različite nivoe osvetljenja, na različite vrste osvetljenja itd.

Flikere je moguće podeliti u dva osnovna tipa: **ciklične (periodične)** i **neciklične**. Ciklični flikeri su rezultat periodičnih fluktuacija napona u sistemu dok su neciklični flikeri rezultat slučajnih naponskih fluktuacija.



Slika 3.3. Zavisnost vrednosti flikera (naponske fluktuacije) od frekvencije ponavljanja, prema istraživanjima iz 1937 godine

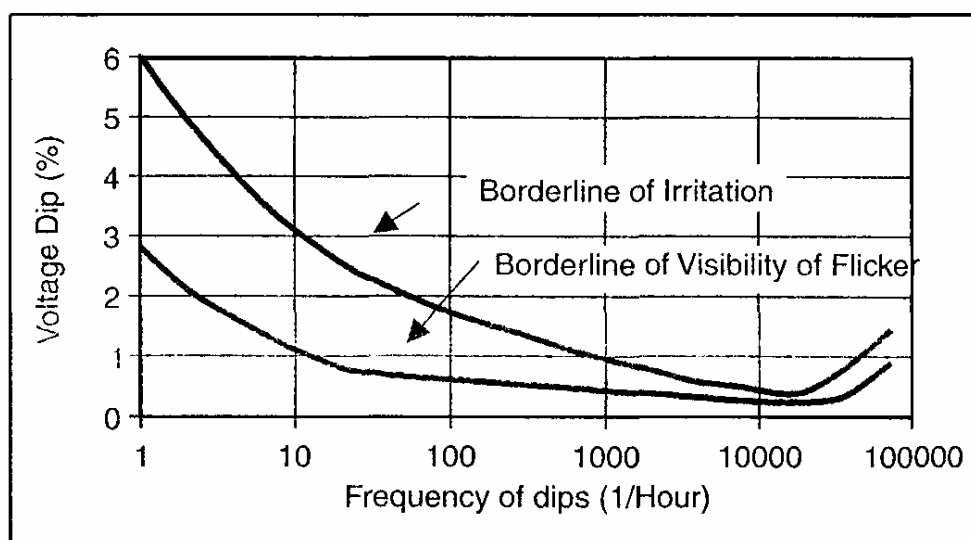
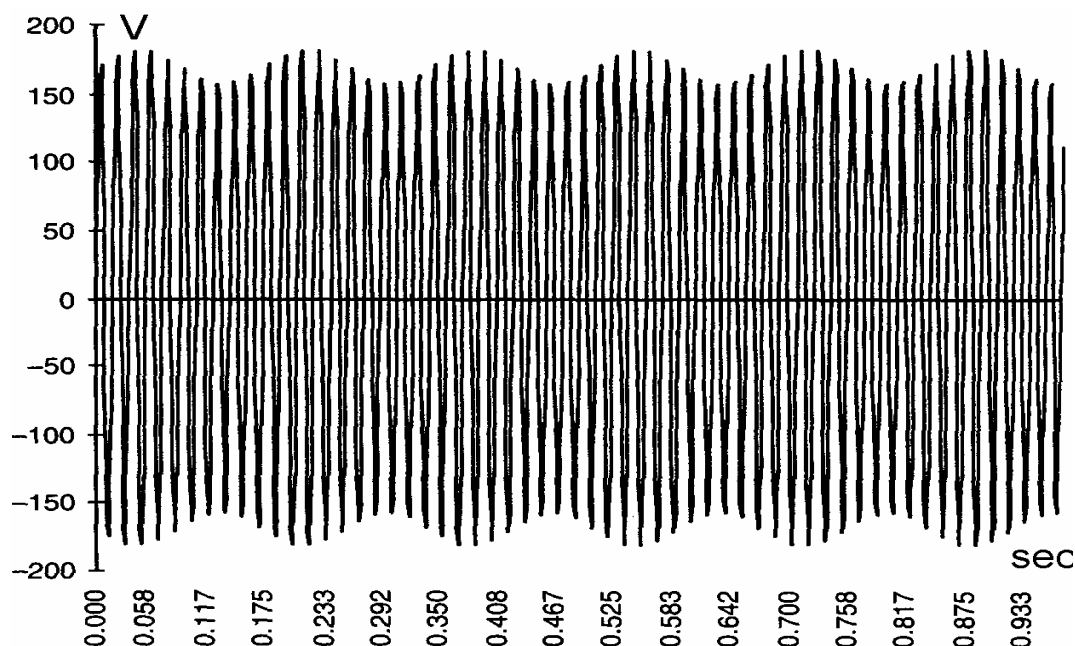


Figure 2. IEEE Standard 141-1993 curve of borderlines of visibility and irritation

Slika 3.4. Zavisnost vrednosti flikera od frekvencije ponavljanja prema amričkom standardu IEEE 141 od 1993 godine

Na slici 3.5. je prikazan ciklični fliker sinusne forme. Ovaj tip flikera je amplitudno modulisan pri čemu je glavni signal noseća frekvencija (koja kod nas iznosi 50 Hz) dok je fliker modulisani signal.



Slika 3.5. Primer oblika flikera kod cikličnih fluktuacija

Flikeri se najčešće izražavaju u % od normalnog radnog napona. Pritom se procentualna modulacija flikera izražava kao:

$$\text{procentualna naponska modulacija} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_0} \cdot 100, \% .$$

gde su:

V_{\max} - maksimalna vrednost modulisanog signala,

V_{\min} – minimalna vrednost modulisanog signala,

V_0 – prosečna vrednost normalnog radnog napona.

Fliker se, isto kao i naponska modulacija, izražava u %, najčešće kao procentualna naponska promena u odnosu na prosečni radni napon ($\Delta V/V$) za određeni vremenski period.

Frekventni sadžaj flikera je od osobite važnosti za utvrđivanje nivoa njegovog zapažanja (ili nivoa iritacije). Tipične vrednosti frekvencija naponskih fluktuacija kod flikera koje čoveče oko zapaža su u opsegu od 0.5 do 30 Hz sa veličinom naponskih varijacija reda 1% ili manje. Kao što se može videti sa slika 3.3 i 3.4 čoveče oko je najosetljivije na naponske fluktuacije sa frekvencijom u opsegu od 5 do 10 Hz. Sa povećanjem frekvencije flikera iznad 10 Hz, kao i sa njenim smanjenjem ispod 5 Hz, čoveče oko postaje sve više neosetljivije na naponske fluktuacije.

Prema američkim standardima IEEE 141 i 519, smatra se da u sistemu postoje flikeri ukoliko su procentualne naponske fluktuacije veće ili jednake vrednostima koje očitavamo sa slike 3.6.

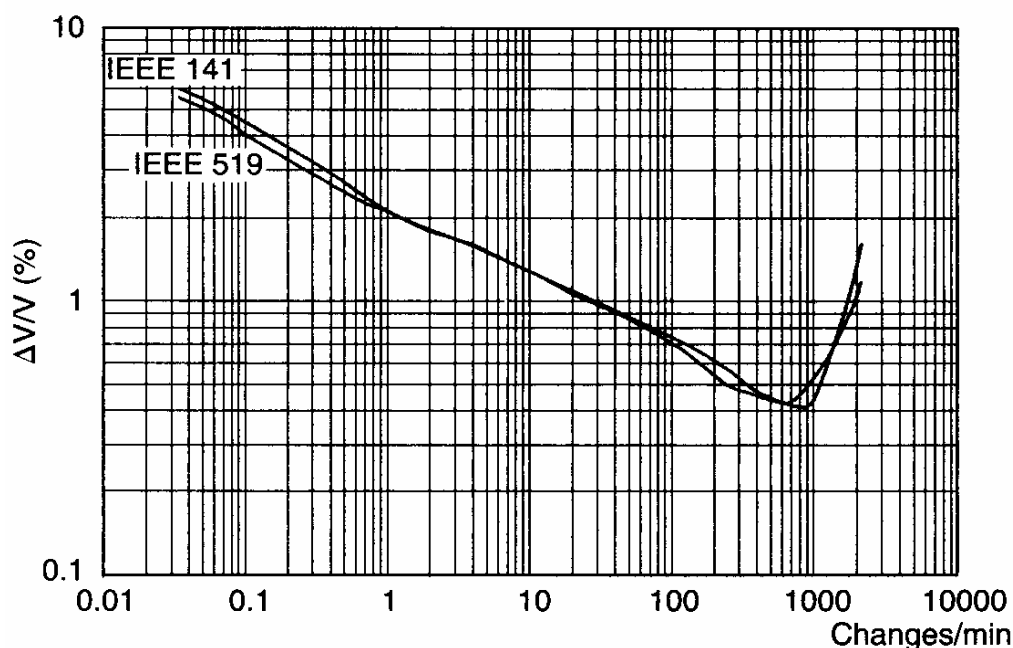


Figure 11.16 Flicker curves from IEEE Standards 141 and 519.

Slika 3.6. Krive dozvoljenih vrednosti naponskih fluktuacija od njihove frekvencije, prema Standardima IEEE-141 i 519

3.3. IZVORI FLIKERA

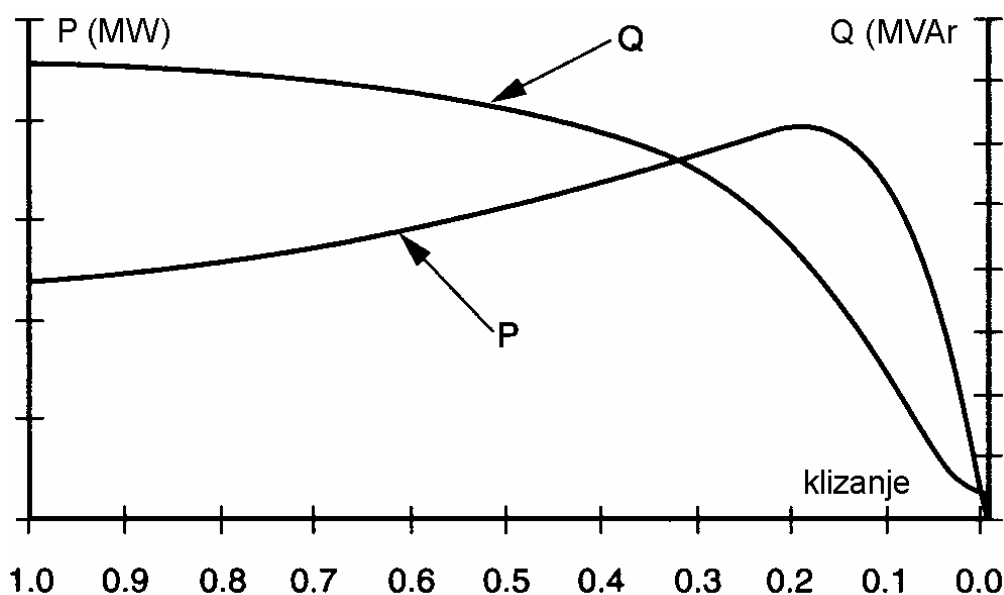
Flikeri se obično javljaju u sistemima koji su **relativno slabi** u odnosu na snage potrošača koji se preko njih napajaju, dakle u sistemima sa relativno malim odnosom snaga kratkog spoja i snaga potrošača. Kada u jedan takav sistem postoji potrošač sa jako promenljivim opterećenjem dolazi do primetnih varijacija napona. Kada se frekvencija tih naponskih fluktuacija nalazi u napred specificiranom opsegu to će **izazvati primetne** pa čak i **iritirajuće flikere**, t.j. treperenja svetlosti kod svih potrošača koji su blizu tog potrošača u električkom smislu. Da li će naponske fluktuacije izazvati primetne i iritirajuće flikere zavisi od sledećih parametara:

- od snage potencijalnih izvora flikera,
- od vrednosti impedanse sistema (t.j. od snage trofaznog k. spoja),
- od frekvencije rezultirajućih naponskih fluktuacija.

Glavni izvori flikera u sistemu su najčešće **elektrolučne peći**. Oni su nelinearni i vremenski promenljivi potrošači koji generišu

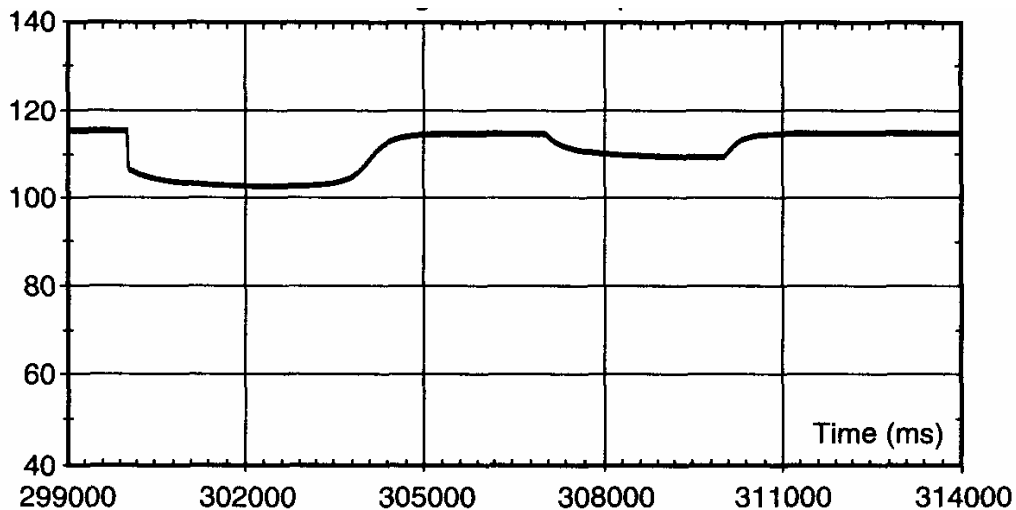
velike naponske fluktuacije i harmonijske distorzije. Prilikom njihovog rada najveće naponske varijacije se obično događaju na samom početku procesa topljenja rude. U tom početnom periodu delovi čelične rude mogu premostiti međuprostor između samih elektroda peći što dovodi do kratak spoj na sekundarnoj strani transformatora preko kojeg se napaja elektrolučna peć. U tom početnom periodu topljenja rude se generišu flikeri frekvencije od 1 do 10 Hz. Kada se početni proces topljenja završi, nastupa faza rafinacije kada se električni luk može održavati stabilnim što rezultira stabilnim trofaznim opterećenjem sa relativno visokim faktorom snage.

Drugi izvor flikera su veliki asinhroni motori u fazi upuštanja u rad. U periodu njihovog startovanja dolazi do velikih promena struje koje motor povlači iz mreže (i koja može biti i nekoliko puta veća od njene nazivne vrednosti) kao i varijacija momenta koji se razvija na osovini motora (slika 3.7). Sve to dovodi do pojave promenljivih padova napona u mreži kao rezultat čega su velike naponske fluktuacije (slika 3.8). Smanjenje tih fluktuacija je moguće ako se izbegava direktno upuštanje motora u rad već njegovo upuštanje preko prigušnica, specijanih transformatora ili specijalnih upuštača za tzv. mekani zalet, preko startera sa smanjenim naponom upuštanja i sl.



Slika 3.7. Aktivna i reaktivna snaga motora tokom upuštanja

Ponekad se flikeri javljaju usled superpozicije osnovnog harmonika napona sistema i međuharmonika (interharmonika) napona generisanih od frekventnih konvertora, ciklokonvertora, elektrolučnih i indukcionih peći u mreži i dr. Ovi flikeri se mogu zapaziti ne samo kod sijalica sa usijanim vlaknom već i kod fluorescentnih sijalica.



Slika 3.8. Naponske fluktuacije izazvane upuštanjem motora

3.4. UBLAŽAVANJE FLIKERA

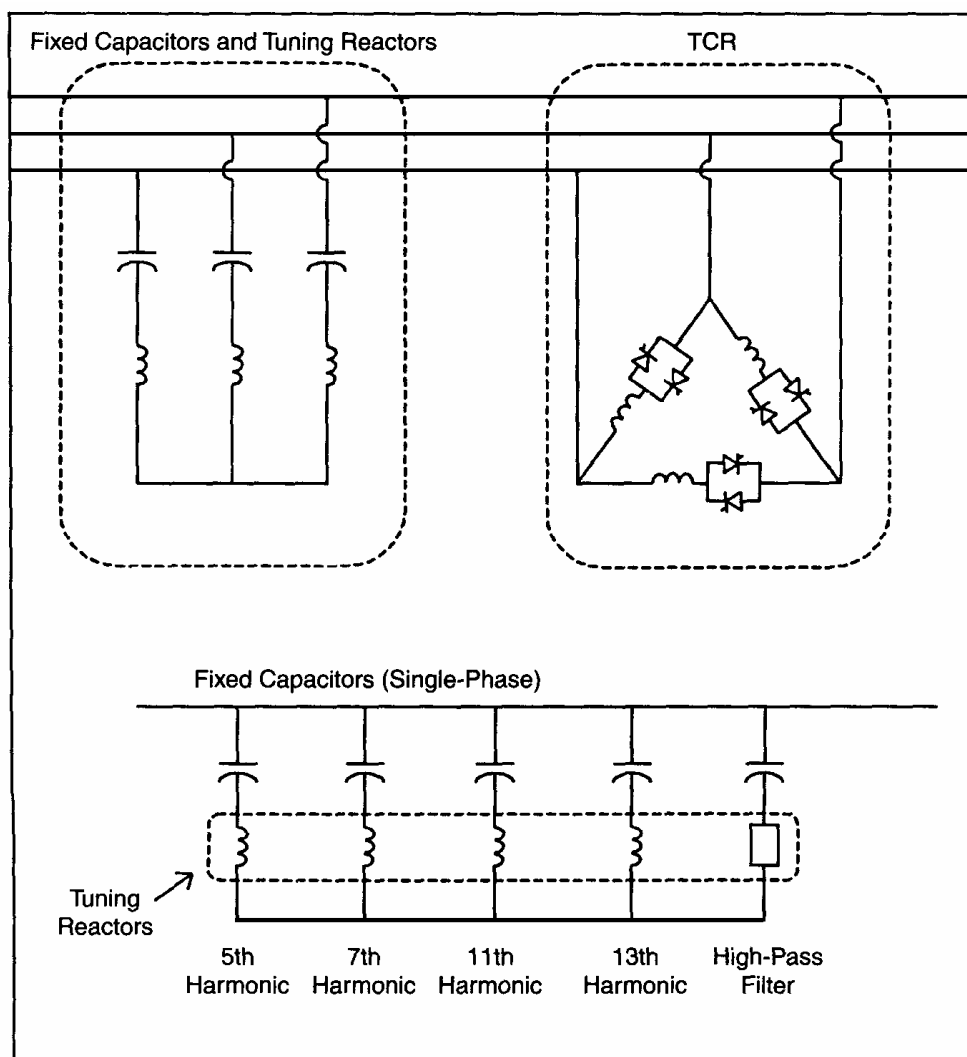
Postoje više **moćnosti** (opcija) za smanjenje flikera u mreži:

- primena **statičkih kondenzatora**,
- primena **prekidačkih uređaja** baziranih na energetske elektroniku,
- **povećanje prenosnog kapaciteta** napojnog sistema i dr.

Koji će način biti izabran, zavisi od veći broj faktora kao što su: tip potrošača koji proizvodi flikere, prenosni kapacitet napojnog sistema, potrebna sredstva za ublažavanje problema sa flikerima i dr. Evo nekih od najčešće primenjivanih načina za borbu sa flikerima u mreži:

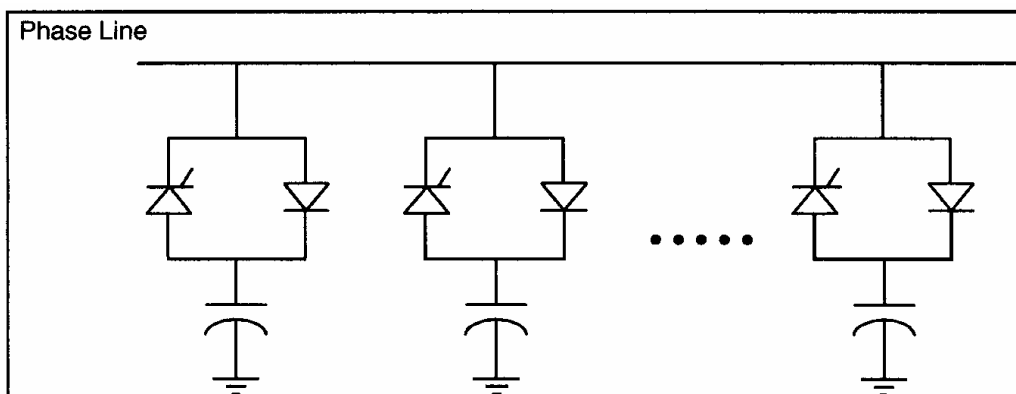
- **Povećanje propusne moći sistema** (Upgrading the system).
- **Modifikacije velikih motora** (Motor modifications).
- **Primena rednih prigušnica** (Series reactors application).
- **Primena rednih kondenzatora** (Series capacitors application).
- **Primena poprečnih kondenzatora** (Shunt capacitors application).
- **Primena upuštača za velike motore** (Motor step starters).
- **Primena statičkih kompenzatora reaktivne snage** (Static var compensators SVCs application).
- **Primena tiristrosrki prekidanih kondenzatora** (Tiristor switched capacitors TSCs application).

Na slici 3.9 je prikazana tipčna konfiguracija jednog statičkog kompenzatora reaktivne snage (SVC).



Slika 3.9. Konfiguracija statičkog kompenzatora SVC

Na slici 3.10 je prikazana tipčna konfiguracija jednog statičkog kompenzatora reaktivne snage (SVC).

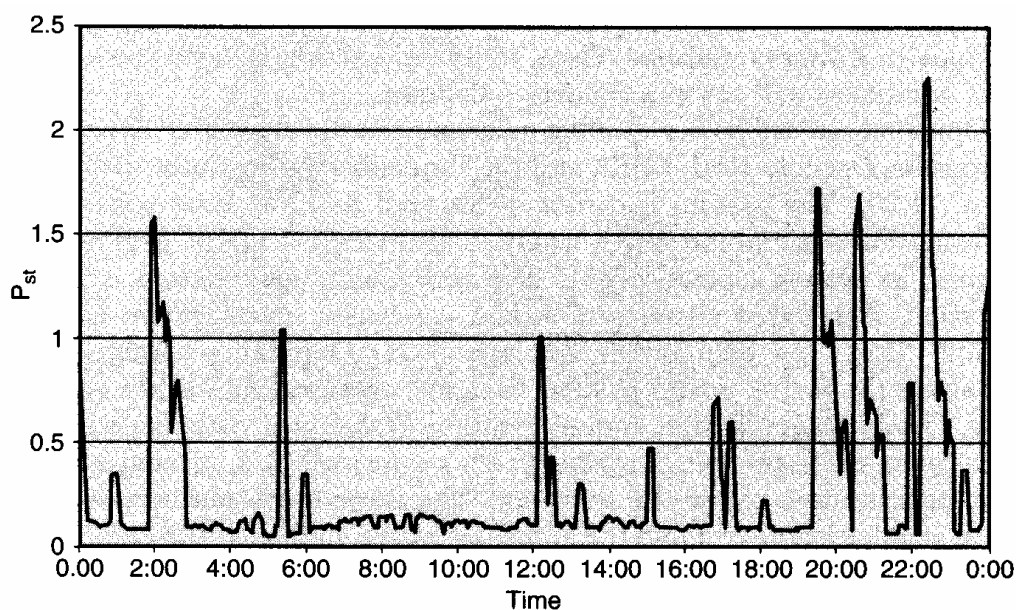


Slika 3.10. Tipična konfiguracija tiristorski prekidanih kondenzatora (TSC)

3.5. KVANTIFIKACIJA FLIKERA

Flikeri su bili prvi problem u domenu područja kvaliteta električne energije (PQ), mnogo pre no što se uopšte uveo pojam kvaliteta (PQ). I pored toga prošlo je dosta vremena sve dok se nisu razvili i uspostavili odgovarajući načini za procenu i kvantifikaciju nivoa flikera. Evropske zemlje su već usvojile standardnu metodologiju za merenje flikera. Ona je opisana u IEC Standard 61000-4-15 (ranije IEC 868). Amerikanci rade na usvajanju ove metodologije, prilagođene za njihove uslove (120 V nasuprot evropskog standardnog napona 230 V). U odgovarajućoj stručnoj literaturi su detaljno opisane moderne tehnike i uređaje koji služe za merenje i kvantifikaciju flikera na kojima bazira pomenuti evropski standard.

Princip rada evropskog fliker-metra opisan pomenutim standardom IEC 61000-4-15, koji se sastoji od 5 bloka, je prikazan na slici 3.12. Rezultat dobivenih merenja naponskih fluktuacija u toku jednog dana, izražen preko ranije definisane P_{st} vrednosti flikera, sa rezolucijom od 10 minuta, za sabirnice sa kojih se napaja jedna elektrolučna peć, je prikazan na slici 3.11.



Slika 3.11. Varijacije flikera napona u toku dana
izmerene flikermetrom

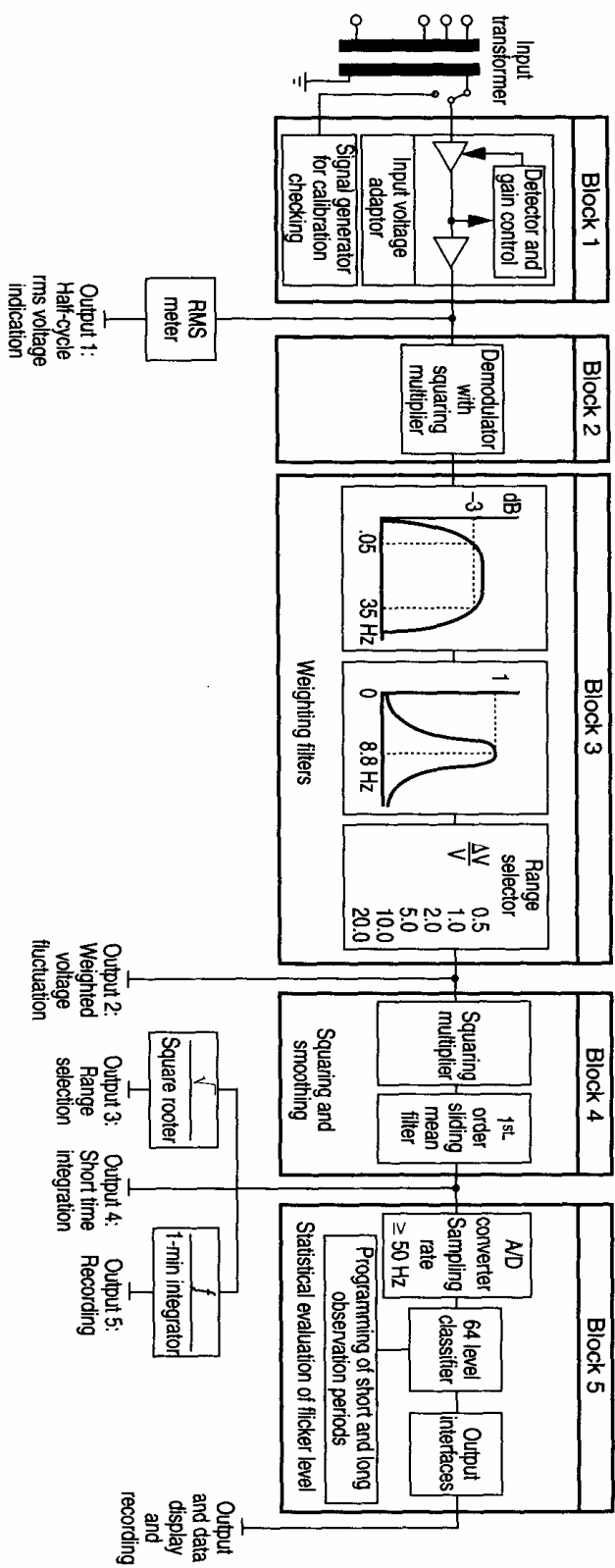


Figure 11.18 Diagram of the IEC flicker meter.

Slika 3.11. Blok-dijagram evropskog fliker-metra