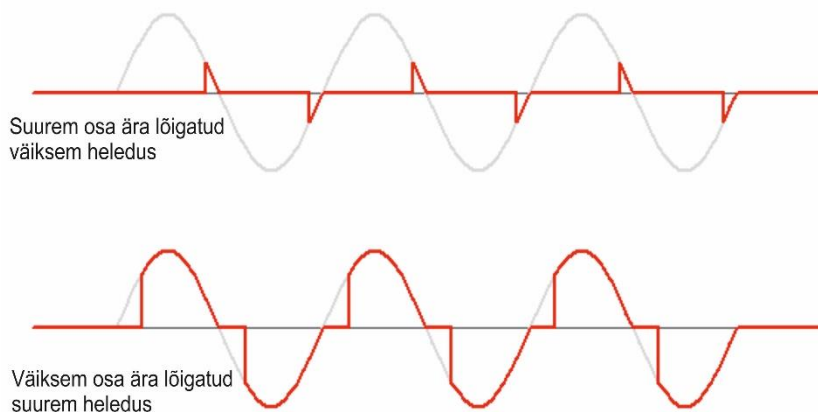


MIS ON PULSLAIUSMODULATSIOON ehk LED'IDE HELEDUSE REGULEERIMISE ALUSED.

Käesolev kirjatükk kirjeldab, mis on LED valgusallikates LED'i heleduse reguleerimiseks kasutatav pulsilaiusmodulatsioon (*ingl. Pulse Width Modulation -PWM*) ja mille poolest see erineb hõõglampide heleduse reguleerimisest. Saame teada, et pulsilaiusmodulatsiooni korral LED'ile langev pinge on kas maksimaalne või null, sujuvalt seda ei muudeta. LED'i näivat heledust muudetakse seda kiiresti sisse-välja lülitades, kusjuures mida lühemat aega LED põleb, võrreldes kustunud olekuga, seda hämaram see silmale tundub. Vaatleme ka, milline võiks olla selle sisse-välja lülitamise sagedus, millised on selle sageduse bioloogilised mõjud ja kuidas see mõjutab pildi- ja videosalvestusseadmete tööd.

Kõigepealt pisut ajaloost. Hõõglampide puhul on hämardamisel seni olnud valdavaks meetodiks lambile langeva toitepinge muutmine. Levinuim ja odavaim tehnoloogia on selle meetodi korral olnud nn. faasijuhtimisega dimmerid, kus enamasti sümistoriga abil lõigatakse ära vahelduvpinge iga poolperioodi algusest muudetava laiusega osa (joonis 1). Sõltuvalt sellest, kui suur osa ära lõigati, muutub lampi läbiv keskmine vool ja koos sellega lambi heledus.

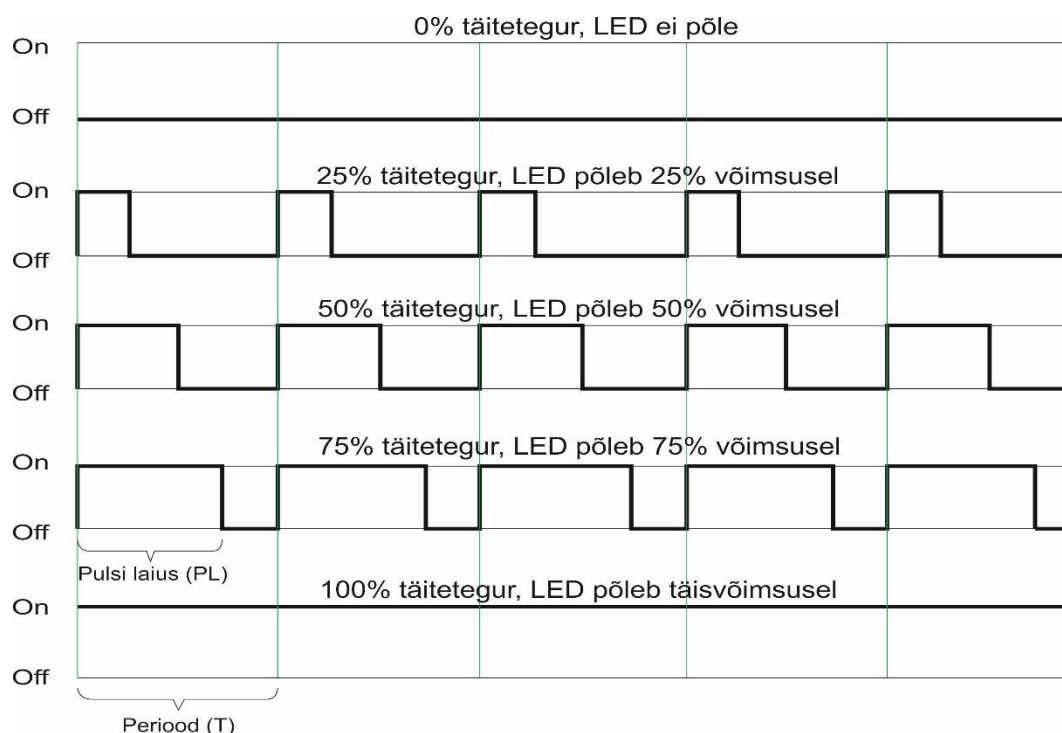


Joonis 1.

Kuigi, nagu jooniselt 1 näha, selle meetodi puhul vool läbi lambi igas poolperioodis mõnda aega puudub, pole see hõõglampide puhul probleemiks, kuna hõõglampidel on olemas inertts, st. lamp ei kustu kohe, kui vool läbi hõõgniidi kaob. Põhjuseks on see, et hõõglambis tekib valgus soojuse toimel ja voolu hetkelisel puudumisel ei suuda hõõgniit nii kiiresti jahtuda. Seetõttu hõõglamp ei vilgu märgatavalt isegi siis, kui ära on lõigatud suur osa poolperioodist (joonis 1, ülemine graafik).

Valgusdiodid, vastupidiselt hõõglambile, lülitub sisse ja välja väga kiiresti, probleemiks pole megahertsised sagedused, ehk miljon korda sekundis. Seetõttu on valgusdiodid voolu puudumisel ka päriselt kustunud ja ülaltöödud hämardamisemeetodi kasutamisel vilgub silmnähtavalt. Lisaks, nagu sõna "diod" valgusdiodi nimes ütleb, laseb valgusdiodid voolu läbi vaid ühes suunas, st. et see vajab töötamiseks alalis- mitte vahelduvpinget. Muidugi ei tööta valgusdiodid ka võrgupingel ja vajab toiteahelasse pingemadaldajat. Valgusdiodide kasutatavates valgustites, kus kasutatakse erinevat värvi valguse saamiseks RGB värvisegamist, on meetod, kus muudetakse valgusdiodi läbivat voolu, vastunäidustatud ka sellepärast, et eri värvi valgusdiodide pinge-voolu sõltuvused on pisut erinevad, mistõttu voolu samaaegsel vähendamisel kõigis diodides valgustist väljuva valguse värvus pisut muutub. Eeltoodud arvesse võttes on jõutud järeldusele, et valgusdiodi hämardamisel

oleks parim meetod eelpool mainitud pulsilaiusmodulatsioon. Selle meetodi korral on valgusdiodile langeval pingel vaid kaks väärtust, valgusdiodi nimipinge ja null. Pulsilaiusmodulatsiooniga saab määrata aja, kui kaua on pinge kõrges olekus, ehk see võimaldab muuta pinge kõrge ja madala oleku osakaalu (joonis 2).



Joonis 2.

Seda, kui pikalt on pinge ühes perioodis kõrges olekus, kirjeldab täitetegur D , mis on pulsi laiuse ning pinge perioodi suhe ($D = PL/T$). Protsentides väljendatav täitetegur näitab, kui suure osa ajast ühes perioodis on pinge kõrges olekus (joonis 2). Pulsilaiusmodulatsiooni puhul tähendab madal täitetegur madalat keskmist pinget ja voolu. Kui täitetegur on suurem kui 50%, on pinge rohkem aega kõrges kui madalas olekus. Kui täitetegur on väiksem kui 50%, on pinge rohkem aega madalas kui kõrges olekus. 100% täitetegur tähendab, et valgusdiodile rakendatav keskmine pinge on võrdne nimipingega ja valgusdiodid põleb täie heledusega. 0% täitetegur tähendab, et valgusdiodile rakendatav keskmine pinge on null ja valgusdiodid ei põle.

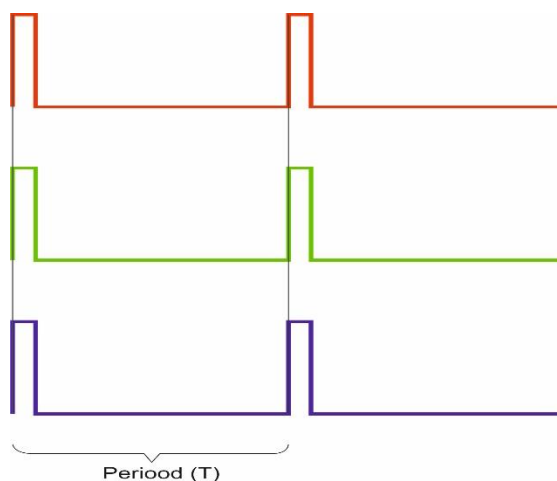
Eespool juba oli juttu, et võrgusagedusel (50 Hz) sisse-välja lülituv valgusdiodid vilgub silmnähtavalt. Milline peaks siis olema lülitussagedus, et silm enam vilkumist ei registreeriks? Siin päris ühest vastust ei ole, sest inimeste silmad on erinevad. On kindlaks tehtud, et keskmise inimese "vilkumissulandumise kriitiline sagedus" (ingl. *critical flicker fusion frequency*) on umbes 100 Hz, ehk kui valgus vilgub sagedamini, kui sada korda sekundis, siis tajub inimene valgust pidevana ehk mittevilkuvana. Siin aga tuleb arvestada sellega, et "keskmisi" inimesi on väga vähe, näiteks on kindlaks tehtud, et mida väiksem inimene, seda kõrgemal sagedusel vilkumist ta tajub, st "keskmise" laps tajub valguse vilkumist ka siis, kui "keskmise" täiskasvanu enam mitte. Oluline on ka teada, et silma võrkkesta keskosas tihedamalt paiknevad nn. "kolvikesed" tajuvad vilkumist vähem, kui võrkkesta ääreosas enamuses olevad "kepikesed", mistõttu on vilkumine rohkem märgatav perifeerse nägemise korral ehk siis, kui valgusallikas jääb nägemisvälja serva. Lisaks väidavad mitmed uurimused, et vilkumine on tajutav kõrgematel sagedustel (isegi kuni 2000 Hz) kui kas silm või valgusallikas liiguvad kiiresti. Sealjuures ei pea silm liikuma suure amplituudiga, piisab ka silma mootorikale omasest mikroliikumisest e. mikrosakaadilistest liikumisest (ingl. *saccade*). Inimestel, kes selliseid kõrgsageduslikke vilkumisi tajuvad, võib tekkida pikemalt sellise valgusallika valguse käes viibides ebameeldivaid kõrvalnähte, näiteks kiirem väsimine ja peavalu. Uuringud väidavad, et igasuguse bioloogilise mõju puudumiseks peaks vilkumise sagedus ületama

3 kHz. Kokkuvõtvõlt on enamiku inimeste jaoks siiski piisav, kui vilkumissagedus ületab 100 Hz, kuid tahtes välistada igasuguse bioloogilise mõju, peaks sagedus olema üle 3 kHz.

Teine oluline tingimus, millele LED'idega valgustid tänapäeval peavad vastama, on kokkusobivus pildi- ja videosalvestusseadmetega. Siin on oluline teada, kui suured on kaamerate säriajad. Fotoaparaatide säriajad võivad olla 1/1000 sekundit või lühemadki, kuid tehisvalguses tavaliselt siiski pikemad. Valgusallika vilkumisest tingituna võivad fotole tekkida (tavaliselt horisontaalsed) tumedamad triibud, kuna enamasti ei loeta isegi mehaanilise katiku puudumisel infot tervelt sensorilt korruga, vaid ridade kaupa. Tänapäeval on siiski paljudes fotoaparaatides sisseehitatud tarkvara, mis sellised triibud kõrvaldab. Videokaamerates loetakse normaalsäriajaks pool ühe kaadri ajast, ehk kas 1/50 (euroopa süsteem) või 1/60 (ameerika/jaapani süsteem) sekundit. Vältimaks erinevalt valgustatud kaadreid, peaks igasse kaadrisse jääma võrdne arv LED'i sisse-välja lülitamise perioode. Mõlema süsteemiga sobivaks osutub lülitussagedus 300 Hz (perioodi pikkus 1/300 sekundit), sel juhul jääb igasse kaadrisse euroopa süsteemi korral täpselt kuus ja ameerika/jaapani süsteemi korral täpselt viis perioodi LED'i lülitusi. 300 Hz ongi sagedus, mida paljud suuremad professionaalse valgustehnika tootjad (sh. ROBE) oma LED seadmetes kasutavad. See võimaldab salvestada standardse kaadrisagedusega videot ilma vilkumisprobleemita. Mõnel juhul võib siiski osutada vajalikuks kasutada palju suurema või siis muudetava vilkumissagedusega seadmeid. Näiteks kinokaamerates kasutatava 24 kaadrit/s standardi puhul peaks vilkumisvaba salvestuse saamiseks olema LED'i vilkumissagedus 300 asemel 294 Hz või nii kõrge, et üks periood vilkumist kaadris rohkem või vähem poleks enam märgatav. 10 kHz vilkumissageduse korral jääb ühte kaadrisse üle 200 perioodi, ehk ka halvimal juhul ei ületa kaadrite valgustatuse erinevus 0,5%. Kõrgemat vilkumissagedust nõuavad ka nn. aegluubis salvestused, kus kaadrisagedus võib olla vägagi suur (isegi mobiiltelefonide kaamerates juba 1000 kaadrit/s).

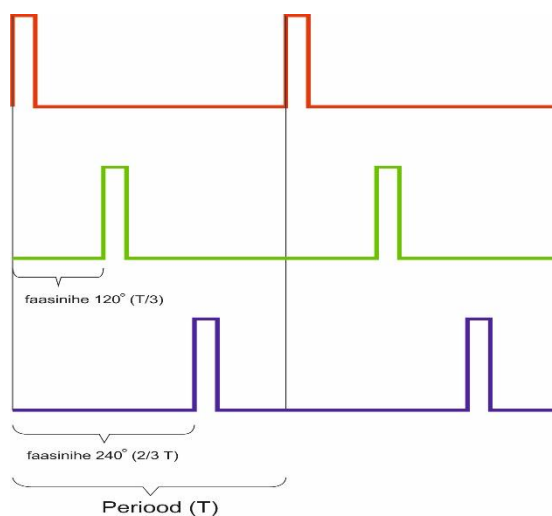
Võib tekkida küsimus, miks siis valgustite tootjad ei kasuta LED'ide juhtimisel kõrgeid sagedusi, millel oleks ju mitmeid eeliseid - bioloogilise mõju täielik puudumine ja sobivus rohkemate salvestussüsteemidega. Vastus peitub peamiselt rahas. Kõrgematel sagedustel töötavaid LED draivereid on kallim toota ja kuna enamuse ostjate jaoks ei ole kõrgema sageduse pakutavad eelised olulised, siis ongi kümnetesse kilohertsidesse ulatuvate vilkumissagedusega seadmed nišitoode, mille eest seda tõesti vajavad kliendid on nõus ka kõrgemat hinda maksma. Lisaks rahalisele küljele on kõrgematel vilkumissagedustel ka keerukam hoida ühesugust värvustemperatuuri eri seadmete vahel.

Mitmed LED valgustite tootjad kasutavad aga RGB värvisegamissüsteemiga seadmete tootmisel lihtsamat ja odavamat meetodit vilkumissageduse tõstmiseks, nimelt faasinihet eri värvi LED'ide vahel. Meetodi põhimõtteks on eri värvi diodide sisse-välja lülitamine erinevatel aegadel. Joonisel 3. on kujutatud olukord, kus eri värvi LED'id lülitatakse sisse-välja samaaegselt.



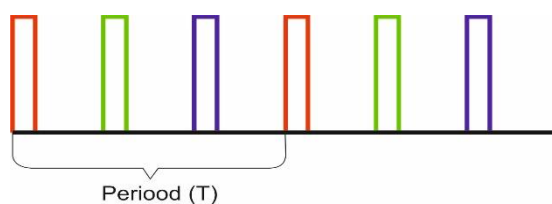
Joonis 3.

Nagu jooniselt näha, on ca 10% täiteteguri korral kogu valgusti pime 90% ajast ja vilkumine toimub perioodiga T . Joonisel 4. on kujutatud olukord, kus rohelisele LED'ile on rakendatud faasinihet 120° ($T/3$) ja sinisele LED'ile faasinihet 240° ($2/3 T$). Nagu näha, lülituvad nüüd eri värvi LED'id sisse-välja erinevatel aegadel.



Joonis 4.

Summeerituna näeb olukord välja, nagu näidatud joonisel 5.



Joonis 5.

Nüüd näeme, et 10% täiteteguri korral on valgusti pime vaid 70% ajast ja vilkumissagedus on tõusnud kolmekordseks. Üle 33% täiteteguri korral valgusti päris pime enam ei olegi, mingit värvi LED põleb kogu aeg. Sellise meetodi abil vilkumissageduse suurendamine on seda efektiivsem, mida rohkem erinevat värvi LED'e seadmes on. RGB süsteemi korral tõuseb vilkumissagedus kolmekordseks, RGBW süsteemi (mida kasutavad paljud professionaalse valgustehnika tootjad, sh. ROBE) korral neljakordseks, RGBWA korral viiekordseks jne. Meetodi puuduseks on efektiivsuse vähenemine kui kõik värvid ei ole kasutusel. Valge värvuse korral on süsteem kõige efektiivsem (töötavad iga värvi LED'id), kui töös on aga vaid üht värvi LED'id (näiteks ainult punased), siis ei anna see meetod mingit efekti.

Võib tekkida ka küsimus, et kuigi faasinihkemeetod vähendab valgusti vilkumist "sisse-välja", hakkab valgusti vilkuma nüüd erinevate värvide vahel, mis võib samuti olla märgatav. Siin peitub vastus jälle inimese nägemise eripäras. Nimelt vastutavad värvide nägemise eest inimese silmas nn "kolvikesed", mis, nagu eespool mainitud, tajuvad vilkumist vähem, kui üldist heledust registreerivad "kepikesed", mistõttu "sulavad" värvid ühte palju madalamatel sagedustel, kui heleduse muutused ning värvide vaheldumine pole märgatav.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et enne LED valgustehnika soetamist tuleks selgeks teha oma vajadused ja nõuded valgustehnikale ning teha ostuotsus vastavalt sellele. See väldib ühelt poolt pettumuse esialgu hea ja odavana tunduvat seadmes ja teiselt poolt ülemaksmise omaduste eest, mida tegelikult ei vajata.