

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Marktonderzoek naar de aanstuurmethodes van led verlichtingstoestellen

Promotor :
ir. Geert VANDENSANDE

Promotor :
Dhr. JOHAN VROONEN

Copromotor :
Dhr. ERWIN RENIERS

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Michael Panis , Niels Van Lommel

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie

2016•2017
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Marktonderzoek naar de aanstuurmethodes van led
verlichtingstoestellen

Promotor :
ir. Geert VANDENSANDE

Promotor :
Dhr. JOHAN VROONEN

Copromotor :
Dhr. ERWIN RENIERS

Michael Panis , Niels Van Lommel

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: energie*

Woord vooraf

Als afsluiting van onze studieloopbaan Industrieel Ingenieur Energie-Elektrotechniek kregen wij de uitzonderlijke opportuniteit om een masterproef te kiezen die perfect aansloot bij onze interesse in de energiesector. Via deze weg zouden wij Infrac willen bedanken voor het creëren van deze unieke leerervaring die we met veel enthousiasme, interesse en inzet hebben uitgevoerd.

Daarnaast zouden wij enkele personen willen bedanken voor hun uitstekende begeleiding, tips, talrijke gesprekken en verbeteringen die het mogelijk maakten om deze masterproef te vervolledigen.

Ten eerste willen wij dan ook onze interne promotor ir. Geert Vandensande bedanken voor de persoonlijke opvolging, verschaft informatie en feedback gedurende de hele thesis. Wij waren steeds welkom met onze vragen en problemen. Tenslotte willen wij hem bedanken om ons te motiveren en de lat steeds hoger te leggen zodat een goed eindresultaat behaald kon worden.

Ten tweede zouden wij onze voorgaande externe promotoren Ward Hoekx zaliger en Joren Moelans willen bedanken. Zij hebben gedurende hun begeleidingsperiode de nodige ondersteuning geboden ondanks hun drukke tijdschema's.

Ten derde bedanken wij Johan Vroonen en Erwin Reniers. Zij hebben een cruciale rol gespeeld gedurende onze masterproef, door ons op elk punt positief te ondersteunen. Dit ondanks de korte tijdspanne waarin deze masterproef uitgevoerd moest worden. Ook willen wij hun bedanken voor het mogelijk maken van de verschillende bedrijfsbezoeken en de mogelijkheid om te werken aan de masterproef op Infrac.

Verder zouden wij onze familie en vrienden willen bedanken voor de steun afgelopen academiejaar. Zij stonden steeds klaar om ons te motiveren en de nodige schouderklopjes uit te delen.

Als laatste willen wij elkaar bedanken voor de aangename samenwerking met het nodig plezier.

Michael Panis en Niels Van Lommel

Juni 2017

Inhoud

Woord vooraf	1
Tabellenlijst	7
Figurenlijst	9
Nederlands abstract	11
English abstract	13
1 Inleiding	15
1.1 Situatieschets	15
1.2 Probleemstelling	16
1.3 Doelstelling	17
1.4 Methode.....	17
1.5 Overzicht	18
2 Basisbegrippen licht	19
2.1 Lichtstroom	19
2.2 Lichtsterkte.....	19
2.2.1 <i>De lichtsterktekromme van een verlichtingstoestel</i>	20
2.3 Verlichtingssterkte.....	21
2.3.1 <i>Prestatie-eisen voor verlichtingssterkte</i>	22
2.4 Luminantie	23
2.4.1 <i>Kwaliteitscriteria van luminantie</i>	24
2.4.2 <i>Kleurtemperatuur</i>	26
2.5 Conclusie	27
3 Lichtbronnen	29
3.1 Lagedruk natriumdamplamp	29
3.1.1 <i>Voorschakelapparatuur van een lagedruk natriumdamplamp</i>	30
3.1.2 <i>Eigenschappen en werkingskarakteristieken van een lagedruk natriumdamplamp</i>	33
3.2 Hogedruk natriumdamplamp.....	34
3.2.1 <i>Voorschakelapparatuur van een hogedruk natriumdamplamp</i>	35
3.2.2 <i>Eigenschappen en werkingskarakteristieken van de hogedruk natriumdamplamp</i>	36
3.3 Metaalhalogeenlamp	38
3.3.1 <i>Voorschakelapparatuur van een metaalhalogeenlamp</i>	38
3.3.2 <i>Eigenschappen en werkingskarakteristieken van de metaalhalogeenlamp</i>	39

3.4	Conclusie lichtbronnen van het huidige systeem	40
4	De netstructuur.....	41
4.1	Algemeen	41
4.2	Centrale afstandsbediening.....	42
4.2.1	<i>Inleiding.....</i>	42
4.2.2	<i>Systeembeschrijving</i>	42
4.2.3	<i>Probleem bij toename van de rimpel.....</i>	45
4.2.4	<i>Beheersing van het CAB-signaal.....</i>	46
4.3	Verlichtingsnetten	46
4.4	Conclusie	48
5	Ledverlichting.....	51
5.1	Toekomst van ledverlichting	51
5.2	Werking led	52
5.3	Uitdagingen voor het aansturen van een leds	53
5.3.1	<i>Stroom</i>	53
5.3.2	<i>Thermische gedrag van de junctie.....</i>	54
5.3.3	<i>Kleurweergave.....</i>	55
5.3.4	<i>Levensduur en behoudsfactor.....</i>	56
5.4	Led configuraties	57
5.5	De leddriver.....	58
5.5.1	<i>Principe</i>	58
5.5.2	<i>Controle van led-stroom d.m.v. een flyback convertor.....</i>	59
5.5.3	<i>De startstroom.....</i>	60
5.6	EMI bij ledlampen.....	61
5.7	Voordelen van dimming.....	61
5.8	005-Keuring.....	61
5.9	Conclusie	62
6	Marktonderzoek	63
6.1	Noden van de gemeente	63
6.2	Aanstuurmogelijkheden.....	65
6.2.1	<i>0-10 V.....</i>	66
6.2.2	<i>Digital Addressable Lighting Interface of DALI</i>	67
6.2.3	<i>Conclusie.....</i>	73
6.3	Beschikbare leddrivers	74
6.3.1	<i>Marktoverzicht leddrivers</i>	74

6.3.2	<i>Universele driver</i>	76
6.3.3	<i>Conclusie</i>	77
6.4	Beschikbare interface modules	79
6.4.1	<i>Verbinding tussen leddriver en interface module</i>	79
6.4.2	<i>Marktoverzicht</i>	81
6.4.3	<i>Conclusie</i>	83
6.5	Conclusie marktonderzoek	83
6.6	Aansturing op lichtmastniveau	84
6.7	Aansturing op stedelijk niveau	85
6.8	Aansturing op landelijk niveau	86
7	Besluit	87
	Verwijzingen	89

Tabellenlijst

Tabel 1: Grootteorde lichtstroom bij verschillende lichtbronnen [6]	19
Tabel 2: Verlichtingssterkte bij verschillende omstandigheden [6]	21
Tabel 3: Luminantie bij verschillende omstandigheden [6]	24
Tabel 4: Typische waarden lichttemperatuur [11].....	26
Tabel 5: Overzicht van eigenschappen huidige lichtbronnen gebruikt in OV [12]	40
Tabel 6: Dimsenario's [57]	72
Tabel 7: Verschillende ledverlichtingsarmaturen van Infrax	74
Tabel 8: Marktbeschikbaarheid drivers deel 1	75
Tabel 9: Marktbeschikbaarheid van drivers deel 2.....	75
Tabel 10: Leddriver combinaties.....	78
Tabel 11: Conclusie marktoverzicht leddrivers compatibel met 0-10 V/1-10 V en DALI	78
Tabel 12: Marktoverzicht interface modules.....	82
Tabel 13: Conclusie marktoverzicht interface module.....	83

Figurenlijst

Figuur 1: Structuur Infrac en werkingsgebied [1]	15
Figuur 2: Eendraadschema	16
Figuur 3: Voorstelling van lichtstroom [5]	19
Figuur 4: Voorstelling van lichtsterkte [7]	20
Figuur 5: Lichtsterktekromme [4]	20
Figuur 6: Lichtverdeling bij verschillende armaturen [4]	21
Figuur 7: Voorstelling van verlichtingssterkte [8]	21
Figuur 8: Horizontale verlichtingssterkte [9]	22
Figuur 9: Verticale verlichtingssterkte [9]	22
Figuur 10: Positie van bestuurder voor berekening luminantie [9]	24
Figuur 11: Voorbeeld van gelijkmatige luminantie [9]	25
Figuur 12: Langsgelijkmatigheid van luminantie voorbeeld [9]	25
Figuur 13: Kleurendriehoek [10]	26
Figuur 14: Schematische voorstelling van spaarlektransformator als voorschakelapparaat	31
Figuur 15: Schematische voorstelling van hybride voorschakelapparatuur	32
Figuur 16: Spectrale energieverdeling bij een lagedruk natriumdamp [13]	33
Figuur 17: Schematische voorstelling van elektronische voorschakelapparatuur van een hogedruk natriumdamp	36
Figuur 18: Spectrale energieverdeling bij een hogedruk natriumdamp [13]	36
Figuur 19: Aanloopkarakteristiek van een standaard hogedruk natriumdamp	37
Figuur 20: Transformatorstation en onderstation	41
Figuur 21: Opbouw van de centrale afstandsbediening	42
Figuur 22: Opbouw omvormer	43
Figuur 23: Serie aankoppeling via omvormer en transformator	43
Figuur 24: De eerste harmonische + 216,66 Hz stuursignaal [21]	44
Figuur 25: Ontvanger CAB-sigitaal	45
Figuur 26: Situatie 1 (meestal toegepast in Limburg).	47
Figuur 27: Situatie 2	47
Figuur 28: Situatie 3	48
Figuur 29: Situatie 4	48
Figuur 30: Lichtrendement i.f.v. de tijd [1]	51
Figuur 31: Lichtrendement van witte leds [25]	52
Figuur 32: Ledjunctie met verschillende bandgap groottes [26]	52
Figuur 33: Drie methodes [26]	53
Figuur 34: Spannings-stroomkarakteristiek met sneeuwbaaleffect [29]	54
Figuur 35: Afvoeren van de warmte bij de ledchip [31], [30]	54
Figuur 36: Lichtsterkte i.f.v. de omgevingstemperatuur [32]	55
Figuur 37: Kleurendriehoek CIE 1931 [10]	56
Figuur 38: Kleurverandering door de temperatuur en de stroom [10]	56
Figuur 39: Levensduur leds t.o.v. andere lichtbronnen [10]	57
Figuur 40: Verschillende configuraties [34]	57
Figuur 41: Regeling leddriver	58
Figuur 42: Blokdiagram tweetraps leddriver [37]	58
Figuur 43: Basis schema flyback convertor (aan en uit) [40]	59

Figuur 44: Continue en discontinu bedrijf [40].....	60
Figuur 45: Quasi-resonantie en valley switching [40]	60
Figuur 46: Voorbeeld volgverlichting [45]	64
Figuur 47: voorbeeld parkeerplaatssensoren [46]	65
Figuur 48: links: Verbruiker vs bron, rechts: 0-10 V interface [48], [49]	66
Figuur 49: Standalone subsysteem van bovenliggend lichtmanagementsysteem [50].....	67
Figuur 50: Stijgende flank Manchestercodering [48].....	68
Figuur 51: Verschil tussen Manchester en NRZ [52].....	68
Figuur 52: Forward frame [51], [53]	69
Figuur 53: Backward frame [51], [53]	69
Figuur 54: De verschillende tijdspanne van een frame [48].....	70
Figuur 55: Vijf aderige kabel met DA- en DA+ [54].....	70
Figuur 56: Logaritmische t.o.v. lineair dimcurve [55]	71
Figuur 57: Werkingsgebied Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt [59]	76
Figuur 58: Weringsgebied Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt [60].....	77
Figuur 59: NEMA 5/7 pin [61].....	80
Figuur 60: Praktische koppeling tussen interface module en NEMA 5/7 pin [61]	80
Figuur 61: NEMA-connector/-socket aansluitingen [62].....	81
Figuur 62: Meest voorkomende storingen bij ledlampen [63]	85

Nederlands abstract

Infrax beheert ongeveer 300 000 lichtpunten in de gemeenten en steden, waarvan ongeveer een derde bestaat uit lagedruk natriumdampampen. Dat type lamp wordt binnenkort niet meer ondersteunt door leveranciers. Overschakelen naar ledverlichting is de meest voor de hand liggende keuze. Deze masterproef moet Infrax helpen bij een leddriver te selecteren die de aansturing van de ledlamp voorziet. Deze moet gecombineerd worden met een interface module die de draadloze aansturing regelt. Bij de selectie zijn de eisen van de gemeenten (dimmen, sensor uitlezing, ...) en het aansturingsprotocol (DALI of 0-10 V) van belang.

Om advies over de leddriver en interface module te geven aan Infrax. Is er een marktonderzoek uitgevoerd ondersteunt door een literatuurstudie. In de literatuurstudie zijn de huidige verlichtingstoestellen, het huidige systeem en de werking van ledverlichting voor openbare verlichting besproken. Het marktonderzoek is uitgevoerd aan de hand van opzoekwerk, datasheets van leveranciers en infosessies.

Het marktonderzoek leidde tot de volgende conclusies. Er is nood aan een interface module om de leds te kunnen dimmen en sensoren uit te lezen. Het meest toekomst gericht aansturingsprotocol is DALI editie 2, voornamelijk doordat het een uitbreiding is op DALI. Een combinatie van 3 Philips leddrivers overbruggen alle nodige vermogens. De LuCo-P7 van Schröder met NEMA 7 pin connectie is de meeste flexibele interface module doordat deze meerdere draadloze protocollen ondersteunt.

English abstract

Infrax manages approximately 300,000 light points in municipalities and cities, of which about one third consists of low pressure sodium vapor lamps. Soon, this lamp type will no longer be supported by suppliers. Switching to led lighting is the most obvious choice. This thesis must help Infrax with the selection of a led driver that provides the control of the led light. This must be combined with an interface module that controls wireless control. The selection must consider both the needs of the municipalities (dimming, sensor readout, ...) and which control protocol, DALI or 0-10 V, is required between the interface module and led driver.

To give advice on the leddriver and interface module to Infrax. A market research has been conducted supported by a literature study. In the literature study, the current lighting devices, the current system and the operation of led lighting for public lighting have been discussed. The market research has been carried out through research work, supplier data and information sessions.

This market research has led to the following conclusions for the led-lighting. The need for dimming and sensors will require a separate interface module. The most future-oriented management protocol is DALI Edition 2, mainly because it is an extension to DALI. A combination of 3 Philips LED drivers bridges all necessary capabilities. In addition, LuCo-P7 with NEMA 7 pin connector is the most flexible interface module because it supports multiple wireless protocols.

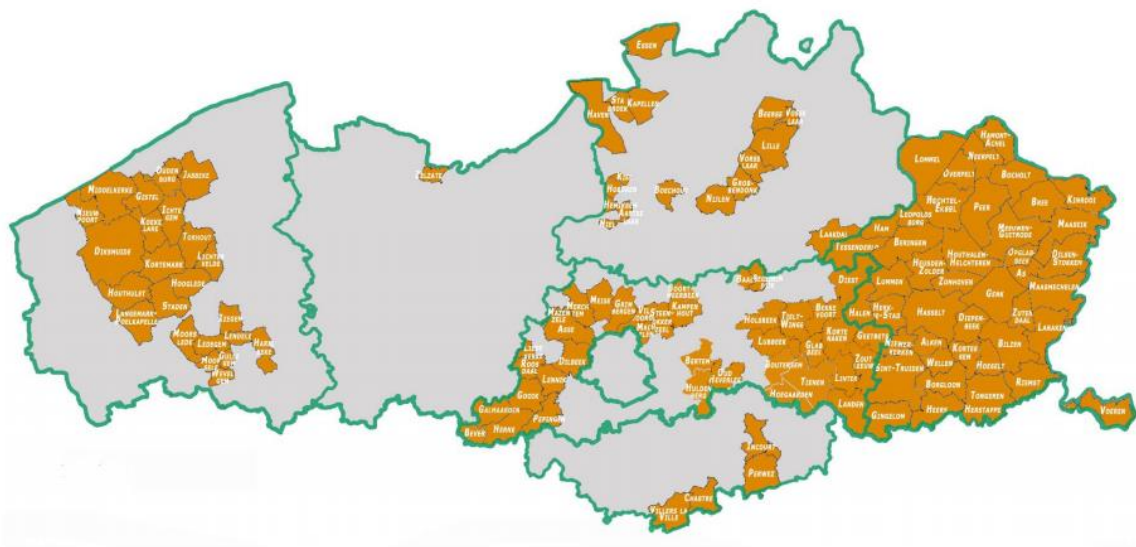
1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de onderzoeksopzet uitgewerkt en is er een overzicht gegeven over de masterproef. De eerste paragraaf behandelt de situatieschets van de masterproef. De tweede paragraaf vormt de probleemstelling en dient als introductie naar de volgende paragraaf, de doelstellingen. Uit de doelstellingen volgt de werkmethode voor de masterproef. De laatste paragraaf vormt een overzicht.

1.1 Situatieschets

Deze masterproef wordt gerealiseerd onder begeleiding van de cvba Infrax te Hasselt. Infrax werd gesticht in 2006 in opdracht van drie intercommunales¹: WVEM (West-Vlaanderen), Interelectra (Limburg) en Iveg (Antwerpen). Het bedrijf werd opgericht om de operationele taken en knowhow van de verschillende werkingsgebieden te bundelen onder één naam namelijk “Infrax”. Dat leidde tot betere serviceverlening en een lagere kost, waardoor de druk door de liberalisering van de energiemarkt verkleind werd.

In 2010 besloot ook de Provinciale Brabantse Energiemaatschappij (PBE) om zich aan te sluiten. En tenslotte opteerde in 2011 Riobra, de rioleringsmaatschappij van Vlaams-Brabant ook voor Infrax. Samen vormen deze vennoten het huidige Infrax [1]. Onderstaande Figuur 1 illustreert de huidige structuur en het geografisch werkingsgebied van Infrax.



Figuur 1: Structuur Infrax en werkingsgebied [1]

Als werkmaatschappij is Infrax verantwoordelijk voor de exploitatie, het onderhoud en de ontwikkeling van alle leidinggebonden nutsvoorzieningen (aardgas, elektriciteit, kabeltelevisie en riolering) voor de gemeenten die aangesloten zijn bij Infrax. Als werkmaatschappij heeft Infrax ook enkele wettelijke verplichtingen op sociaaleconomisch, ecologisch en technisch vlak [2]. Een van die

¹ Intercommunale: Een vereniging van meerdere gemeenten met als doel de taken van gemeenschappelijke belang te realiseren.

openbardienstverplichtingen (ODV's) is de openbare verlichting. Binnen dat kader komt de probleemstelling van het voorliggende onderzoek naar voren.

1.2 Probleemstelling

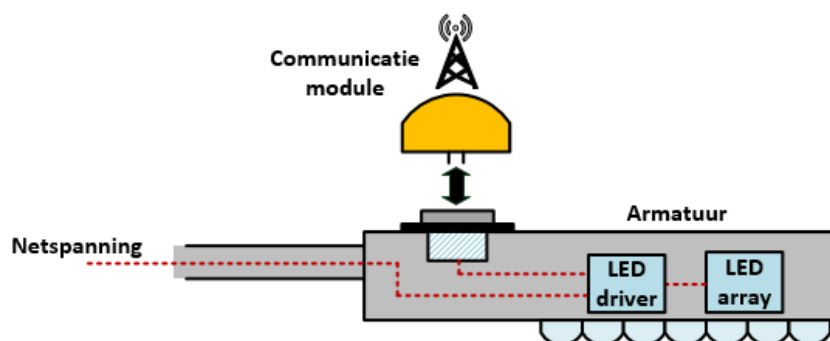
De economische en ecologische eigenschappen van openbare verlichting komen recent steeds meer in de belangstelling van de gemeenten. Voor de gemeente is de openbare verlichting namelijk de grootste elektriciteitsverbruiker: die kan tot 60 % van het energieverbruik bepalen. Tijdens de levensduur van een verlichtingsinstallatie wordt geschat dat 40 % van de totale kosten naar energieverbruik gaat, de andere kosten zijn de investering zelf en het onderhoud van de installatie [3]. Daardoor is er onder de druk van de stijgende energieprijzen en het milieu meer belangstelling voor nieuwe technologieën. Kortom, het gebruik van licht moet worden geoptimaliseerd of het energieverbruik moet verlaagd worden [3].

Infrax heeft ongeveer 300 000 lichtpunten over al de gemeenten, een derde ($\pm 100\,000$ lichtpunten) daarvan bestaat uit SOX-verlichtingstoestellen (lagedruk natriumdampampen). De leveranciers van verlichtingstoestellen nemen de toestellen steeds vaker systematisch uit de handel, omdat er meer vraag is naar betere en energiezuinigere verlichtingstoestellen. De productie van de SOX-verlichtingstoestellen stopt dus stilaan.

Daardoor is de overschakeling naar ledverlichting de meest voor de hand liggende keuze. Voor de gemeenten zou het immers een besparing betekenen om de straatverlichting te kunnen dimmen. Daarvoor zijn leds uiterst geschikt. Leds zijn immers lichtbronnen met een lage spanning die een constante stroom vereisen om optimaal te kunnen branden. Om ledverlichting te dimmen is extra communicatie met de driver noodzakelijk. Deze driver kan digitaal aangestuurd worden om dimmen mogelijk te maken.

De gemeenten vragen daarom aan Infrax om de ledverlichtingstoestellen te implementeren. Daardoor moet een driver worden geselecteerd in combinatie met een interface module. Bij deze selectie moet er rekening gehouden worden met de noden van de gemeenten en met de technische communicatienood tussen de interface module en de driver. Daarvoor is een communicatieprotocol (DALI, 0-10 V) nodig dat een goed toekomstperspectief biedt. Zo'n perspectief biedt een aansluiting naar smart-grid toepassingen.

Figuur 2 hieronder toont hoe de communicatie moet verlopen.



Figuur 2: Eendraadschema

1.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van deze masterproef omvat het samenvoegen en vergelijken van de informatie over de aanstuurmethodes tussen de leddriver en de interface module. Het eindwerk zal zich concentreren op de belangrijkste parameters van een driver met belangstelling voor het aanstuurprotocol afkomstig van de interface module.

De eerste doelstelling is het beschrijven van de basisbegrippen van licht zodat het belang van goed verlichten duidelijk wordt. Aansluitend wordt het huidige openbaarverlichtingsnet besproken zodat de voor en tegen argumenten van de overgang naar ledverlichting duidelijk worden. Op basis van deze argumenten kan een conclusie geformuleerd worden.

Als tweede doelstelling gaat de masterproef dieper in op het in kaart brengen van de belangrijke overwegingen bij ledverlichting. In dat deel wordt verklaard waarom dimmen belangrijk is en welke parameters van de leddriver belangrijk zijn (temperatuur, stroom, EMI, ...).

De laatste en meest belangrijke doelstelling is het bestuderen van de beschikbare oplossingen beschikbaar. Dit marktonderzoek leidt tot een overzicht volgens:

- Voedingsspanning;
- Communicatieprotocol;
- Aansturing leddriver;
- Connector;
- Functionaliteit.

Op basis daarvan wordt een overzicht gemaakt met de mogelijke oplossingen naar aansturing en communicatie van de verlichtingstoestellen.

1.4 Methode

Om het onderzoek te ondersteunen gaat er een literatuurstudie aan vooraf. Om de literatuurstudie te maken wordt er informatie gehaald uit verschillende bronnen. Zo geeft Infrax informatie over het huidige verlichtingsnet en de verschillende manieren waarop de lichtpunten zijn aangesloten.

Om dieper in te gaan op interface module die de aansturing van de driver verzorgt, wordt er contact opgenomen met Phillips en Schröder. Die leveranciers draagt Infrax zelf aan maar voor de volledigheid neemt de thesis ook andere leveranciers, zoals onder andere Tvilight, meer in overweging. De contactpersonen bij die leveranciers kunnen de samenwerking van een leddriver en interface module beter verklaren. Naast de contactpersonen wordt er informatie verzameld uit onderzoeken naar ledverlichting, zo worden de problemen bij ledverlichting en hun drivers duidelijk.

Bij het bestuderen van de markt worden de verschillende protocollen zoals DALI en 0-10 V ten opzichte van elkaar vergeleken. Daarbij wordt gekeken naar hoe de protocollen werken en welke voordelen ze hebben. De informatie van de technische documentatie over de leddrivers wordt hiermee gecombineerd, ook wordt gecontroleerd of de beschikbare drivers op de markt met deze protocollen kunnen werken. Daaruit volgt een lijst voor Infrax zodat zij in de toekomst de functies van de nieuwe ledverlichting voor hun aanbestedingen kunnen gebruiken.

1.5 Overzicht

In deze masterproef komen de volgende zaken aan bod. Eerst biedt een grondige literatuurstudie een duidelijke situering van de voorliggende probleemstelling. De literatuurstudie bestaat uit vier hoofdstukken. Het eerste hoofdstuk van de literatuurstudie, hoofdstuk 2, omvat de basisbegrippen van licht. Uit de basisbegrippen van licht is het volgend deel van de literatuurstudie gevormd namelijk hoofdstuk 3 lichtbronnen. Hieruit volgt hoofdstuk 4, de huidige netstructuur. Volgend op dit hoofdstuk is de introductie naar ledverlichting en ledverlichting voor openbare verlichting. Dit is het laatste hoofdstuk van de literatuurstudie, hoofdstuk 5. Volgend op de literatuurstudie is het marktonderzoek uitgewerkt. Dat onderzoek start in hoofdstuk 6, opgedeeld in acht sub paragrafen. De twee paragrafen die centraal staan in het marktonderzoek zijn 6.3 Beschikbare leddrivers en 6.4 Beschikbare interface modules. De laatste drie paragrafen van hoofdstuk 6 vormen oplossingen voor de omvorming van het huidig systeem.

2 Basisbegrippen licht

Om een algemeen beeld te krijgen over de werking en het gedrag van licht is er kennis over de basis grootheden nodig. De voorbeelden in dit hoofdstuk zijn gericht op openbare verlichting. De eerste paragraaf behandelt het begrip lichtstroom. Volgend uit de lichtstroom kan de lichtsterkte verklaard worden. De volgende paragraaf is de verlichtingssterkte met als afsluitende paragraaf de luminantie van verlichting.

2.1 Lichtstroom

De lichtstroom Φ is de totale hoeveelheid licht die per seconde wordt uitgezonden door een lichtbron in alle richtingen en dit aangepast op basis van de ooggevoeligheid [4]. De lichtstroom is dus het uitgestraalde vermogen van de elektromagnetische straling van een lichtbron. Lichtstroom wordt uitgedrukt in lumen (lm). Figuur 3 is de voorstelling van de lichtstroom die in alle richtingen wordt uitgezonden door de lichtbron.



Figuur 3: Voorstelling van lichtstroom [5]

In Tabel 1 worden enkele voorbeelden van lichtstromen gegeven zo wordt de grootteorde duidelijk bij verschillende lichtbronnen.

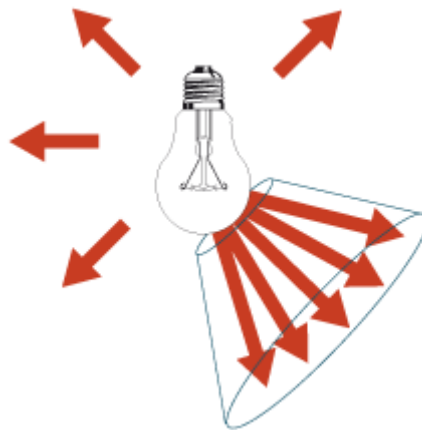
Tabel 1: Grootteorde lichtstroom bij verschillende lichtbronnen [6]

Lichtbron	Lichtstroom (lm)
75W gloeilamp (residentieel)	900
39W fluorescentielamp (kantoor)	3500
250W hogedruk-natriumdamlamp (straatverlichting)	30 000
2000W metaalhalogeenlamp (voetbalveldverlichting)	200 000

2.2 Lichtsterkte

De lichtsterkte is de lichtintensiteit. Dit is de lichtstroom per ruimtehoek van een lichtbron. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in candela (cd). De lichtsterkte is afstandsonafhankelijk en is afhankelijk

van de richting waarin naar de lichtbron wordt gekeken. In Figuur 4 wordt een deel van de lichtstroom gebundeld in een ruimtehoek van de lichtbron wat een voorstelling van de lichtsterkte vormt.

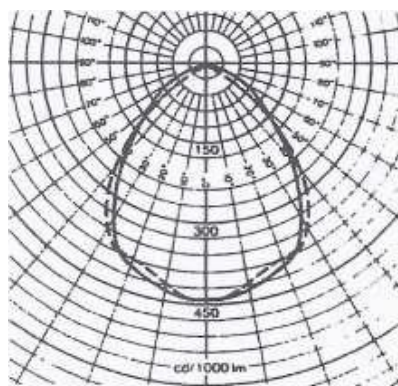


Figuur 4: Voorstelling van lichtsterkte [7]

2.2.1 De lichtsterktekromme van een verlichtingstoestel

De lichtsterktekromme is de verdeling van de lichtsterkte in diverse ruimerichtingen. Er kan een grafische voorstelling opgemaakt worden door voor elke richting een lichtsterktevector te tekenen vertrekkende vanuit de lichtbron. De lichtsterktevector is een vector waarmee de lichtsterkte grafisch wordt voorgesteld en die vertrekt vanuit het lichtpunt. Door de eindpunten van de vectoren te verbinden, wordt de lichtsterktekromme voorgesteld.

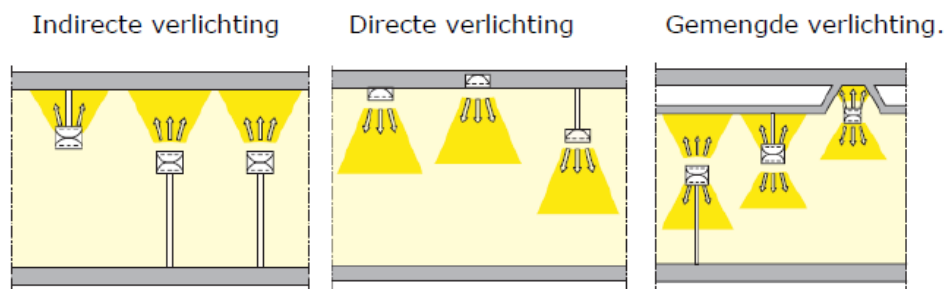
In Figuur 5 wordt de lichtsterktekromme van een lamp van 1000 lm voorgesteld. De richting van de vectoren wordt door graden aangeduid. Door het gebruik van enkele hulpcirkels kan de lichtsterkte (candela) in verschillende vlakken worden afgelezen.



Figuur 5: Lichtsterktekromme [4]

Figuur 6 geeft ons een beeld over de lichtkegel die gevormd wordt bij verschillende verlichtingsarmaturen. Het linkse deel geeft een voorbeeld naar indirecte verlichting. Dit type van verlichting is niet bedoeld om een bepaalde plek te verlichten maar schept eerder een sfeer. Het licht wordt weerkaatst tegen een wand of plafond waar het wel rechtstreeks op schijnt. Het middelste deel geeft een voorbeeld voor directe verlichting. Dit type van verlichting schijnt rechtstreeks op het te verlichten voorwerp of een plaats in de ruimte die verlicht moet worden. Naarmate de verlichting verder van het referentievoorwerp verwijderd wordt, zal het verlichtingsgebied vergroten. Het rechtste

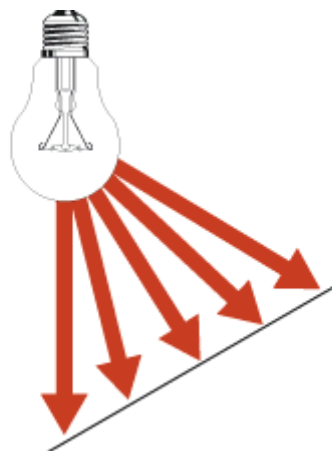
deel van de figuur geeft een voorbeeld naar gemengde verlichting weer. Dit is zowel directe als indirecte verlichting en kan dus voor beide toepassingen gebruikt worden. De zone net boven en onder de lamp wordt verlicht, maar het licht wordt weerkaatst tegen het plafond, wat zorgt voor een indirecte verlichting.



Figuur 6: Lichtverdeling bij verschillende armaturen [4]

2.3 Verlichtingssterkte

De verlichtingssterkte, verlichtingsdichtheid of illuminantie is de invallende lichtstroom per oppervlakte-eenheid. De verlichtingssterkte wordt uitgedrukt in lux (lx) of lumen per vierkante meter (lm/m^2) [6]. Daardoor is het duidelijk dat de grootte een eigenschap vormt van een oppervlak dat belicht wordt door verschillende lichtbronnen. Figuur 7 is de voorstelling van de verlichtingssterkte invallend op een oppervlak.



Figuur 7: Voorstelling van verlichtingssterkte [8]

Om de ordegrrootte van de verlichtingssterkte te omvatten, is Tabel 2 opgesteld.

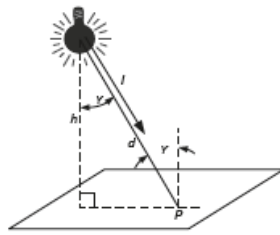
Tabel 2: Verlichtingssterkte bij verschillende omstandigheden [6]

Omstandigheid	Verlichtingssterkte (lx)
Zomer, middaguur, heldere hemel	70 000
Zwaarbewolkt	5000
Straatverlichting	5-30
Volle maan, heldere nachthemel	0,25

2.3.1 Prestatie-eisen voor verlichtingssterkte

2.3.1.1 Horizontale verlichtingssterkte

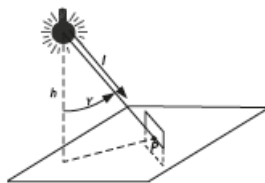
Er zijn twee soorten horizontale verlichtingssterktes: zo is er de minimale horizontale verlichtingssterkte en de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte. De minimale horizontale verlichtingssterkte $E_{h,min}$ is de kleinste verlichtingssterkte, bij de globale verlichtingssterkte van verschillende lampen, op het wegdek. De gemiddelde horizontale verlichtingssterkte $\bar{E}$ is het wiskundige gemiddelde van de horizontale verlichtingssterktes. Beide verlichtingssterktes hebben dezelfde eenheid lx. Figuur 8 is een wiskundige voorstelling van horizontale verlichtingssterktes.



Figuur 8: Horizontale verlichtingssterkte [9]

2.3.1.2 Verticale verlichtingssterkte

De verticale verlichtingssterkte E_v heeft net zoals de horizontale verlichtingssterkte een minimale verlichtingssterkte $E_{v,min}$. Dit is kleinste verlichtingssterkte op een verticaal vlak. Figuur 9 is anders dan Figuur 8. Het verschil is moeilijk zichtbaar, maar in Figuur 9 is de lichtstraal gericht op een verticaal vlak p. Dat vlak p heeft dus een bepaalde lichtstroom invallend op zijn oppervlak. In Figuur 8 is dit vlak p het horizontale grondvlak.



Figuur 9: Verticale verlichtingssterkte [9]

2.3.1.3 Vierkantswet

De vierkantswet beschrijft dat wanneer bij een puntbron de lichtsterkte gekend is, dat dan met de afstand tussen de lichtbron en het oppervlak de verlichtingssterkte op een bepaald oppervlak berekend kan worden. De verlichtingssterkte is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand.

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (1)$$

2.3.1.4 Cosinuswet

De cosinuswet is ook gekend onder de naam de wet van Lambert. Een lichtbron kan niet altijd loodrecht op een oppervlak staan. Om zulke gevallen op te lossen, wordt de cosinuswet gebruikt. In die wet is de afwijkende hoek ten opzichte van het oppervlak opgenomen. Dat gebeurt door de cosinus van de afwijkende hoek te vermenigvuldigen met de verlichtingssterkte.

$$E_{v\alpha} = E \cdot \cos(\alpha) \quad (2)$$

Als er met de vierkantswet gewerkt wordt, vervormd de formule als volgt:

$$E_{v\alpha} = \frac{I_{v\alpha} \cdot \cos(\alpha)}{d^2} \quad (3)$$

2.3.1.5 Wet van de derdemacht van de cosinus

Als de lichtspreiding gekend is kan de wet van de derde macht van de cosinus gebruikt worden om de verlichtingssterkte te berekenen van een oppervlakte dat verlicht wordt.

$$E_{v\alpha} = \frac{I_{v\alpha} \cdot \cos(\alpha)}{d^2} \quad (4)$$

$$d = \frac{\cos(\alpha)}{h} \quad (5)$$

Daarbij is h de verticale afstand van de lichtbron tot aan het stralingsvlak en d de afstand tussen de lichtbron en het invalspunt. Het invalspunt is het punt op het vlak waar de verlichtingssterkte van berekend wordt.

Door 4 en 5 te combineren wordt de formule voor de wet van de derdemacht van de cosinus gevormd:

$$E_{v\alpha} = \frac{I_{v\alpha} \cdot \cos^3(\alpha)}{h^2} \quad (6)$$

2.3.1.6 Gelijkmatigheid van de verlichtingssterkte

De algemene gelijkmatigheid van de verlichtingssterkte is de verhouding tussen de minimale verlichtingssterkte E_{min} en de gemiddelde verlichtingssterkte $\bar{E}$ en meet de variatie van verlichtingssterkte [9]:

$$U_o = \frac{E_{min}}{\bar{E}} \quad (7)$$

2.4 Luminantie

De luminantie is de lichtsterkte die door een oppervlakte in een bepaalde richting wordt uitgestraald in cd/m². Luminantie is belangrijk bij indirecte verlichting, aangezien hier licht weerkaatst wordt, wat

praktisch een vorm van luminantie is. De luminantie kan ook schadelijk zijn bij directe verlichting. Een te krachtige luminantie doet pijn aan de ogen. Zo kan er bijvoorbeeld niet gekeken worden naar het oppervlak van de zon want die heeft een te sterke luminantie. Tabel 3 geeft enkele voorbeelden van luminantie bij verschillende omstandigheden. Voor straatverlichting is het van belang dat de armatuur zo wordt uitgevoerd dat de lamp zelf niet kan verblinden. Dit betekent dat ofwel de lamp zelf niet zichtbaar mag zijn of dat de lichtkromme zo is opgesteld dat onder normale omstandigheden er geen verblinding mogelijk is.

Tabel 3: Luminantie bij verschillende omstandigheden [6]

Verlichtingsoppervlak	Luminantie (cd/m ²)
Oppervlakte van de zon	1 650 000 000
Spiraal van een gloeilamp	7 000 000
Maanoppervlak	2500
Straatoppervlak onder kunstlicht	0,5 – 2

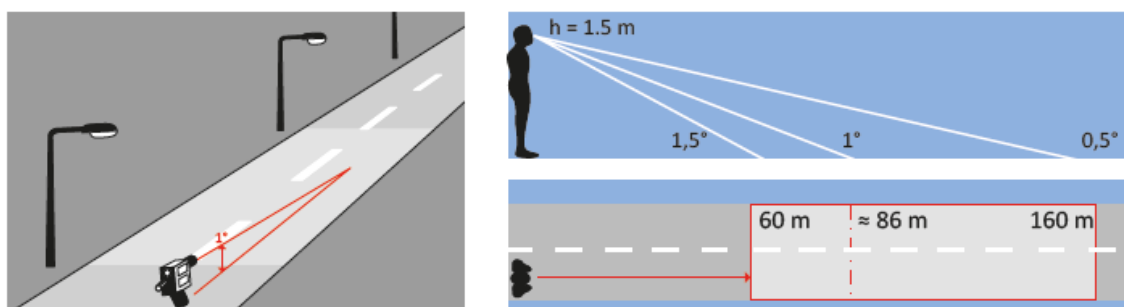
2.4.1 Kwaliteitscriteria van luminantie

Voor de waarnemingen van objecten op de weg wordt de luminantie gebruikt. De kwaliteit ervan is gebaseerd op vier criteria [9]:

- De gemiddelde luminantie van een wegdek;
- De gelijkmatigheid van de luminantie;
- De langs gelijkmatigheid van de luminantie;
- De beperking van de verblinding.

2.4.1.1 Gemiddelde luminantie

De gemiddelde luminantie wordt berekend door het wiskundig gemiddelde te nemen van de luminanties gemeten op verschillende referentiepunten van de bijhorende weg. De luminantie wordt vanuit een bepaald punt (Figuur 10) op de weg berekend. De luminantie wordt bepaald aan de hand van de verlichtingssterkte van het wegoppervlak, de weerspiegelingseigenschappen en de geometrische waarnemingsomstandigheden [9]. Bij de berekening moet de status van het wegdek in acht worden genomen, zo heeft een droog wegdek een andere luminantie dan een nat wegdek. Een nat wegdek heeft namelijk meer weerspiegeling. Daarom is de norm bepaald op basis van een droog wegdek.



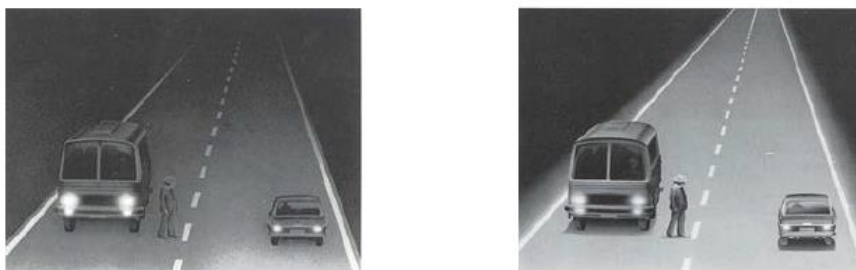
Figuur 10: Positie van bestuurder voor berekening luminantie [9]

De algemene luminantie van een weg is afhankelijk van een de gemiddelde luminantie. Er worden relatief lage verlichtingsniveaus toegepast in openbare verlichting, Daardoor leidt een hogere gemiddelde luminantie tot een duidelijkere waarneming van objecten die dichtbij geplaatst zijn en is er bovendien een luminantieverschil zichtbaar tussen twee aangelegene luminatie zones.

2.4.1.2 *Gelijkmatigheid van luminantie*

Het criterium van gelijkmatigheid van luminantie is belangrijk om hindernissen tijdig te kunnen waarnemen en om zo dus ongelukken te voorkomen. Het oog past zich steeds aan naar het hoogste luminantie niveau. Als er een slechte lichtspreiding is, wordt de kans op het niet opmerken van hindernissen groter. Door een gelijkmatige luminantie wordt er genoeg licht weerspiegeld vanuit het wegdek. Figuur 11 geeft hier een voorbeeld van, ook kan uit de figuur worden afgeleid dat de gelijkmatigheid verstoord wordt door extra lichtbronnen. “De algemene gelijkmatigheid van luminantie (U_0) is gelijk aan de verhouding tussen de minimale luminantie $L_{\min}$ en de gemiddelde luminantie $\bar{L}$ ” [9, p. 19].

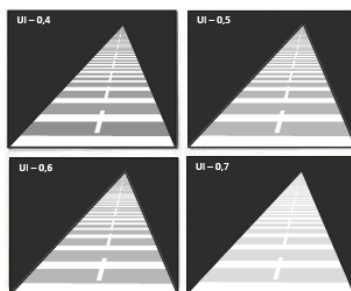
$$U_0 = \frac{L_{\min}}{\bar{L}} \quad (8)$$



Figuur 11: Voorbeeld van gelijkmatige luminantie [9]

2.4.1.3 *Langsgelijkmatigheid van de luminantie*

Dit geeft de meting tussen wisselende heldere en donkere stukken op de baan. Als er een slechte langsgelijkmatigheid is, zorgt die voor oogmoeheid bij de bestuurder, voornamelijk bij lange wegen. De langsgelijkmatigheid is de verhouding tussen de maximale en minimale luminantie ($L_{\max}$ en $L_{\min}$) op eenzelfde lijn op de baan. De kleinst gemeten waarde is de langsgelijkmatigheid. In Figuur 12 is een voorbeeld van verschillende langsgelijkmatigheden gegeven.



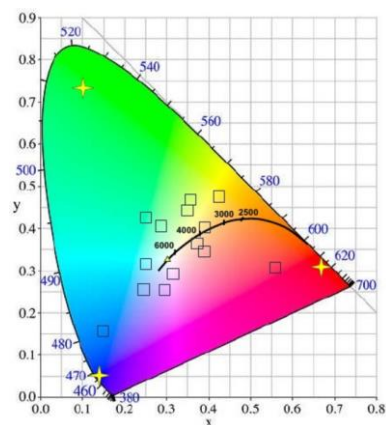
Figuur 12: Langsgelijkmatigheid van luminantie voorbeeld [9]

2.4.1.4 Beperking van de verblinding

Verblinding is de vermindering van het zicht door te hoge luminantie of te sterke lichtbronnen die zorgen voor een te groot lichtcontrast. Zo kan in het geval van openbare verlichting bij een nat wegdek door te grote lichtcontrasten de wegmarkering niet meer zichtbaar zijn, dat is een voorbeeld van verblinding.

2.4.2 Kleurtemperatuur

De kleurtemperatuur is een manier om de tinten van een lichtbron voor te stellen aan de hand van een temperatuur uitgedrukt in Kelvin (K). Dat betekent dat wit licht vele tinten heeft: blauwwit, geelwit, rood-wit. Daarbij wordt een rode tint wordt geassocieerd met warmte, terwijl een blauwe tint geassocieerd wordt met koude. De kleurtint van een lichtbron kan bepaald worden door de kleur van de lichtbron te vergelijken met de kleur van een zwarte straler (Figuur 13). Een zwarte straler is een lichtbron die bij langzame verhitting heel het kleurenspectrum doorloopt. In de vergelijking krijgen de lichtkleuren een temperatuurwaarde wanneer ze overeenkomen met de gegenereerde lichtstroom van de zwarte straler. Die temperatuur vormt dan de kleurtemperatuur: hoe hoger de temperatuur, hoe witter de kleur [4]. Een lamp geeft niet altijd wit licht. Om toch over een kleurtemperatuur te kunnen spreken gaat de lichtbron gecorreleerd worden met een tint van wit licht. Dit noemt de Correlated Color Temperature (CCT).



2.5 Conclusie

De basisbegrippen van licht geven een algemeen theoretisch kader voor het onderwerp van deze masterproef. Voor openbare verlichting is voornamelijk de verlichtingssterkte en luminantie belangrijk. Infrax bepaalt het type lamp aan de hand van de verlichtingssterkte. De hoeveelheid dat de verlichtingssterkte moet bedragen is afhankelijk van het toepassingsgebied. De illuminantie is bepalend voor wegdek verlichting bij openbare verlichting. Hier moet voldaan worden aan de criteria om te voorkomen dat er ongemakken ontstaan voor de bestuurders. Een laatste belangrijk basisbegrip is de kleurtemperatuur. Die mag geen te hevige blauwe tint hebben omdat dat een te koel gevoel geeft en niet prettig is voor de ogen.

3 Lichtbronnen

Dit hoofdstuk bespreekt de huidige gebruikte lampen in openbare verlichting. Er worden tegenwoordig meer en meer ledlampen gebruikt in de openbare verlichtingssector. Die ledlampen zijn nog vrij nieuw en zijn daardoor ook nog niet overvloedig aanwezig in het huidige systeem. Daarom volgt een ruimere bespreking van de ledlamp pas in hoofdstuk 5.

De eerste paragraaf behandelt de SOX-lamp, waarvan de productie stilaan wordt stopgezet. De tweede paragraaf behandelt de hogedruk natriumdamlamp en de derde paragraaf behandelt de metaalhalogeenvlamp. De voorschakelapparatuur, de eigenschappen en de werkingsspecifieken komen in iedere paragraaf van dit hoofdstuk terug.

3.1 Lagedruk natriumdamlamp

De lagedruk natriumdamlamp staat ook bekend onder de naam SOX-lamp. Via de omzetting van elektrische energie zendt de lagedruk natriumdamlamp twee resonantiestralingen uit. Die stralingen bevinden zich in het gele kleurspectrum en hebben een golflengte van 589 nm en 589,6 nm. Die golflengtes benaderen de golflengte van 555 nm waaraan het oog het meest gevoelig is, daardoor is het lichtrendement van dit type lamp maximaal [12].

Een lagedruk natriumdamlamp is gevuld met natriumdruppels die zich aan het glas hechten. Om na het doven toch steeds een goede verdeling van natrium te behouden, zijn er op sommige plaatsen in het glas uitstulpingen gemaakt. De uitstulpingen zijn verdeeld over de lengte van de buiswand en komen op een regelmatig patroon voor. Het doel van de uitstulping is ervoor zorgen dat op die plekken de afkoeling snel verloopt zodat de natriumdruppels hier opnieuw condenseren.

De buis zelf is gevuld met argon- en neongas, die de ontlaadingsboog helpen ontsteken. Daarnaast zorgt het neongas voor de aanvankelijke ionisatie in de buis, terwijl het argongas de aansteekspanning verlaagt.

Bij het ontsteken van de lamp straalt die een rood licht uit door de ionisatie van het neon. De ionisatiestroom laat de temperatuur stijgen in de buis, daardoor komen er meer ladingstraggers vrij, wat leidt tot een toename van de stroomsterkte. Aangezien de stroomsterkte stijgt, stijgt de buistemperatuur verder stijgen en daardoor verdampen de natriumdruppels meer en meer. Stelselmatig worden de natriumatomen betrokken bij de excitatie en de ionisatie.

De natriumdamlamp heeft in het begin een rood licht afkomstig van het neon. Dat rode licht is zwakker dan het gele licht van de geëxciteerde natriumatomen, daardoor wordt het rode licht na een tijd niet meer waargenomen en is het gele licht overheersend.

De dampdruk in de buis bedraagt slechts 5 μ bar, daardoor komt er uitsluitend enkelvoudige excitatie voor. De zichtbare straling wordt geproduceerd doordat de geëxciteerde natriumatomen zich direct stabiliseren, want wanneer Natrium een atoom exciteert verkrijgt het de edelgasconfiguratie. Die zichtbare straling vormt dus de resonantiestraling.

De optimale dampdruk van 5 μ bar is belangrijk en moet onderhouden worden. Daarvoor moet de buiswandtemperatuur 270 °C zijn. Het spreekt voor zich dat het glas van de lamp tegen die temperatuur behandel moet worden, anders tast het natrium het glas aan. Natrium zou namelijk door

chemische inwerken op het glas het licht doen vervallen, er zou minder straling via de buis naar buiten kunnen. Het glas wordt gewoonlijk beschermd door een dunne laag bariumoxide aan de binnenkant van het glas te voorzien, die laag is ongeveer 0,05 mm dik en voorkomt de chemische inwerking [12].

De lagedruk natriumdamlamp wordt meestal in een U-vorm geplooid omdat de buislengte in verhouding met het vermogen groot moet zijn. Door deze grote lengte is er een hoge aansteekspanning nodig om de lange ontladingsboog te voeden.

Zoals eerder aangehaald, is de temperatuur belangrijk voor een lagedruk natriumdamlamp. Daardoor is een extra voorziening nodig om de temperatuur niet volledig aan de omgeving te verliezen. De extra voorziening is een buitenballon, dit is een omhulsel van glas dat rond de lagedruk natriumdamlamp zit. Zo is er een extra luchtlaag tussen de lamp zelf en de omgeving voorzien. De buitenballon heeft een indiumoxide laag om de infraroodstraling te reflecteren naar de ontladingsbuis en om de lichtstralen door te laten. Met die reflectie van infraroodstraling wordt de temperatuur op peil gehouden. Aangezien convectie een probleem zou geven naar temperatuurverlies, is de ruimte tussen de ontladingsbuis en de buitenballon een vacuüm. Zo wordt dankzij de buitenballon het temperatuurverlies naar een minimum herleid.

3.1.1 Voorschakelapparatuur van een lagedruk natriumdamlamp

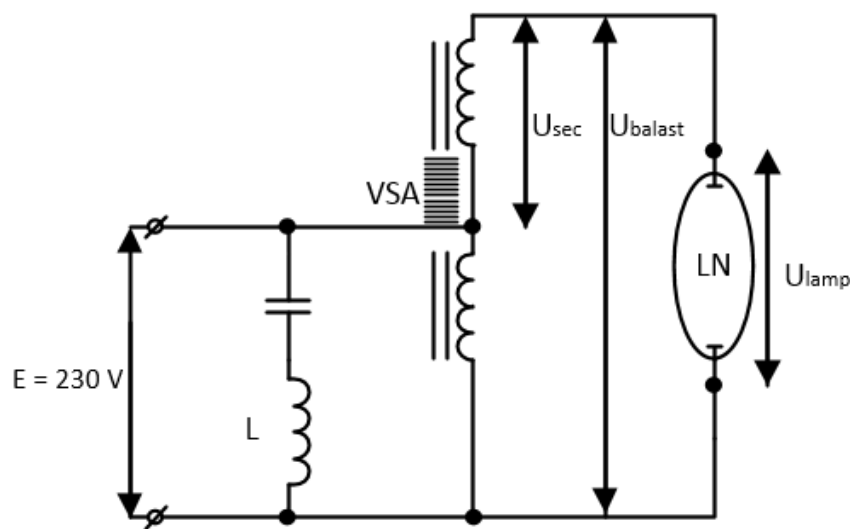
Iedere lagedruk natriumdamlamp heeft een voorschakelapparaat nodig voor een optimale werking, aangezien dat apparaat de sturing verzorgt. Het huidige laagspanningsnet is een wisselspanningsnet. Dat betekent dat er iedere halve periode een nul-doorgang is van de stroom. Het wisselspanningsnet samen met de lage stroomdichtheid van de lagedruk natriumdampen, zorgt ervoor dat via diffusie langs de buiswand meerdere vrije elektronen verloren gaan. Naast diffusie gaan er bovendien nog vrije elektronen verloren door de recombinatie met ionen. Door dat verlies aan elektronen ontstaat er een probleem bij het opnieuw aansteken bij iedere halve periode. Dat is vooral zo wanneer er niet voldoende vrije elektronen overblijven.

Zoals eerder aangehaald, is de buislengte van de lagedruk natriumdamlamp groot, daardoor moet de aansteekspanning drie tot vier keer de lampspanning bedragen. Om dat te regelen is er een voorschakelapparaat nodig. Dat voorschakelapparaat gaat de netspanning opdrijven tot die van de grootorde is van de aansteekspanning nodig voor het ontsteken van de lamp. Vervolgens houdt het voorschakelapparaat de lampstroom stabiel zodat die geen fluctuaties ondervindt door de veranderde spanning.

3.1.1.1 Spaarlektransformator

De spaarlektransformator is door zijn werking een geschikt voorschakelapparaat voor de lagedruk natriumdampamp. Dat type transformator heeft een groot lekveld en heeft ook een andere naam, de autotransformator. De opbouw bestaat uit een primaire en een secundaire winding die in geheel één winding vormen, maar de seriewikkelingen zijn gewikkeld rond één ijzeren kern. Om de stroom te stabiliseren is er de secundaire winding. Die vormt een inductieve ballast met een slechte cosinus φ (arbeidsfactor). De spaarlektransformator schakeling is weergegeven in Figuur 14.

Om de slechte arbeidsfactor te verbeteren, wordt er een condensator parallel geschakeld over de primaire winding van de transformator. De condensator staat in serie met de filterspoel, de functie van de filterspoel is het filteren van de hoogfrequente signalen die afkomstig zijn van het distributienet. Dat is nodig aangezien die hoogfrequente signalen voor kortsluitingen kunnen zorgen.



Figuur 14: Schematische voorstelling van spaarlektransformator als voorschakelapparaat

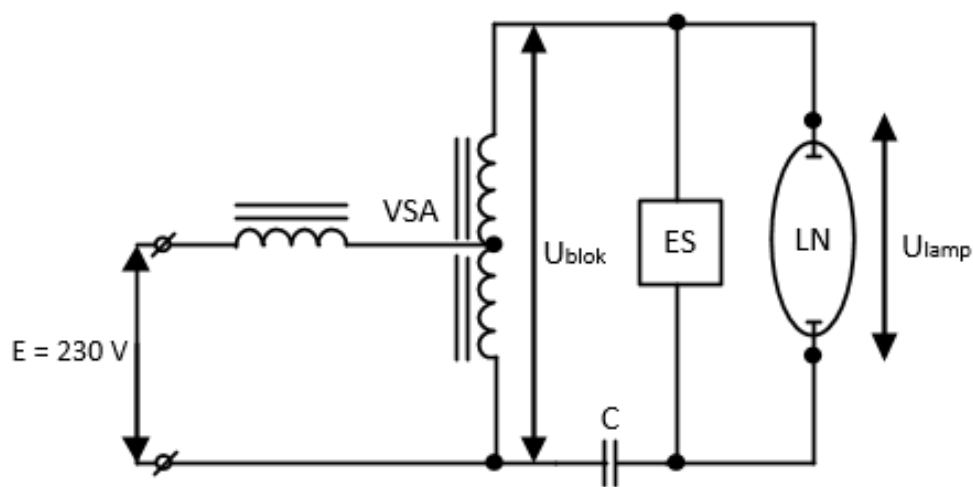
Om de afkortingen op Figuur 14 te verduidelijken:

- LN: lagedruk natriumdampamp,
- VSA: spaarlektransformator,
- C: parallelcondensator (voor compensatie van de $\cos \Phi$),
- L: hoogfrequentie filterspoel,
- E: netspanning,
- U_{lamp} : de lampspanning,
- U_{balast} : ballastspanning,
- U_{sec} : secundaire spanning.

3.1.1.2 Hybride schakeling

Een hybride schakeling is een andere vorm van voorschakelapparatuur, de werking is anders dan die van de spaarlektransformator. Bij een hybride schakeling wordt namelijk de vorm van de spanning (sinusgolf) veranderd en niet de amplitude. De omvorming zet de sinusvormige spanning om naar een blokgolf: die heeft een grotere spanningssteilheid wat de recombinitietijd vermindert. De $\cos \varphi$ heeft nood aan verbetering, daarvoor is er een condensator in de kring geplaatst. Het prinsipeschema van de hybride schakeling wordt voorgesteld in Figuur 15.

Om de lagedruk natriumdamlamp te ontsteken is er een elektronische aansteker aanwezig die de hoge spanningspieken opwekt. Een hybride schakeling heeft tegenover de spaarlektransformator twee voordelen: zo kan de lamp na een stroomonderbreking onmiddellijk opnieuw ontsteken en ligt het energieverbruik 10 tot 30 % lager [12].



Figuur 15: Schematische voorstelling van hybride voorschakelapparatuur

Om de afkortingen van Figuur 15 te verduidelijken:

- LN : lagedruk natriumdamlamp,
- VSA : hybride voorschakelapparatuur,
- C : seriecondensator (ook voor compensatie van $\cos \Phi$),
- L : hoogfrequentie filterspoel,
- E : netspanning,
- U_{blok} : blokvormige spanning,
- U_{lamp} : lampspanning,
- ES : elektronische starter.

3.1.1.3 Hoogfrequentie elektronische ballast

De hoogfrequentie elektronische ballast heeft geen ballaststarter (spoel) en condensator, wat leidt tot een energieverbruiksdaling van 75 %. Dat is natuurlijk veel efficiënter is voor de aansturing van verlichtingstoestellen.

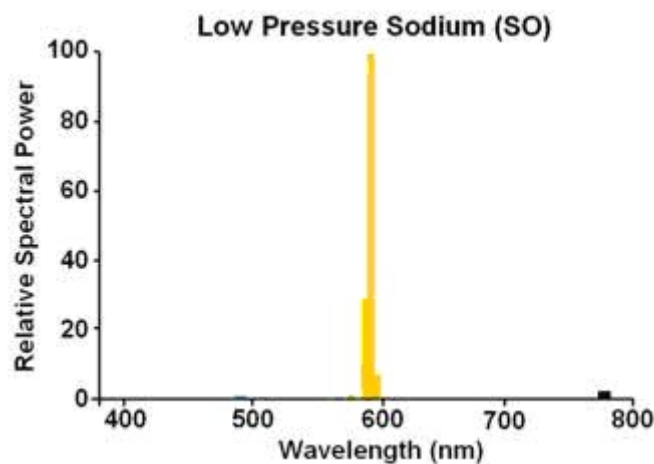
De kleine netspanningsvariaties, van -8 % tot +15 %, hebben geen invloed op de lichtstroom en het lampvermogen. Dat betekent dat de lichtstroom constant blijft bij een spanningsverandering tussen 203 V tot 253 V.

De eerder aangehaalde voorschakelapparatuur kan zonder probleem vervangen worden door een elektronische ballast. De elektromagnetische ballast heeft een hoger gewicht, terwijl de elektronische ballast lichter is. Daardoor moet het armatuur minder gewicht dragen.

3.1.2 Eigenschappen en werkingskarakteristieken van een lagedruk natriumdamp lamp

3.1.2.1 Spectrale energieverdeling en aanlooptijd

In Figuur 16 is de spectrale energieverdeling van een lagedruk natriumdamp lamp voorgesteld.



Figuur 16: Spectrale energieverdeling bij een lagedruk natriumdamp lamp [13]

Het licht dat uitgezonden wordt door een lagedruk natriumdamp lamp is meer dan 90 % beperkt tot een zone tussen twee golflengten (589 nm en 589,6 nm) [12]. Verder is in Figuur 16 te zien dat van de uitgezonden lichtstroom 98,5 % zich tussen de 560 en 610 nm bevindt. Daardoor heeft het rode licht geen bijdrage voor de lichtintensiteit en mag verondersteld worden dat het licht afkomstig van een lagedruk natriumdamp lamp monochromatisch is.

De aanlooptijd voor een lagedruk natriumdamp lamp is behoorlijk lang, 10 tot 15 minuten. De nominale lichtstroom wordt afgegeven wanneer de aanlooptijd verstreken is. Dat is te wijten aan de trage opwarming van de ontladingsbuis door de neonontlading en het grote volume van de ontladingsbuis. Indien na het doven, de lamp binnen de 30 seconden terug wordt aangestoken, dan is het mogelijk dat de lagedruk natriumdamp lamp meteen weer op regime werkt.

3.1.2.2 De levensduur en het lichtbehoud

De levensduur van lagedruk natriumdamlamp is afhankelijk van de uitputting van emissiemateriaal op de elektroden. Daardoor bedraagt de levensduur alsnog een 20 000 h. Wanneer er geen emissiemateriaal meer aanwezig is, dan stopt de productie van vrije elektronen en de gasontlading wordt daardoor onmogelijk.

Het lichtbehoud is de hoeveelheid lichtstroom die een lamp geeft tot aan het einde van zijn levensduur. Bij een lagedruk natriumdamlamp is het lichtbehoud een groot pluspunt voor de lamp. De lampen geven ongeveer nog 90 % van hun initiële lichtstroom tot op het einde van hun levensduur. Dat laat de lichtopbrengst stijgen en daardoor tast het zwart worden van de ontladingsbuis het lichtinterval minder aan.

3.2 Hogedruk natriumdamlamp

Een hogedruk natriumdamlamp bevat een hoge druk en temperatuur, daarom bevat de lamp een dunne ontladingsbuis. Natuurlijk moet die ontladingsbuis ook weerstand kunnen bieden tegen de agressiviteit van natrium bij hoge temperatuur. Daarom is een meervoudig gesinterd kristallijn aluminiumoxide gebruikt, namelijk Al_2O_3 . Dat is een hoogwaardig aluminiumoxide dat ook een toepassing heeft in de ruimtevaart. Het is geen helder materiaal, maar laat nog steeds voldoende licht door. De lichttransmissiecoëfficiënt heeft een waarde van ongeveer 97 % [12]. De ontladingsbuis bevat Xenon, amalgaam en natrium. Die chemische stoffen gaan de branding helpen. De stoffen worden toegevoegd voordat de buis dicht gemaakt wordt. De buis wordt door het hoogwaardige aluminiumoxide gedicht. Daardoor is de buis drukvast en volledig dicht.

Het Xenon gas dient als startgas voor de hogedruk natriumdamlamp. Bij het vullen heeft het een druk van 0,04 Bar. Naast de functie als startgas, dient het ook om de lichtopbrengst te maximaliseren., voornamelijk door de warmte-uitstraling van de boog te beperken. Alvorens de ontladingsbuis dicht gemaakt kan worden, moet er nog amalgaam en natrium worden aan toegevoegd. Het kwik in het amalgaam treedt op als buffer voor de spanning en de druk. Op die manier wordt de natriumdamp in stand gehouden op een efficiënte manier. Het natrium zal op zijn beurt weer zorgen voor het typerende witgele licht van de natriumdamlamp.

Tijdens de startperiode van de lamp verdampt eerst het kwik. Daardoor ioniseren de vrijgekomen kwikatomen en wordt de lampstroom verhoogd. Het kwik geeft een zekere hoeveelheid straling af die afneemt naarmate de tijd verloopt. Door de ionisatie van het kwik en verhoging van de lampstroom, stijgt de temperatuur in de ontladingsbuis, daardoor verdampt het natrium. De eerste excitaties gebeuren bij lage druk. Naarmate de temperatuur stijgt, stijgt ook de druk. Daardoor doen er zich meervoudige excitaties voor. Er zal nu absorptie optreden van de opgewekte resonantiestralingen door de grotere concentratie van natriumatomen [12]. Die absorptie-energie wordt meteen omgezet in stralingen van het zichtbaar spectrum.

De kleurtemperatuur van dit licht is ongeveer 2200 K, dat maakt dit type lamp geschikt voor locaties waar niet veel belang wordt gehecht aan kleurweergave. De werkingsdruk van een hogedruk natriumdamlamp is 0,26 Bar en de buiswand heeft ongeveer een temperatuur van 1300 °C.

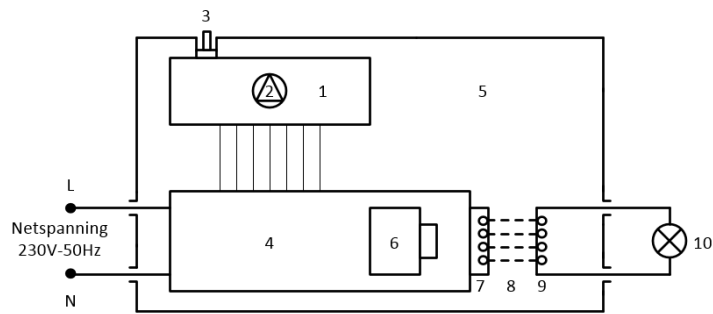
Net zoals bij de lagedruk natriumdamlamp heeft de hogedruk natriumdamlamp een buitenballon. Die buitenballon dient om warmteverliezen door convectie te vermijden. De buitenballon is gemaakt van glas en tussen de ballon en de ontladingsbuis is een vacuüm gecreëerd. Door het vacuüm gaat de warmte niet via convectie verloren naar de omgeving en kan de hogedruk natriumdamlamp zijn hoge temperaturen behouden.

3.2.1 Voorschakelapparatuur van een hogedruk natriumdamlamp

De voorschakelapparatuur van een hogedruk natriumdamlamp stabiliseert de lampstroom met elektromagnetische stabilisatie. Daarbij wordt een inductieve ballast gebruikt, dat is een spoel met een ijzeren kern. Een capacatieve stabilisatie is niet van toepassing. De capacatieve kring zou namelijk de lampstroom constant houden, ook bij een verhoging van de lampspanning. Daardoor zou het lampvermogen stijgen, wat leidt tot een verhoging van de buistemperatuur. Dat verkort de levensduur van de lamp.

3.2.1.1 Elektronische voorschakelapparatuur

Het voorschakelapparaat is voornamelijk een generator die de netstroom van 50 Hz omvormt naar een hoogfrequentiestroom tot 60 kHz. Die hoogfrequentiestroom gaat naar de primaire wikkeling van de hoogfrequent transformator in het voorschakelapparaat. De secundaire wikkeling wekt een hoogfrequente spanning op die de lamp van voeding voorziet. In Figuur 17 is het voorschakelapparaat voorgesteld. Het gebruik van de hoogfrequent transformator verbetert de veiligheid van de lamp, de transformator scheidt namelijk de netspanning en de voeding.



Figuur 17: Schematische voorstelling van elektronische voorschakelapparatuur van een hogedruk natriumdamplamp

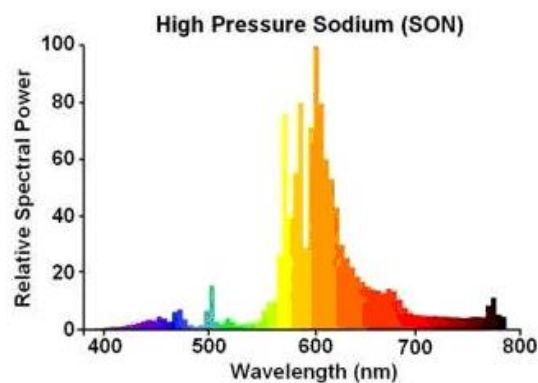
Om de Figuur 17 te verduidelijken hebben de volgende cijfers deze betekenis:

- 1: regelkring,
- 2: ontvanger voor afstandsdimming,
- 3: lokaal dimmen potentiometer,
- 4: vermogenschakelkring,
- 5: gesloten omhulsel,
- 6: hoogfrequent generator 60 kHz,
- 7: primaire wikkeling,
- 8: elektromagnetisch veld,
- 9: secundaire wikkeling,
- 10: voeding voor lamp met hoogfrequente stroom.

3.2.2 Eigenschappen en werkingskarakteristieken van de hogedruk natriumdamplamp

3.2.2.1 Spectrale energieverdeling en aanlooptijd

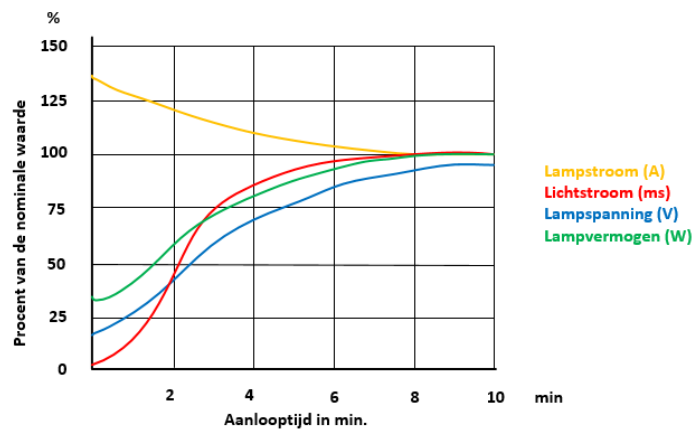
Zoals zichtbaar in Figuur 18 is bij een hogedruk natriumdamplamp de spectrale energie het meest aanwezig tussen de 550 nm en de 625 nm. Dat verklaart de witgele kleur van het uitgezonden licht.



Figuur 18: Spectrale energieverdeling bij een hogedruk natriumdamplamp [13]

In Figuur 19 is de aanloopkarakteristiek van een standaard hogedruk natriumdamplamp weergegeven. Daarin is te zien dat de aanlooptijd korter is dan de aanlooptijd van een lagedruk natriumdamplamp.

Het verschil bedraagt ongeveer 2 à 7 minuten. De aanlooptijd van een lagedruk natriumdampplamp is ongeveer 10 à 15 minuten, en de aanlooptijd van een hogedruk natriumdampplamp bedraagt een 8 à 10 minuten. De lampspanning bedraagt slechts 20 % van de werkingsspanning bij inschakelen, terwijl de lampstroom bijna 35 % hoger is dan zijn nominale waarde.



Figuur 19: Aanloopkarakteristiek van een standaard hogedruk natriumdampplamp

3.2.2.2 Invloed van netspanningsvariaties

Wanneer de netspanning toeneemt, gaat het vermogen en de buistemperatuur stijgen, dit is zo voor alle ontladingslampen. De lampstroom zal blijven door het stijgen van de dampdruk ten gevolge van de overmaat in natrium. Door die twee factoren zal het vermogen blijven toenemen. Dat is een cumulatief effect, en daardoor zijn hogedruk natriumdampampen heel sensitief voor spanningsvariaties. Het dalen van de netspanning kan ervoor zorgen dat het opnieuw aansteken van de lamp bemoeilijkt wordt, aangezien het opnieuw opstarten pas kan gebeuren na een afkoelperiode. Dat maakt het dat een spanningsval of verlaging van de netspanning de lamp tijdelijk buiten gebruik zet.

3.2.2.3 De levensduur en het lichtbehoud

Doordat de lampspanning toeneemt naarmate de brandduur toeneemt, is de levensduur van de hogedruk natriumdampplamp lager dan die van andere ontladingslampen. De stijging van de lampspanning is te wijten aan een overmaat van natrium in de ontladingsbuis om het verlies van natrium door absorptie te compenseren. Wanneer de lamp dooft, condenseert het natrium achter de elektroden aangezien het daar het koelste is. De levensduur van een hogedruk natriumdampplamp varieert van 16.000 tot zelfs 24.000 branduren, afhankelijk van het soort hogedruk natriumdampplamp.

Het lichtbehoud is de hoeveelheid lichtstroom dat een lamp geeft tot aan het einde van zijn levensduur. Bij een hogedruk natriumdampplamp bedraagt de lichtstroom nog 80 % van de initiële lichtstroom op het einde van zijn levensduur. Doordat de lampspanning toeneemt naarmate de brandduur, zal het vermogen stijgen en ook de lichtstroom. Dat heeft een positieve invloed op het lichtbehoud van de hogedruk natriumdampplamp.

3.3 Metaalhalogeenvlamp

Een metaalhalogeenvlamp heeft verschillende types ontladingsbuizen. Afhankelijk van het type ontladingsbuis verandert de vorm van de lamp. Zo maakt men het onderscheid tussen de kwartsontladingsbuis en de keramische ontladingsbuis.

De kwartsontladingsbuis is een compacte ontladingsbuis uitgevoerd in kwartsglas. Dat glas is doorzichtig en chemisch stabiel. Kwartsglas kan de hoge wandtemperaturen (800 °C), die tijdens de werking opgewekt worden, aan. Bij die temperatuur is er eveneens sprake van een hoge dampdruk die tot 18 à 19 bar kan oplopen, afhankelijk van het vermogen van de lamp. Om de kleurtemperatuur te behouden, is er warmtereflecterend materiaal aanwezig aan beide uiteinden van de ontladingsbuis [12].

De keramische ontladingsbuis bestaat gedeeltelijk uit hetzelfde materiaal als de hogedruk natriumdampampen, namelijk keramisch gesinterd aluminiumoxide. Bij dat type ontladingsbuis is de lengte van de ontladingsboog beperkt waardoor een startelektrode overbodig is. Daardoor is een keramische ontladingsbuis zeer compact en is de lichtintensiteit hoog.

De ontladingsbuis van een metaalhalogeenv lamp is gevuld met verschillende gassen:

- Argon is het gas dat nodig is om de ontladingsboog te starten in de buis;
- Kwik is de basis voor de ontleding, maar het regelt ook het lampvermogen, de lampstroom en de lampspanning;
- Zeldzame metalen worden verbonden met jodium. In sommige gevallen wordt er een combinatie gemaakt met chloor of broom. Die samenstelling, de metaaljodiden of de metaalhalogeniden, bepaalt de kwaliteit van het uitgestraalde licht.

Er heerst een hoge temperatuur in de kern van de boog. Daardoor ontbinden de metaaljodiden in metaalatomen en jodiumatomen. Door de botsing tussen metaalatomen en vrije elektronen wordt het licht uitgezonden, met een specifiek lichtspectrum afhankelijk van de metaalatomen. Nabij de wand is er een lageretemperatuurzone: daar binden de metaalatomen zich opnieuw met het vrije jodium en zo kan de verlichtingscyclus zich herhalen.

Zoals bij de lagedruk en hogedruk natriumdampampen is het nodig om een buitenballon rond de ontladingsbuis te voorzien. Zo is bij de metaalhalogeenvlamp ook een vacuüm tussen de buitenballon en de ontladingsbuis om de warmteverliezen te verminderen. Verder moet het glas van de buitenballon bestand zijn tegen hoge temperatuur schokken, daarom is een hard glas(borosilicaat) de beste keuze. Om de vorming van waterstof in de ontladingsbuis te voorkomen, zijn er waterstofgetters geplaatst, die behouden het vacuüm in de ontladingsbuis.

3.3.1 Voorschakelapparatuur van een metaalhalogeenvlamp

Een metaalhalogeenvlamp kan niet gestart worden door het inschakelen van de netspanning. Voor de werking van de lamp zijn er namelijk periodieke pulsen nodig van 1 tot 5 kV afhankelijk van het type lamp. De puls duur is ongeveer 2 µs en, de pulsen worden iedere halve periode gesuperponeerd op de voedingsspanning, dus 100 maal per seconde. Een koude metaalhalogeenvlamp kan onmiddellijk starten, een warme metaalhalogeenvlamp moet eerst voldoende afkoelen zodat de metaaljodiden terug gecondenseerd zijn voordat er opnieuw gestart kan worden.

Bij metaalhalogeenvlampen wordt samen met de aansteker vaak een ballast in serie geplaatst. De ballast zal zorgen voor een stabielere lampstroom. Zo kan bij metaalhalogeenvlampen de autotransformator gebruikt worden als voorschakelapparaat.

3.3.2 Eigenschappen en werkingskarakteristieken van de metaalhalogeenvlamp

3.3.2.1 Spectrale energieverdeling en aanlooptijd

De spectrale energieverdeling is afhankelijk van de metalen die gebruikt zijn als toevoeging aan de ontladingsbuis. Er zijn drie verschillende samenstellingen. Zo is er de driebandenstraler, die geeft door indiumjodide, natriumjodide en thalliumjodide respectievelijk een blauwachtig, geelrood en groen licht. Een andere samenstelling is de meerlijnenstraler, die heeft ongeveer een continu spectrum door de toevoeging van dysprosiumjodide, thalliumjodide en holmiumjodide. De laatste samenstelling is de moleculestraler. Die heeft een kleurspectrum dat een combinatie is van de twee voorgaande, voornamelijk door de toevoeging van natrium en scandium gecombineerd met lithium en thallium.

De aanlooptijd van een metaalhalogeenvlamp is relatief kort (5 minuten) in vergelijking met de lagedruk natriumdampslamp. Dat komt door de hoge startstroom van de lamp en door de invoegingen van een trage zekering om ongewenste afschakeling te voorkomen.

3.3.2.2 Invloed van netspanningsvariaties

De spanningsafwijking mag niet meer dan 5 % afwijken van de ontwerpspanning (nominale spanning). Dat komt doordat de elektrische en fotometrische karakteristieken zeer afhankelijk zijn van de spanning. Bij een lamp van 150W neemt bij een spanningsvermindering van 10 % de lichtstroom af met 20 % en het lichtrendement daalt met 6 %.

3.3.2.3 De levensduur en het lichtbehoud

Er zijn twee manieren waarop de levensduur van de metaalhalogeenvlamp kan worden bepaald. Zo is er de levensduur in functie van de brandcyclus en de levensduur in functie van het aantal branduren. De metaalhalogeenvlampen hebben de langste levensduur wanneer ze continu branden, maar door het veelvuldig starten wordt de levensduur minder. Wanneer de brandcyclus 10u bedraagt, is de levensduur maximaal. Wanneer de brandcyclus 5u bedraagt, neemt de levensduur af met ongeveer 25 %.

De levensduur in functie van het aantal branduren en het lichtbehoud kan worden opgedeeld aan de hand van de 3 stralers die er zijn: [12]

- 60 % lichtbehoud voor driebandenstralers met 7500 h aan branduren;
- 60 % lichtbehoud voor meerlijnenstralers met 10 000 h aan branduren;
- 55 % lichtbehoud voor moleculestralers met 20 000 h aan branduren.

3.4 Conclusie lichtbronnen van het huidige systeem

Uit de voorgaande paragrafen is te concluderen dat de besproken lampen een goede levensduur en lichtbehoud hebben. Het huidig lichtpark bestaat voornamelijk uit deze types van lampen. De lagedruk natriumdamplamp is geen optie meer voor het huidig lichtpark ondanks zijn goede eigenschappen. Dat komt doordat de productie van lagedruk natriumdamplampen stopt, waardoor ze niet meer beschikbaar zijn op de markt. De overschakeling naar ledverlichting maakt de productie van de lagedruk natriumdamplamp minder rendabel.

Tabel 5 geeft een overzicht van de eigenschappen van de huidige verlichtingsbronnen. Daarbij wordt opnieuw duidelijk dat de lagedruk natriumdamplamp goede eigenschappen heeft voor lichtrendement.

Tabel 5: Overzicht van eigenschappen huidige lichtbronnen gebruikt in OV [12]

Type	Lichtkleur	Aanlooptijd (min)	Levensduur (h)	Lichtbehoud (%)
Lagedruk Natriumdamplamp	Oranje	10 tot 15	20 000	90
Hogedruk Natriumdamplamp	Witgeel	8 tot 10	16 000 tot 24 000	80
Metaalhalogeenlamp (driebandenstraler)	Wit	5	7 500	60
Metaalhalogeenlamp (meerlijnen straler)	Wit	5	10 000	60
Metaalhalogeenlamp (molecule straler)	Wit	5	20 000	55

4 De netstructuur

Dit hoofdstuk bespreekt de huidige netstructuur en het huidige besturingssysteem. De eerste paragraaf geeft een algemene schets over de huidige situatie. Daaruit volgt de tweede paragraaf waar de werking van het huidige besturingssysteem is verklaard. De derde paragraaf omvat de verschillen in de verlichtingsnetten die Infrax beheert, over al zijn gemeenten, met de nadruk op de regio Limburg.

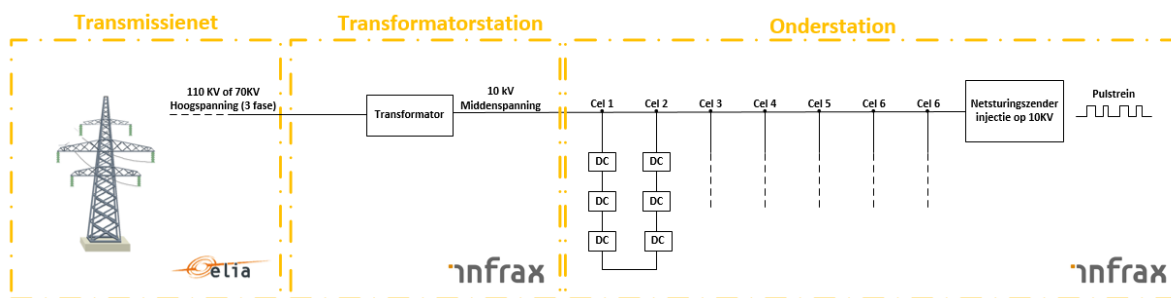
4.1 Algemeen

De structuur van het openbaarverlichtingsnet (OV) is door het verkavelen en het uitbreiden van steden doorheen de jaren sterk geëvolueerd. Toch kan het verlichtingsnet opgedeeld worden in vier hoofdstructuren. Daarbij wordt ook duidelijk hoe die hoofdstructuren van elektriciteit voorzien worden.

Elk verlichtingsnet start bij het transmissienet van Elia die grote vermogens van energieleveranciers op een hoge spanning (380kV) naar hoogspanningsposten of onderstations vervoert. De onderstations zijn geïnterconnecteerd met elkaar zodat het elektriciteitsnet “vermaasd” is. Dat betekent dat afnamepunten langs diverse wegen bevoorraad kunnen worden zodat bedrijfszekerheid gegarandeerd is. De aansluiting tussen het transmissienet en het onderstation zoals zichtbaar in Figuur 20, zorgt via het transformatorstation dat het spanningsniveau verlaagd wordt van bijvoorbeeld 70 kV (of 110 kV) hoogspanning naar 10 kV middenspanning. Bij die spanning is het mogelijk om het nodige vermogen te leveren aan de verschillende distributieposten zonder grote leidingverliezen te creëren. Vanuit het onderstation, waarvoor de bijhorende distributie netbeheerder verantwoordelijk is, vertrekt respectievelijk 40 % van de energie via ondergrondse kabels en 60 % [14] via driefasige luchtlijnen naar de transformator van de industriële klanten of distributieposten. Ook daar is het net uit mazen of lussen samengesteld.

De taak van de distributiepost is het verder verdelen van de energie op laagspanning (230/400 V) tot bij de eindklant (residentieel of kleine tot middelgrote ondernemingen). Ook zal de distributiepost energie moeten voorzien voor de openbare toepassingen zoals laadpalen en de straatverlichting. Vanaf dan zullen de schema's voor de openbare verlichting variëren. Dat komt omdat de ontvangers van de versleutelde pulsen, verstuurd door de centrale afstandsbediening (CAB), op verschillende plaatsen uitgelezen zullen worden

Figuur 20 illustreert de opbouw en de injectie van het CAB-systeem of netsturingszender op 10 kV voor het aan- en uitschakelen van de openbare verlichting. Meer informatie over het CAB-systeem wordt gegeven in paragraaf 4.2 [14], [15].



Figuur 20: Transformatorstation en onderstation

4.2 Centrale afstandsbediening

4.2.1 Inleiding

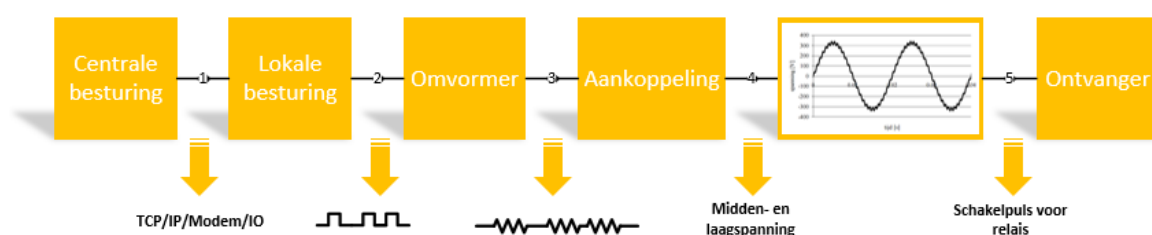
In het verleden werd de centrale afstandsbediening of CAB-sturing enkel gebruikt om de openbare verlichting te sturen. Tegenwoordig dient de CAB ook om schakelopdrachten te regelen zoals de overschakeling op dag- en nachttarief, uitsluitend nachttarief, het openen/sluiten van een relais voor accumulatieverwarming en warmwaterboilers. Met die sturing beoogd de distributienetbeheerder grote groepen verbruikers te pushen om pas te starten met verbruik op de momenten dat het net weinig belast wordt. Zo worden belastingspieken of congesties vermeden en kunnen de netten op een rendabele manier uitgebaat worden. De vraag is echter of het CAB-systeem nog zal voldoen, indien de vraag naar dynamische aansturing van openbare verlichting blijft stijgen [14], [16].

4.2.2 Systeembeschrijving

4.2.2.1 Besturing

Om de pulstrein van de centrale afstandsbediening te verzenden over het elektriciteitsnet zijn er enkele stappen nodig die het signaal moet doorlopen. Figuur 21 illustreert de opbouw van de netsturingszender.

De eerste stap bevat de centrale besturing en lokale besturing, die wordt gebruikt voor het automatisch of handmatig inschakelen en genereren van het schakelprogramma. Het automatisch inschakelen is op verschillende factoren gebaseerd. Zo is het mogelijk om automatisch in te schakelen op vaste tijdstippen, maar ook op vaste tijdstippen in correlatie met parameters zoals de buitentemperatuur (accumulatieverwarming), het daglicht (openbare verlichting) en de seizoenen [14]. De handmatige inschakeling kan daarentegen enkel uitgevoerd worden door een operator ter plaatse. De koppeling tussen de centrale en lokale besturing is via een Transmission Control Protocol (TCP), Internet Protocol (IP), een modem of op basis van een input/output module mogelijk [17].



Figuur 21: Opbouw van de centrale afstandsbediening

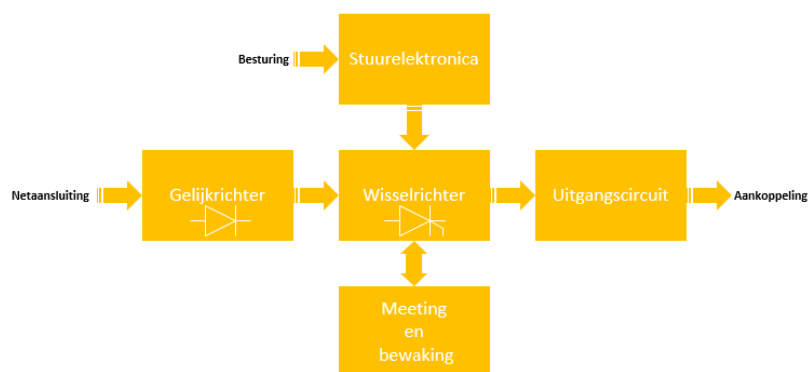
Hoe de verschillende programma's gegenereerd worden, is afhankelijk van de zender van het protocol. Toch zal bij alle CAB-systemen in de verzonden pulstrein een startpuls aanwezig zijn. Op die manier kan de ontvanger ontwaken en controleren of het voorbijkomende signaal met zijn programmering overeenstemt. De pulstreinen zijn onderling te onderscheiden in twee grote klassen: de impulsafstand en het impulsinterval.

Tegenwoordig is het mogelijk om bits en bytes te zenden zodat meer toepassingen aangestuurd kunnen worden. De verzonden data zijn dan niet bepaald door een pulspauzevolgorde zoals hierboven vermeld, maar volgens het Versacom protocol. Daarmee is het mogelijk om naast groepen ontvangers

op vier niveaus ook rechtstreeks enkele ontvangers te sturen. Onder het beheer van Infrax wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van het systeem Ricontic b over Versacom. Maar andere protocollen zoals Semagyr-50, Pulsadis 40 en Decabit 10 zijn ook mogelijk [18].

4.2.2.2 Omvormer

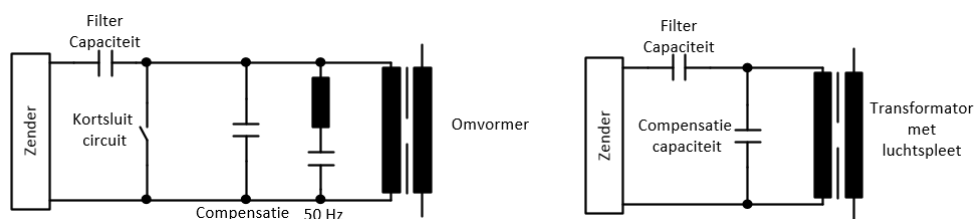
De tweede stap is nodig om het stuursignaal te transformeren zodat het geïnjecteerd kan worden op het middenspanningsnet. Om de pulstreinen om te vormen is een groot vermogen (10 tot 100 kW) [19] van essentieel belang. Dat vermogen wordt geproduceerd door de omvormer die bestaat uit een gelijkrichter, wisselrichter, stuelelektronica en spanningsregeling. Bij de hedendaagse omvormers worden de blokken in één verwisselbare module geplaatst zodat een lange hersteltijd vermeden wordt. De module wordt ondersteund door een meting en bewaking van het input en output signaal, dat zal dienen als controlesysteem. Onderstaande figuur illustreert het basisprincipe [17].



Figuur 22: Opbouw omvormer

4.2.2.3 Aansluiting/aankoppeling

De aankoppeling heeft als hoofddoel een scheiding te creëren tussen de netsturingszender en de 50 Hz midden- of hoogspanning. Een aankoppeling kan een serie- of parallelkoppeling zijn. Parallel aankoppelingen worden voornamelijk gebruikt voor frequenties boven de 300 Hz, terwijl serie aankoppelingen meestal onder 300 Hz werken [17]. Het voordeel van een parallelkoppeling is dat die eenvoudig te scheiden is van het net en dat er weinig beïnvloeding is door de energievoorzieningen. Een groot nadeel is dat stroom naar de secundaire zijde van de voedingstransformator loopt, dat kan leiden tot equivalente stromen en verzadiging van de transformator. De seriekoppeling heeft als voordeel dat de koppeling zwaar belast kan worden, weinig 50 Hz verliezen heeft, het signaal niet naar de hoger gelegen netten verzonden wordt en er geen aparte vermogensschakelaar nodig is. Het nadeel daarentegen is dat het achteraf inbouwen van bestaande stations moeilijk is. Onderstaande Figuur 23 illustreert twee mogelijke serie aankoppelingen.



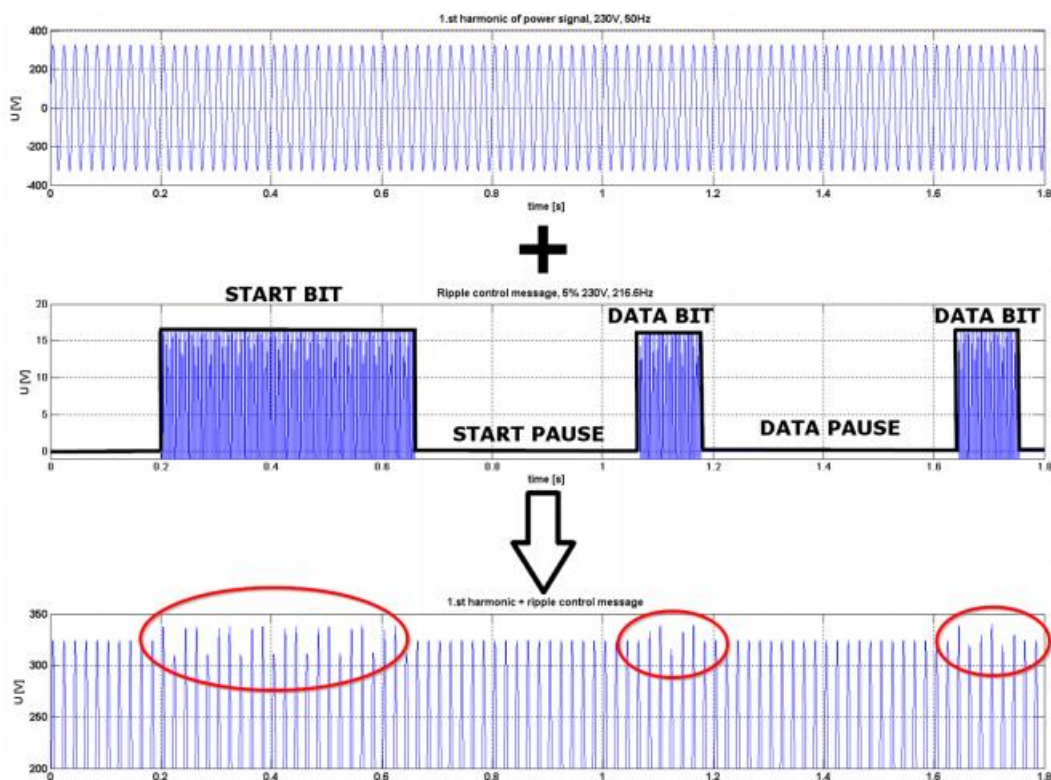
Figuur 23: Serie aankoppeling via omvormer en transformator

Bij het ontwerp van een nieuwe CAB-sturing is de keuze van de aankoppeling en de frequentie afhankelijk van de ratio tussen het gestuurde en het hoger liggende net. De toename van harmonische vervuiling wegens schakelende belastingen en capaciteiten maakt de keuze er niet makkelijker op. Daarom is het nodig om met een uitgebreid berekeningsprogramma de verschillende frequenties te maken zodat de juiste keuze gemaakt wordt.

4.2.2.4 Het signaal

De pulssignalen zijn gebaseerd op de draaggolftechniek. Met die techniek kan op de sinusoïdale netspanning van 50Hz een frequentie gesuperponeerd worden. Het gesuperponeerde signaal maakt het mogelijk om éénwegs stuurpulsen te verzenden volgens een vastgelegd protocol. Afhankelijk van de frequentie zal de amplitude van het signaal 1 tot 5 % van de nominale netspanning bedragen [19]. Het bereik van de verschillende frequenties ligt tussen 125 Hz en 3000Hz [20]. Welke frequentie gebruikt wordt, is afhankelijk van de distributienetbeheerder, zo is het mogelijk dat niet alle zenders in beheer van Infrac zijn. Daardoor maakt Infrac in sommige regio's gebruik van zenders die collega-distributienetbeheerders uitbaten.

Infrac maakt hoofdzakelijk gebruik van de frequentie 216,66 Hz (Ricontic-b + Versacom). Als voorbeeld wordt in volgende Figuur 24 duidelijk gemaakt hoe het pulssignaal van 216,66 Hz gesuperponeerd wordt op de eerste harmonische van de netspanning. Zoals zichtbaar in de figuur bestaat het pulssignaal uit een start bit, start pauze, data bit en data pauze interval. De lengte van de bits zijn verschillend, maar doorgaans is de start bit twee keer zo groot als de data bit. De functionaliteit van deze Versacom adressering is echter ook beperkt vermits een uni-cast naar de ontvanger zeer traag zal werken (± 1 min). De laatste figuur geeft het gesuperponeerde signaal weer dat verzonden wordt naar de ontvangers.

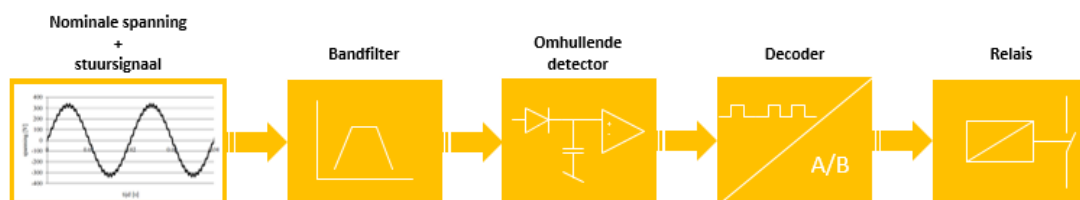


Figuur 24: De eerste harmonische + 216,66 Hz stuursignaal [21]

4.2.2.5 De ontvangers

In de laatste stap wordt het verzonden signaal ontcijferd. Het struikelpunt van de ontvanger is het onderscheiden van de harmonische en het stuursignaal. Daarom is noodzakelijk om de gemeten samples van de netspanning te filteren door een Butterworth bandfilter zodat alleen de bruikbare stuurfrequentie doorgelaten wordt. Indien de frequentie aanwezig is, wordt met een omhullende detector het oorspronkelijke signaal hersteld. Het geheugen van de ontvanger vergelijkt dan het geprogrammeerde patroon met het ontvangen patroon en schakelt een relais indien de patronen overeenstemmen.

De programmatie van de ontvanger is volledig in software opgebouwd. De printplaat wordt ingesteld volgens de gevoeligheid, het gewenste protocol, het commando en het toepassingsgebied. Naast simpele schakeluitgangen kunnen de nieuwere ontvangers uitgangen van 0-10 V en 4-20 mA [17] koppelen aan een pulstrein. De uitgangen zijn daardoor bruikbaar voor het aansturen en dimmen van openbare verlichting.



Figuur 25: Ontvanger CAB-signaal

4.2.3 Probleem bij toename van de rimpel

In sommige omstandigheden is het mogelijk dat het pulssignaal versterkt wordt. Hoofdzakelijk is de versterking veroorzaakt door het samenvallen van de frequentie van het pulssignaal en de harmonische van het distributienet. Het verschijnsel zorgt ervoor dat sommige toestellen niet meer naar behoren functioneren.

Als ijking van veel toestellen wordt vaak de nuldoorgang gebruikt. Indien het aantal nuldoorgangen door het versterkte signaal toeneemt heeft dit nadelige effecten op tijdsafhankelijke processen. Een voorbeeld daarvan is de sturing van een thyristorschakeling waarbij de ontsteekvertraging georiënteerd is op de nuldoorgang van de spanning. De toename heeft als resultaat dat de thyristorschakeling niet meer goed zal werken, wat uitval tot gevolg kan hebben. Maar ook elektronische wekkers en tijdsmetingen zullen invloed ondervinden, namelijk onder de vorm van het sneller lopen van de tijd [22].

Het versterkte signaal kan ook het flikkeren van licht veroorzaken. Dit is te wijten aan het inwerken van het signaal op de werking van de elektronische dimmers. Daardoor krijgt de triac aanwezig in de balast tijdelijk niet genoeg gatestroom waardoor belastingstroom maar in één richting doorgelaten wordt. Het resultaat is zichtbaar in de lichtsterkte van de lamp, ook wel het fenomeen ‘flikkeren’ genoemd.

4.2.4 Beheersing van het CAB-signaal

Om schakelopdrachten uit te voeren zal bij alle CAB-frequenties een relais aangesproken worden. Die relais zal uitsluitend schakelen bij de frequentie waarvoor hij ontworpen is. Het spreekt dus voor zich dat het veranderen van een geïnjecteerde frequentie niet vanzelfsprekend is, want dan zouden alle relais in het CAB-zendgebied veranderd moeten worden. Vandaar dat er twee methodes ontworpen zijn om de resonantiefrequentie niet te laten samenvallen met het CAB-signaal.

De eerste methode is door het toevoegen van een capacitantie of een inductantie. Een capaciteit verlaagt immers de resonantiefrequentie, in tegenstelling tot een spoel die de frequentie verhoogt. De toevoeging gebeurt door het schakelen van de netbelastingen of door het effectief aanpassen van het net. Daarbij moet in het achterhoofd gehouden worden, dat de resonantie niet mag leiden tot een versterking van de lagere dominante 5^{de} of 7^{de} orde harmonische [23]. Die methode kan vrij duur zijn bij nieuwere elektriciteitsnetten, want daar is de netbelasting variabel waardoor de resonantiefrequentie een bewegende factor kan zijn.

Een andere methode is het gebruik van filters. Filters zuigen het signaal weg voordat het storende signaal de gevoelige toestellen bereikt. De passieve en actieve filters kunnen kortbij opgesteld worden of geïntegreerd worden in de toestellen zelf. Ook is het mogelijk om de filters onmiddellijk op het elektriciteitsnet te plaatsen, daarvoor zijn de distributienetbeheerders verantwoordelijk. De grote hinderpalen bij het gebruik van een filter voor het elektriciteitsnet is de kostprijs en het feit dat één filter geen oplossing biedt voor het volledige elektriciteitsnet. De werking van de verschillende filters valt buiten het bereik van deze masterproef.

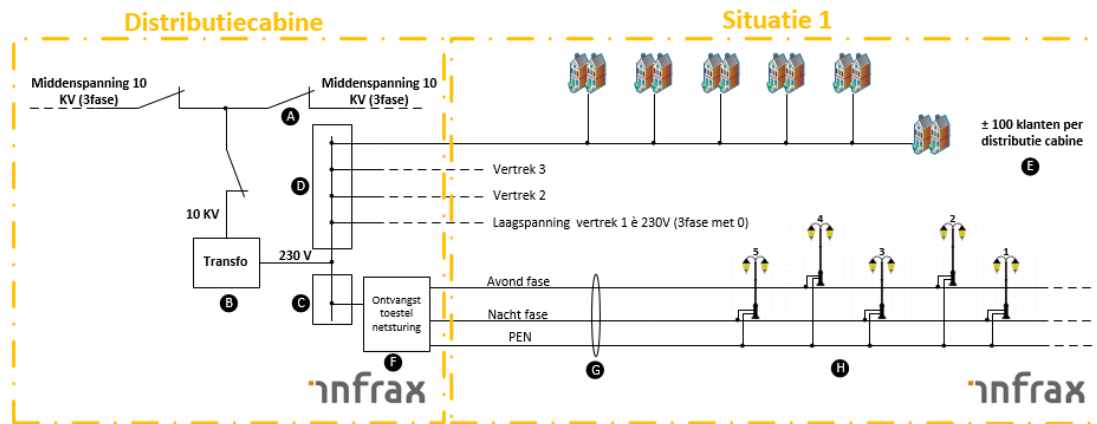
4.3 Verlichtingsnetten

In de regio Limburg is er een relatief nieuw verlichtingsnet geïnstalleerd. Die netten zijn zo opgebouwd dat een avondfase en nachtfase het mogelijk maken om de openbare verlichting te dimmen. Daarvoor wordt het principe “LineSwitch” gebruikt. Het uitvallen van de avondfase wordt gebruikt als stuursignaal om de drivers te laten starten met dimmen. Via de netsturing wordt de avond- of nachtcontractor geschakeld. Indien de gemeente alleen het nachtrecht regime wenst te gebruiken. Is het dus enkel nodig om de sturing van de avondfase aan te sluiten op de nachtcontractor. Standaard zijn de drivers geprogrammeerd op een dimprofiel van 50 %, maar een ander dimprofiel is mogelijk mits nieuwe configuratie.

In Figuur 26 zijn de verschillende onderdelen te zien. Zoals vermeld in paragraaf 4.1 zijn de distributiecabinen aangesloten als een open-lus uitbating. Daarom heeft de cabine twee lastscheidingsschakelaars (A) ter beschikking. Zo wordt elke cabine langs twee wegen bevoorrad. In de cabine is een transformator (B) aanwezig om de spanning te transformeren van middenspanning naar laagspanning. Die spanning voed het laagspanningsbord (D) waar gemiddeld 100 laagspanningsklanten (E) per vertrek zijn op aangesloten. Daarnaast is een vertrek voorzien voor het bord van de openbare verlichting (C). In situatie 1 bevindt de ontvanger (F) van het CAB-signaal dicht bij het verlichtingsbord maar dit is niet altijd het geval.

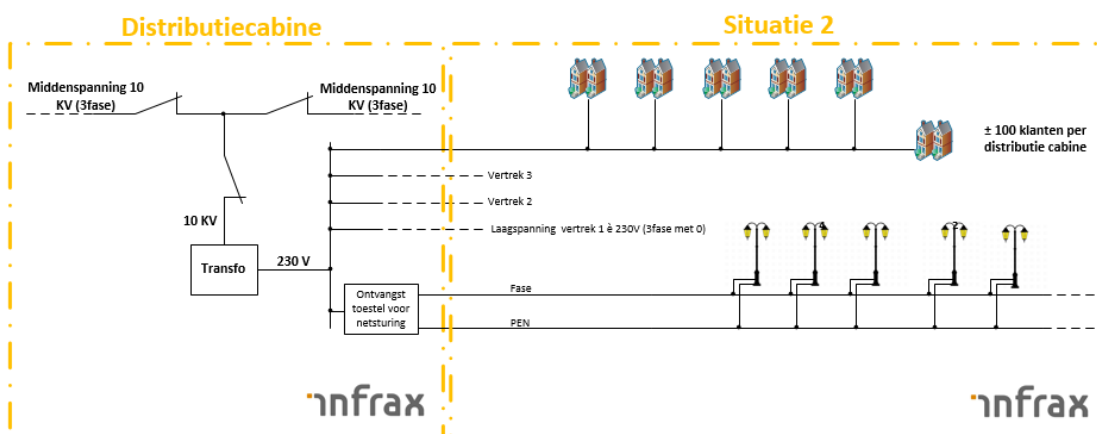
Uit het OV-bord vertrekt een EXVB3G10 kabel (G) met een avondfase, nachtfase en PEN-geleider naar de verschillende lichtmasten. Bij elke lichtmast wordt de kabel van het TN-C-net opgesplitst in een TN-S-net waarbij een lokale aarding voorzien is aan de lichtmast. De connectie tussen het

lichtpunt en de EXVB3G10 kabel gebeurt met een zekeringskastje (H) waarop een flexibele H07RN-F 4G1.5 kabel is aangesloten. Zo is het mogelijk om te kiezen tussen avond- en nacht regime door onderaan de lichtmast de correcte fase aan te sluiten. Vroeger werd er voornamelijk een eenvoudigere oplossing toegepast. Zo werd er in het verlichtingsnet één op twee armaturen uitgeschakeld. Dat heeft een nadelig effect op de uniformiteitsklasse, want er ontstond een opeenvolging van heldere en donkere vlekken op het wegdek. Bij nieuwe installaties wordt dat niet meer toegepast aangezien “LineSwitch” mogelijk is.



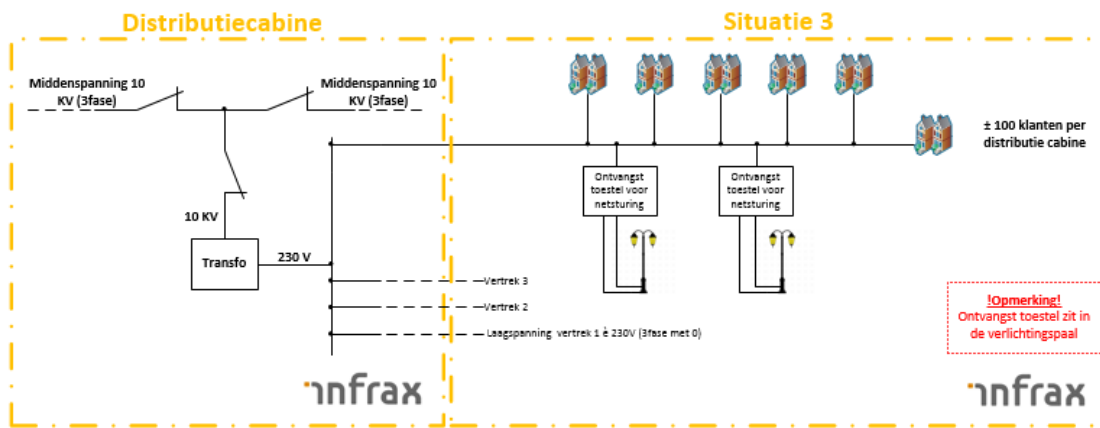
Figuur 26: Situatie 1 (meestal toegepast in Limburg).

Het verlichtingsnet bestaat uit een drie aderige kabel, maar het is mogelijk dat er maar een fase aanwezig is. Dan wordt de structuur toegepast die voornamelijk in Vlaams-Brabant van toepassing is (zie Figuur 27). De CAB-ontvanger (F) bevindt zich weliswaar nog altijd in de distributiecabine maar stuurt nu één fase in plaats van twee. Daardoor is dimmen niet mogelijk.



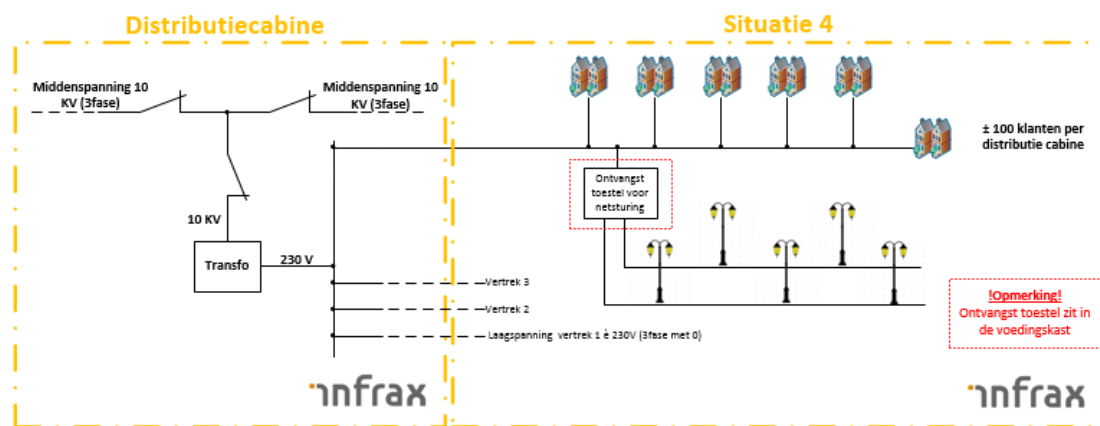
Figuur 27: Situatie 2

Op sommige plaatsen worden maar enkele lichtmasten geïnstalleerd, dan is het gebruikelijk dat de lichtmasten op het laagspanningsnet geschakeld worden. In dat geval zal de CAB-ontvanger zich in de lichtmast bevinden (Figuur 28). Zo moet er geen nieuw verlichtingsnet geïnstalleerd worden voor enkele lichtmasten. Deze situatie is veel van toepassing in de regio Antwerpen.



Figuur 28: Situatie 3

Situatie 4 (Figuur 29) komt veel voor bij verkavelingen of nieuwe wijken. Indien de afstand tot de distributiecabine te groot is, wordt het verlichtingsnet op het laagspanningsnet geschakeld. De CAB-ontvanger wordt dan geplaatst in de verdeelkast waaruit een nieuw verlichtingsnet ontstaat.



Figuur 29: Situatie 4

4.4 Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat het huidige CAB-systeem van Infrac niet meer voldoet, hoewel het goed functioneert en het een relatief flexibel systeem is om congesties op het net te vermijden. Toch zal de complexiteit van het huidige Versacom protocol drastisch verhoogd moeten worden om aan de eisen van het dynamisch aansturen van een openbare verlichting te voldoen. En zelfs dan zou het protocol niet voldoen aan de nodige toekomstperspectieven door het beperkte aantal functies en de trage unicast van ± 1 min. Ook wordt verwacht dat door de elektrificatie van de maatschappij het stuursignaal verder beïnvloed zal worden. Schakelingen van het net en stoorsignalen zullen daardoor de beheersbaarheid van het signaal een stuk moeilijker en duurder maken. Daarnaast is netsturing bijna op het einde van zijn levensduur. Het plaatsen van nieuwe ontvangers, op plaatsen waar een ander protocol heerst, een zeer hoge initiële kost met zich meebrengen. Vandaar dat de nood aan een nieuw systeem dat toekomstperspectieven biedt, hoog is. Eén van deze perspectieven is bijvoorbeeld de implementatie in de wereld van “The Internet Of Things (IOT)”.

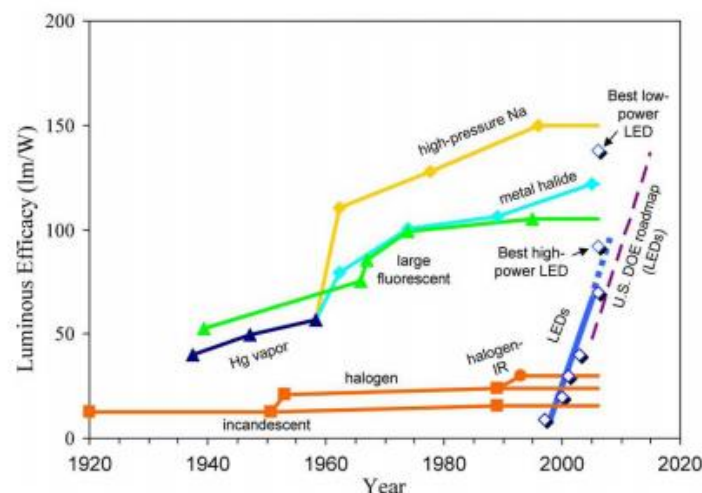
Ondanks het feit dat de verlichtingsnetten opgebouwd zijn uit diverse structuren, kan geconcludeerd worden dat de verlichtingsnetten van Infrac Limburg relatief goed opgebouwd zijn. Want het huidige systeem maakt voornamelijk gebruik van situatie 1 op enkele uitzondering na. Daardoor is dimmen tot 50 % mogelijk, door het uitvallen van de avondfase.

5 Ledverlichting

Dit hoofdstuk omvat ledverlichting en de aansturing van ledverlichting voor openbare verlichtingstoepassingen. De eerste paragraaf schets een beeld waarom ledverlichting een betere keuze is voor openbare verlichting. Daarna volgt de tweede paragraaf met de werking van led. Omdat een led een constante stroom eist is de derde paragraaf gewijd aan het aansturings mechanisme van de led, namelijk de leddriver. Vervolgens beschrijft de vijfde paragraaf de elektromagnetische interferentie (EMI) opgewekt door de leddriver. Ondanks de EMI biedt de leddriver voordelen door de mogelijkheid tot dimmen, dit is verklaard in de vijfde paragraaf. Omdat ledverlichting voor openbare verlichting niet gebruikt wordt in het residentiële gebied is er een speciale keuring voor nodig. Deze keuring en de organisatie achter deze keuring is beschreven in de zesde paragraaf.

5.1 Toekomst van ledverlichting

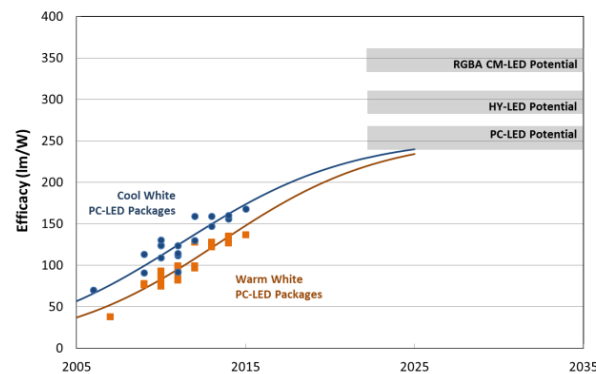
Light Emitting Diodes (leds) domineren de laatste jaren de verlichtingssector. De functionaliteit van ledverlichting is bewezen in verschillende applicaties zoals in de lampen van auto's, verkeerslichten en verlichting van gebouwen. Toch is ledverlichting nog maar recent uitgegroeid tot een van de drie lichtbronnen gebruikt voor algemene verlichting. Voornamelijk is dit te danken aan de snelle ontwikkeling, goede efficiëntie en hoge lichtopbrengst van de hoogvermogenled. Een hoogvermogenled wordt daarom ook wel de veelbelovende jongeling van de licht familie genoemd [24]. Als de drie verschillende lichtbronnen (gloe-, ontladings- en ledlampen) met elkaar vergeleken worden, blijkt dat het lichtrendement van hoogvermogenleds sinds 2010 de bovenhand neemt t.o.v. de traditionele lagedruk natriumdamp lampen. Figuur 30 illustreert het lichtrendement van de verschillende lichtbronnen in functie van de tijd. De volle blauwe lijn duidt aan hoe snel het lichtingsrendement van de hoogvermogenled stijgt in functie van de tijd.



Figuur 30: Lichtrendement i.f.v. de tijd [1]

Merk op dat het maximaal lichtrendement van de hoogvermogenleds nog niet bereikt is. Computersimulaties van het Amerikaanse Department of Energy (DOE) voorspellen dat tegen 2025 het lichtrendement van de hoogvermogenled -stijgt naar 255 lm/W [25]. Bij die voorspelling wordt duidelijk dat de lichtopbrengst van de huidige blauwe witte led (168 lm/W) hoger is dan de warme

witte led (137 lm/w), waardoor de blauwe witte led tegen 2025 zijn maximale lichtopbrengst sneller zal bereiken. Geleidelijk aan zullen ook de warme witte leds evolueren naar deze lichtopbrengst zoals zichtbaar in Figuur 31. Ondanks dat de lichttrendementen nu al hoog zijn, is er nog veel potentieel om het lichttrendementen van de hoogvermogenleds te laten stijgen zoals zichtbaar op Figuur 31.

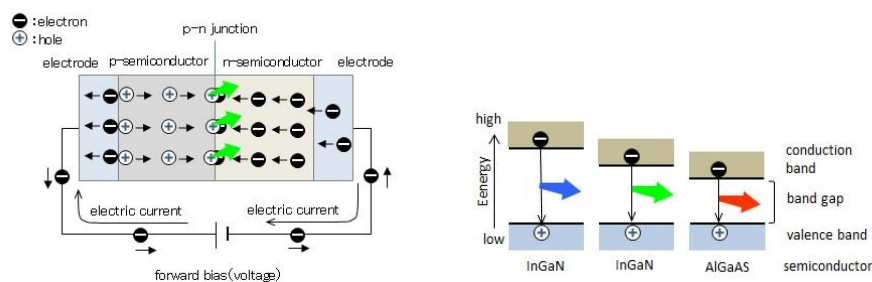


Figuur 31: Lichttrendement van witte leds [25]

5.2 Werking led

Een ledchip vormt elektrische energie om naar elektromagnetische straling met behulp van halfgeleidermaterialen, namelijk InGaN en AlGaAs. Afhankelijk van de dopering bestaat het halfgeleidermateriaal uit n-type of p-type materiaal. Het n-type materiaal bevat vrije elektronen terwijl het p-type vrije gaten bevat. Samen vormen deze halfgeleiders de traditionele pn-junctie. Het potentiaalverschil dat ontstaat stopt de diffusie van vrije elektronen van het n-type materiaal naar het p-type materiaal. Daardoor zal de recombinatie tussen de elektronen stoppen. Recombinatie is de vrijgave van energie wanneer een elektron een plaats inneemt in het kristalrooster. Hierbij verdwijnt een vrij elektron en vult dit elektron een gat in het kristalrooster. De energie die hierbij vrijkomt wordt voorgesteld door de bandgap-grootte. De bandgap-grootte is afhankelijk van het gebruikte halfgeleidermateriaal. Deze bepaalt ook de golflengte (kleur) en energie van de uitgezonden straling [26]. Figuur 32 geeft een voorstelling weer van de junctie met drie verschillende bandgap-groottes.

Door een voorwaartse dc-spanning aan te leggen zal de ruimte ladingslaag (RLI) en het potentiaalverschil verdwijnen waardoor er opnieuw een elektronenstroom mogelijk is. De elektronen nemen hierbij een plaats in van een gat in het kristalrooster en geven energie af onder de vorm van fotonen of licht zoals de groene pijlen in Figuur 32 illustreren.

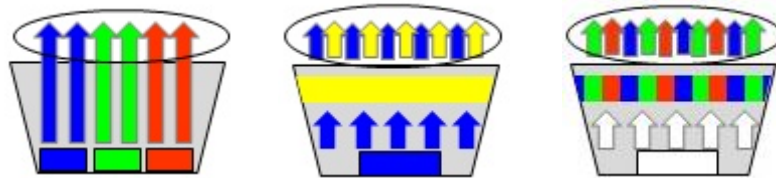


Figuur 32: Ledjunctie met verschillende bandgap groottes [26]

Om zichtbaar wit licht te creëren, wat niet mogelijk is door verandering van de bandgap-grootte, zijn er drie methodes ontworpen [27]. De eerste methode is door combinatie van de drie primaire kleuren rood, groen en blauw. Elke kleur wordt dan afzonderlijk aangestuurd zodat de lichtstroom van de rode, groene en blauwe led samen wit licht vormen. Het afzonderlijke aansturen van leds in de RGB-led maakt het praktisch mogelijk om alle kleuren van het kleurenspectrum te reproduceren. Het nadeel daarvan is dat door het mixen van de kleur, de complexiteit drastisch omhoog gaat.

Als tweede methode wordt er gebruik gemaakt van een blauwe ledchip in combinatie met het gele fluorescentie materiaal zoals fosfor. Hierbij worden enkele fotonen door de fosfor laag gelaten terwijl andere fotonen dan weer omgevormd worden naar gele fotonen. De combinatie van de blauwe en gele fotonen genereren samen wit licht. De dikte van laag fosfor is afhankelijk van de golflengte van de blauwe ledchip.

De laatste methode is gelijkaardig aan de voorgaande methode. Het verschil is dat er gebruik gemaakt wordt van een ultraviolette ledchip en drie fluorescerende materialen met elk een verschillende kleur (rood, groen, blauw). Het voordeel hiervan is dat de kleurverschuiving gedurende zijn levensduur minder drastisch is aangezien de drie fluorescerende lagen analoog beïnvloed worden.



Figuur 33: Drie methodes [26]

5.3 Uitdagingen voor het aansturen van een leds

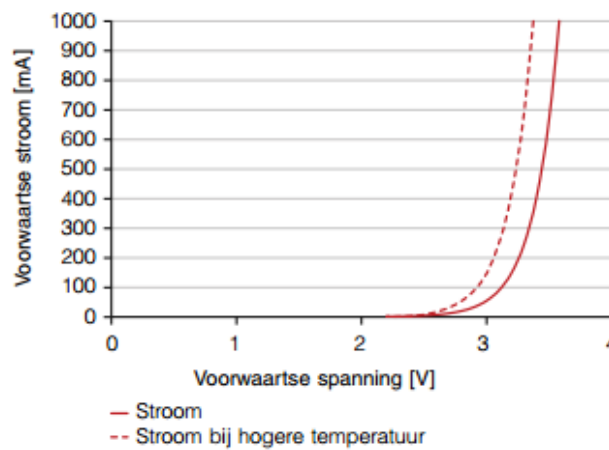
Om de efficiëntie van een hoogvermogenled te behouden zijn twee parameters belangrijk tijdens het aansturen. Enerzijds de stroom en anderzijds de junctie temperatuur. Deze beïnvloeden namelijk parameters zoals het verbruik, levensduur, kleur, en het lichtrendement.

5.3.1 Stroom

De lichtstroom of intensiteit van een led is recht evenredig met de elektrische stroom. Net zoals bij de diode kent de spanning-stroomkarakteristiek van een led een exponentieel verloop (Figuur 34). Daardoor zal er bij een kleine spanningsvariatie onmiddellijk een hogere stroom en lichtstroom ontstaan. Het verloop van de curve kan voorgesteld worden door de Shockley vergelijking [28]:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_F \cdot q}{k \cdot T_j}} - 1 \right) = I_S \left(e^{\frac{U_F}{V_t}} - 1 \right) \quad (9)$$

Waarbij de drempelspanning $V_t = k \cdot \frac{T_j}{q}$. Deze drempelspanning is duidelijk afhankelijk van de junctietemperatuur (T_j)

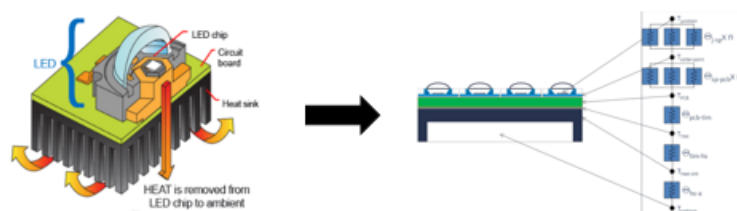


Figuur 34: Spannings-stroomkarakteristiek met sneeuwbal effect [29]

Een stroom toename zorgt niet alleen voor een stijging van de lichtstroom, maar ook de temperatuur van de junctie zal stijgen waardoor de grafiek naar links verschuift (Figuur 34). Zodoende dat bij een aanhoudende spanning de stroom nog verder zal toenemen en waardoor een soort sneeuwbal effect ontstaat [29]. Vandaar is het vanzelfsprekend dat leds het beste gestuurd worden via een constante stroombron. Zo wordt een constante lichtstroom in de seriekring van de leds gegarandeerd.

5.3.2 Thermische gedrag van de junctie

De warmteproductie bij lichtbronnen zoals gloei- en ontladingslampen is alom gekend. Ook hoogvermogenleds zetten een groot deel van hun vermogen om in warmte ($\pm 60\%$ warmte en 40% licht [30]). Toch is er een groot verschil tussen beide. De ontladings- en gloeilampen voeren namelijk warmte af onder de vorm van infraroodstraling, terwijl hoogvermogenleds de warmte lokaal opslaan. Deze warmte is echter niet gewenst waardoor goede koeling d.m.v. een koellichaam noodzakelijk is. Op Figuur 35 wordt het thermisch pad van een hoogvermogenled voorgesteld. Zoals zichtbaar in de figuur wordt de warmte ontstaan in de junctie afgeleid door de verschillende ledcomponenten naar het Printed Circuit Board (PCB). Daarna wordt de warmte vervoerd naar het Thermal Interface Material (TIM) bevestigd aan de PCB. En vervolgens geeft de PCB zijn warmte door aan de koelvinnen, zodat via convectie van lucht de warmte naar de omgevingslucht stroomt.

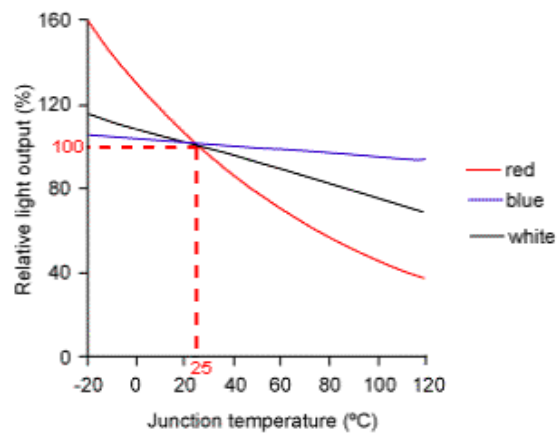


Figuur 35: Afvoeren van de warmte bij de ledchip [31], [30]

De temperatuur van de junctie heeft een invloed op de lichtsterkte van de led. Figuur 36 geeft het verband weer tussen de junctietemperatuur en de relatieve lichtopbrengst bij een constante stroom. Zichtbaar in de figuur is dat bij ongeveer $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ de relatieve lichtsterkte van de leds 100% is. Uit de figuur is af te leiden dat een hoge junctietemperatuur leidt tot een lagere lichtintensiteit terwijl een lage junctietemperatuur tot een hogere lichtintensiteit leidt. De opbouw van de led speelt namelijk ook een rol, zo zal de blauwe led minder gevoelig dan een rode led.

De witte led voornamelijk gebruikt in openbare verlichting is gevoelig voor temperatuurveranderingen van de junctie afhankelijk van de opbouw van de led. Zo gaat de witte led opgebouwd uit RGB-leds meer temperatuurafhankelijk zijn dan een led opgebouwd uit luminescent materiaal en een blauwe led. In Figuur 36 is namelijk zichtbaar dat de lichtsterkte van de rode led sterk afneemt bij hogere junctietemperatuur. Dit zou leiden tot bijregelen van de stroom om de lichtsterkte constant te houden. Op te merken is dat de blauwe led minder temperatuur afhankelijk is dan een rode led, wat de combinatie van een blauwe led met luminescent materiaal minder afhankelijk maakt van de junctietemperatuur. Hierdoor worden meestal blauwe leds met luminescent materiaal gebruikt voor openbare verlichting.

Omdat witte leds voor openbare verlichting buiten staan is de omgevingstemperatuur ook van belang. Zo gaat de lichtintensiteit van een witte led in de zomer minder hoog zijn als in de winter, daardoor moeten de witte leds een temperatuur regeling of koeling hebben.

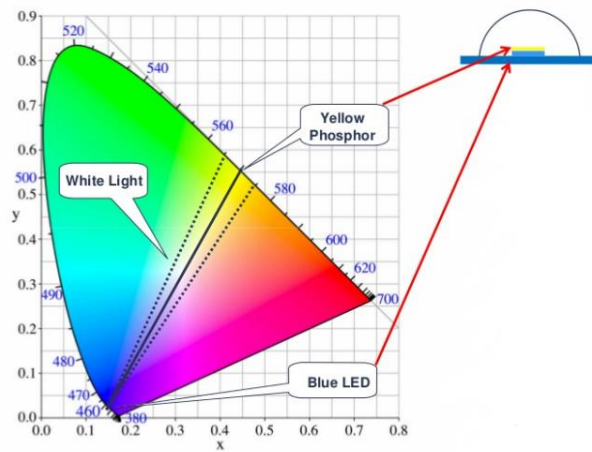


Figuur 36: Lichtsterkte i.f.v. de omgevingstemperatuur [32]

5.3.3 Kleurweergave

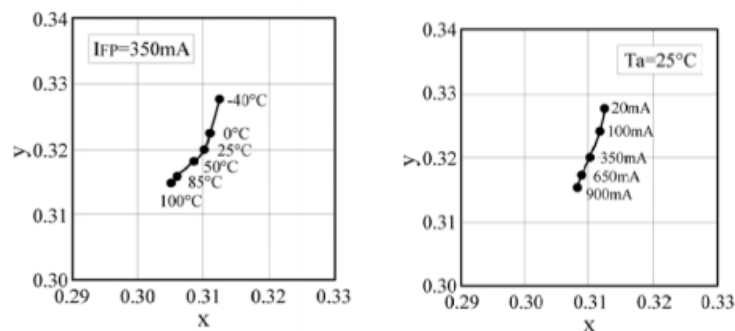
Ledchips worden in grote aantallen geproduceerd. De productie van de ledchips is echter complex waardoor kleine toleranties ontstaan op gebied van kleurweergave en lichtsterkte. Indien ledchips in een led-array verwerkt worden, spreekt het voor zich dat de verschillende ledchips dezelfde eigenschappen moeten hebben. Anders zal de led-array bij het uitzenden van licht verschillende lichtsterktes of kleurtemperaturen ervaren. Om dat te voorkomen worden de geproduceerde leds gesorteerd volgens hun specifieke eigenschappen, ook wel “binning” genoemd [33].

Een voorbeeld van het sorteren van de ledchips is op basis van de xy-coördinaten in de kleurendriehoek. Zo kan de producent de juiste led voor zijn toepassing selecteren. Figuur 37 illustreert de kleurendriehoek met als voorbeeld de blauwe ledchip in combinatie met een gele fosfor laag. Merk op dat het menselijk oog gevoelig is voor de kleinste verandering van golflengte of dikte van de fosforlaag. Bij de productie van wit licht dient er dus voldoende aandacht besteed te worden aan de parameters stroom en temperatuur die de kleurweergave beïnvloeden.



Figuur 37: Kleurendriehoek CIE 1931 [10]

Figuur 38 illustreert de invloed van de stroom en junctietemperatuur. De eerste figuur houdt de voorwaartse stroom constant op 350 mA en laat de junctietemperatuur variëren. Wanneer dan gestart wordt bij een werkingstemperatuur van 25°C blijkt dat bij dalende temperatuur de xy-coördinaten zullen stijgen, terwijl bij stijgende temperatuur de coördinaten in de kleurendriehoek zullen dalen. De tweede figuur is tegengesteld aan de eerste, deze houdt de junctietemperatuur constant op 25°C en laat de voorwaartse stroom variëren. Ook hier zullen de coördinaten bij een dalende stroom vergroten en bij een stijgende stroom verkleinen.



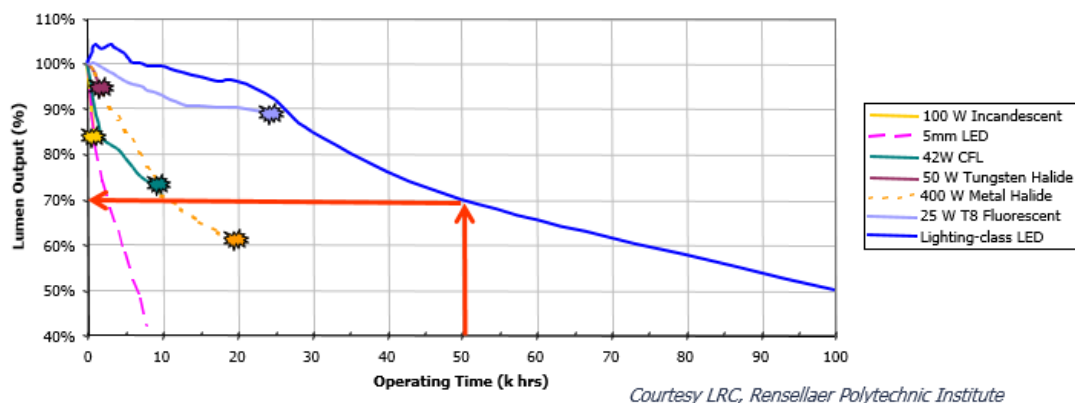
Figuur 38: Kleurverandering door de temperatuur en de stroom [10]

5.3.4 Levensduur en behoudsfactor

De levensduur van een led wordt net zoals bij ontladingslampen niet bepaald door het moment van defect, maar eerder door de afname van verlichtingssterkte. De ledlamp zelf heeft een uitermate hoge levensduur in vergelijking met de traditionele lichtbronnen, zo zou een led tot 50 000 branduren halen terwijl een ontladingslamp maar een levensduur van 20 000 branduren heeft.

Er is een direct verband tussen temperatuur en levensduur. Een te hoge temperatuur verlaagt de namelijk de levensduur, de roze lijn in Figuur 39 geeft die weer. Meestal gaat bij een ledlamp eerder de elektronica stuk vooraleer de ledlamp zelf stuk zou gaan. Figuur 39 illustreert de afname van de verlichtingssterkte [10].

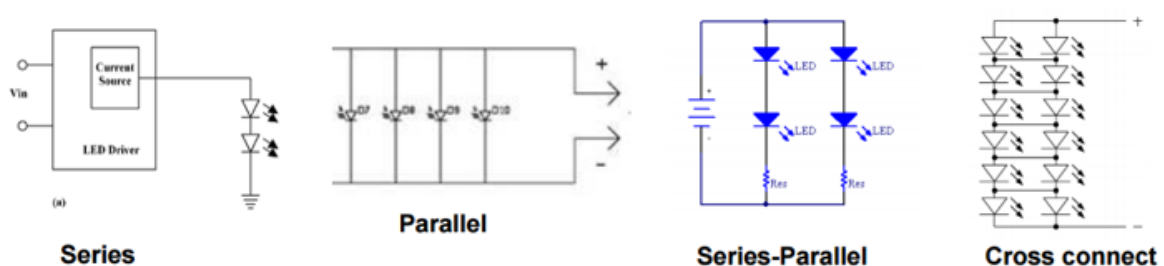
Door de afname van de verlichtingssterkte wordt bij het aansturen van een ledlamp gebruik gemaakt van het principe Constant Lumen² Output (CLO). Het CLO-principe is dat in het begin van de levensduur van de ledlamp de constante stroom lager instelt dan de maximale waarde en naar het einde van de levensduur de waarde opvoert tot het maximale. Zo blijft het aantal lumen constant.



Figuur 39: Levensduur leds t.o.v. andere lichtbronnen [10]

5.4 Led configuraties

De configuratie van de leds is een belangrijke parameter bij het aansturen. Voornamelijk heeft de seriestring de voorkeur omdat de stroom onafhankelijk is van een voorwaartse spanningsvariatie. Toch zijn er ook andere configuraties mogelijk (Figuur 40). Zo kunnen de leds in parallel, serie en parallel of cross connect geschakeld worden. Deze configuraties vergen echter eenzelfde voorwaartse spanning waardoor bij het falen van één led een andere led overstuurd kan worden. Hoogvermogenleds falen meestal bij een kortsluiting en worden daarom in serie geschakeld, terwijl mediumleds stuk gaan bij een open keten. Voor deze leds wordt dan ook eerder een cross connect configuratie gebruikt. Deze laatste zijn goedkoper en worden in een array-geschakeld om een hoger vermogen te bekomen.



Figuur 40: Verschillende configuraties [34]

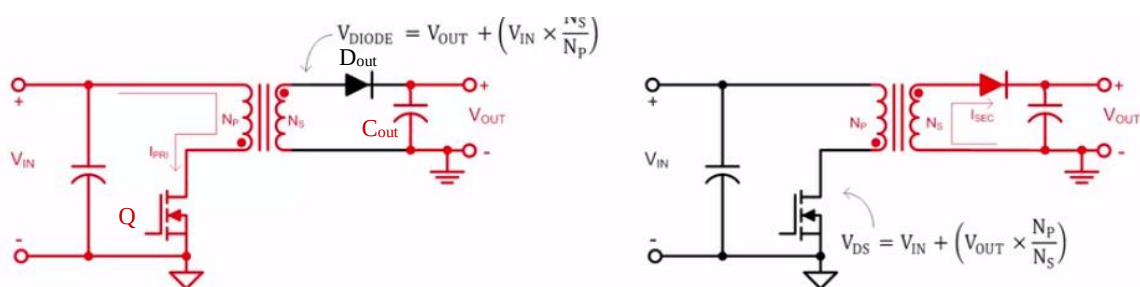
² Lumen: De totale hoeveelheid licht die per seconde wordt uitgezonden door een lichtbron in alle richtingen aangepast op basis van de ooggevoeligheid

Het huidige verlichtingsnet bestaat uit een wisselspanningsnet en leds werken op gelijkspanning. De klassieke gelijkrichter moet deze wisselspanning dus omvormen. Maar de gelijkrichter kan niet zomaar op het net geschakeld worden want de schakelende voeding van de driver veroorzaakt hoogfrequente storingen (kHz) op het net. Deze zijn echter niet gewenst omdat ruis de goede werking van een ander toestellen kan verstoren. Daarom wordt een EMI-filter geplaatst tussen het net en de gelijkrichter [38]. Die zal de hoogfrequente storingen zoveel mogelijk dempen.

Vervolgens kan de netspanning omgevormd worden. Hierbij ontstaat een pulserende stroom over de gelijkrichter indien de spanning van de afvlakcondensator lager is dan de netspanning. Deze gepulste stroom zorgt voor ongewenste harmonische en een lage arbeidsfactor van ongeveer 0,65 [39]. Daarom wordt er een power factor corrector (PFC) gebruikt. Meestal is dit een boost-converter die ervoor zorgt dat de hoogst mogelijke arbeidsfactor en laagste Total Harmonic Distortion (THD) van het design bereikt zullen worden. Merk op dat de capaciteit aan de uitgang van de gelijkrichter bij het gebruik van een PFC zo klein mogelijk is. Op deze manier is de uitgang van de gelijkrichter nog altijd een sinus maar dan wel met één polariteit (Figuur 42). Die sinus vormt de input voor de PFC die de spanning gaat op transformeren naar een hogere spanning. Eveneens gaat deze ervoor zorgen dat de stroom in fase is met de ingangsspanning waardoor de harmonische verdwijnen en de arbeidsfactor praktisch één wordt omdat de stroom in fase is met de spanning. De uitgangsspanning van de power factor corrector dient vervolgens als voeding voor de dc-dc converter. Dit is de belangrijkste component aangezien deze de constante stroom van de ledconfiguratie voorziet. Hoofdzakelijk wordt hiervoor de geïsoleerde flyback converter gebruikt maar sinds enkele jaren is er ook veel interesse in de LLC resonantie converter [34]. Dit omwille van de kleine schakelverliezen en het hogere vermogen. μ

5.5.2 Controle van led-stroom d.m.v. een flyback converter

Een flyback converter is een schakelende voeding waarmee een dc-output spanning gegenereerd kan worden. Typisch bestaat het basisschema uit een mosfet, transformator, diode en uitgangscapaciteit zoals weergegeven in Figuur 43.



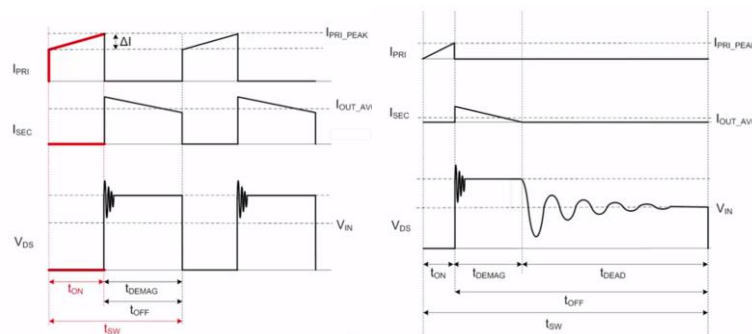
Figuur 43: Basis schema flyback converter (aan en uit) [40]

Wanneer de mosfet (Q) in Figuur 43 sluit zal de spanning van de voeding rechtstreeks over de primaire wikkeling (N_p) komen te staan. Hierdoor neemt de stroom lineair toe en wordt er magnetische energie in de kern van de primaire wikkeling opgestapeld. Aangezien de windingen tegengesteld gewikkeld zijn zal de geïnduceerde spanning in de secundaire winding ook omkeren. De diode (D_{out}) ondervindt hierdoor een negatieve spanning op de anode waardoor de diode begint te sperren. De uitgangscapaciteit (C_{out}) zal dus de volledige stroom moeten leveren.

Indien de mosfet wordt geopend zal de stroom en magnetische energie in de primaire winding afnemen. De hierdoor ontwikkelde tegen EMK zal opnieuw een spanning induceren aan de secundaire

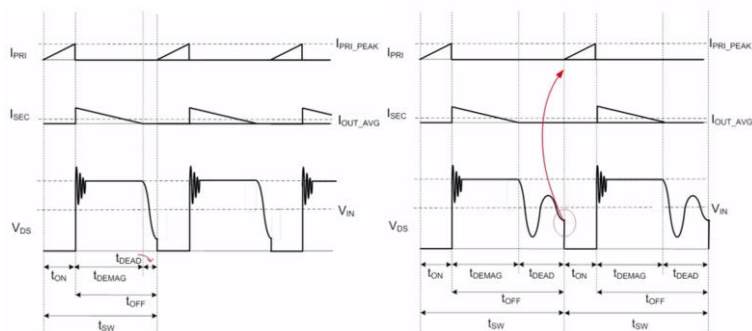
zijde. Deze spanning is tegengesteld waardoor de diode (D_{out}) in geleiding zal treden. Eens de diode in geleiding is, levert deze stroom om de capaciteit (C_{out}) op te laden en de verbruiker te voeden [39], [40].

Bij de flyback convertor zijn er twee werkingsmethodes te onderscheiden. Zo is het mogelijk om continu of discontinu te werken. Omdat een goede stabiliteit gewenst is, wordt aan de primaire zijde meestal gewerkt met discontinue bedrijf. Een continue bedrijf zou aanleiding geven tot een gelijkstroom door de transformator wat niet gewenst is. De stroom moet dus altijd terug keren naar nul zodat een DC-stroom vermeden wordt. Het nadeel van hogere piekstromen en een hogere rimpel bij de discontinue werking overtreffen de betere stabiliteit en lagere schakelverliezen in discontinue werking namelijk niet. Het voordeel van een discontinue werking is dat de energie die opslagen moet worden kleiner is waardoor een kleine transformator toepasbaar is [38].



Figuur 44: Continue en discontinu bedrijf [40]

Om de schakelverliezen te verminderen kan er bij discontinue bedrijf gebruik gemaakt worden van valley switching of quasi-resonantie modus. Deze principes zorgen ervoor dat de resonante ring die ontstaat tussen de interactie van primaire inductantie en de parasitaire capaciteit in het schakelpunt op zijn laagste punt is voordat de mosfet weer gaat schakelen. Het verschil tussen beide is dat quasi-resonantie principe schakelt op het eerste lage punt, terwijl valley switching in elk dal kan schakelen zoals zichtbaar op Figuur 45.



Figuur 45: Quasi-resonantie en valley switching [40]

5.5.3 De startstroom

De startstroom of de inschakelstroom treedt op bij het inschakelen van een ledlamp. Zodra de voeding van de ledlamp voor het opstarten onder spanning komt te staan, zal er gedurende een korte tijdspanne (kleiner dan een milliseconde) een hoge piekstroom op het net ontstaan. Dit gebeurt omdat de

condensatoren van de led-driver worden opgeladen. Lage inschakelstroom impliceert extra elektronica zodat de stroom door de gelijkrichter beperkt wordt bij het opstarten [33].

5.6 EMI bij ledlampen

Elektromagnetic interference (EMI) bij ledlampen voor openbare verlichting treedt voornamelijk op onder de vorm van harmonische. Deze harmonische gaan het elektriciteitsnet vervuilen en kunnen problemen veroorzaken voor andere toestellen gekoppeld op dit net, zoals een nabijgelegen lichtmast. De harmonische ontstaan door twee bronnen van storingen. Eerst is er het PWM-signaal van de uitgang van de driver. Deze is in de orde van 20 kHz of hoger. Het schakelen gebeurt met steile flanken en dit geeft aanleiding tot een straling naar de omgeving. Dit probleem is een ontwerp probleem dat moet voldoen aan de normen. Een andere bron van vervuiling is de ingang. Een gewone dubbelzijdige gelijkrichter belast met een afvlak-capaciteit geeft te veel harmonische. Om dit probleem op te lossen is er nood aan een power factor corrector. Zonder een power factor corrector kan het probleem niet opgelost worden. De total harmonic distortion (THD) is de harmonische vervorming van een signaal [41]. Iedere leveranciers van led-drivers moet zich houden aan de IEC 61000-3-2 [42]. De norm legt een maximale THD op van $< 35\%$, maar de leveranciers voorzien meestal een lagere THD [34].

5.7 Voordelen van dimming

Als een led gedimd wordt, laat dit toe de led op een koelere temperatuur te laten werken. Door koeler te werken wordt de levensduur van de elektronica verlengd wat leidt tot een langere levensduur en verbeterd het lichtbehoud van de led. Naast het verbeteren van de levensduur zijn er nog andere voordelen zoals het verlagen van verbruik. Een led dimmen heeft een verhouding van 1:1 met het vermogen. Dit betekent dat wanneer de led voor 50 % gedimd is, het verbruikte vermogen 50 % van het nominaal vermogen bedraagt.

5.8 005-Keuring

De 005-keuring is enkel van toepassing bij uitrustingen voor openbare verlichting. Deze keuring is niet verplicht, maar voor het Vlaams Gewest levert een 005 gekeurd toestel een meerwaarde. De gemeenten krijgen namelijk subsidies als ze een 005 gekeurd toestel laten plaatsen. De keuring zelf gebeurt door een overkoepelend orgaan waar technici van verschillende DNB's van België in zetelen. Dit orgaan heeft de naam Synergrid en voorziet de keuring indien die wordt aangevraagd. De testen gaan van het mechanische aspect naar het elektrisch aspect en het elektronisch aspect. Wanneer het apparaat door de keuring geraakt wordt het toegevoegd aan de lijst met goedgekeurde materialen [43]. Deze lijst is voornamelijk voor de gemeenten om hun verlichtingstoestellen en andere openbare verlichtingsapparatuur uit te selecteren. Er dient op te merken dat de 005 keuring enkel van toepassing is in België en niet Europees is. Tijdens de 005 keuring worden de gespecificeerde parameters die de leveranciers heeft opgegeven gecontroleerd. Zo wordt bijvoorbeeld bij een led-driver gecontroleerd of hij de opgegeven stroom kan leveren aan zijn uitgang. Het werkingsgebied kan worden getest en uit deze testen kan dan het minimaal vermogen worden opgesteld.

5.9 Conclusie

Een ledlamp is een geschikt toestel voor openbare verlichting. Het heeft een lange levensduur en een goed lichtbehoud. Er moet wel rekening worden gehouden met de juiste koeling van de ledlamp aangezien de temperatuur van de junctie in de led belangrijk is om de levensduur te verlengen. De ledlamp is zeer geschikt voor dimmen aangezien hierdoor het energieverbruik daalt en ook zijn levensduur toeneemt. Een geschikte driver voor een ledlamp is daarbij cruciaal omdat deze de ledlamp aanstuurt en voorziet van een constante stroom. Verder zal de keuze van de driver belangrijk zijn om de EMI te beperken.

6 Marktonderzoek

Dit hoofdstuk omvat het marktonderzoek. Daarin worden eerst de noden van de gemeenten bekeken, dit zijn de eisen waaraan het nieuwe verlichtingssysteem zal moeten voldoen. Daarna zijn de mogelijke aansturingsmogelijkheden uitgewerkt ter voorbereiding van het marktonderzoek. Dat geeft de aanleiding om de leddrivers beschikbaar op de markt, met elkaar te vergelijken. Na de leddrivers zijn de beschikbare interface modules vergeleken. Die twee vergelijkingen vormen het marktonderzoek en de resultaten zijn samengevat in een conclusie van het marktonderzoek. Gevolgd uit de conclusie van het marktonderzoek is de analyse van de locatie van de componenten op de lichtmast. Om het hoofdstuk af te ronden zijn oplossingen geformuleerd die de aansturing op stedelijk en landelijk niveau verklaren.

6.1 Noden van de gemeente

Door nieuwe technologieën en mogelijkheden rond het Internet of Things(IoT) zijn de noden van de gemeenten toegenomen. Ze zijn zich ervan bewust dat ze hun gemeenten een meerwaarde kunnen geven door bepaalde toepassingen te implementeren. Die toepassingen kunnen verschillend zijn, maar voornamelijk stellen ze energiebesparingen of gebruiksvriendelijkheid voor de bezoekers voor. Deze paragraaf bespreekt de voorliggende toepassingen en legt ze verder uit.

De openbare verlichting is een dienst die Infrax aanbiedt aan de gemeenten. Gemeenten betalen voor die dienst om licht te voorzien voor hun inwoners. Het belangrijkste aspect voor de gemeenten is dus een goede verlichting die zo veilig en goedkoop mogelijk is. Aangezien de gemeenten betalen voor de dienst openbare verlichting, zijn zij dus de belangrijkste klanten van Infrax. Vandaar dat Infrax zijn klanten tevreden wil houden, door aan de verzoeken van de gemeenten te voldoen.

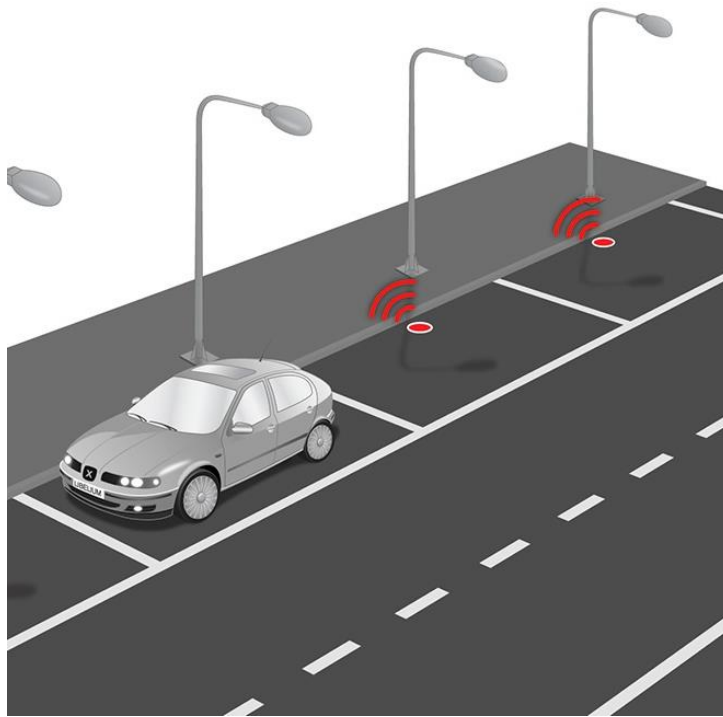
De voornaamste storende factor voor de gemeente is het blijven branden van de lampen op plaatsen waar het niet nodig is. Zo zijn er fietspaden die 's nachts verlicht worden terwijl er geen fietsers aanwezig zijn. Dat stoort aangezien energieverspilling een onnodige kost is. Door het dimmen van verlichtingstoestellen zou een deel van die energiekost kunnen dalen. In het huidige systeem wordt dimmen al toegepast, maar het gaat daarbij maar om dimmen tot 50 % van het vermogen. Het dimmen gebeurt via het avond-nacht signaal afkomstig van het CAB-signaal. De gemeenten vragen daardoor om verschillende dimniveaus zodat er meer energie bespaard wordt. Als tweede alternatief willen de gemeenten opties zoals bijvoorbeeld volgverlichting. Daarbij wordt er een bewegingsdetectiesensor in de lichtmast geplaatst. Figuur 46 geeft een voorbeeld van volgverlichting. Daar is duidelijk zichtbaar dat bij bewegingsdetectie het verlichtingstoestel op maximale brandstand gaat branden en waar geen bewegingsdetectie is het verlichtingstoestel op minimale brandstand gaat branden of zelfs uit gaat. Door volgverlichting toe te passen worden onnodige branduren uitgespaard en zal het verbruik dalen.



Figuur 46: Voorbeeld volgverlichting [44]

Naast het dimmen willen ook de inwoners graag licht voor hun woning, want dat zorgt voor een veilig gevoel. Dat maakt energie besparen moeilijker aangezien de inwoners wensen dat de lichtpunten aan hun huis ‘s nachts continu branden. Maar ook daarbij is dimmen een goed alternatief, een gedimd lichtpunt zorgt er nog steeds voor dat de bewoners zich veilig voelen, en tegelijk kunnen de gemeenten besparen door een lager verbruik. Het is wel belangrijk dat het minimale verlichtingsniveau nog steeds behaald wordt. Dat is nodig om aan de wetgeving te voldoen.

Naast de nood aan verlichting hebben de gemeenten nood aan andere opties. Een stad wil bijvoorbeeld aan de bezoekers aangeven waar parkeerplaatsen vrij zijn. Dat kan door in de lichtmast van het openbare verlichtingstoestel een ontvanger te plaatsen die signalen van de parkeerplaatssensoren ontvangt. In Figuur 47 is een voorbeeld van parkeerplaatssensoren gegeven. Daar is te zien dat waar er een parkeerplaats vrij is, de sensor een signaal geeft naar de lichtmast. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit signaal te verwerken en bij de bezoeker van de stad te brengen. Er is de mogelijkheid om de lichtmast te laten branden om zo aan te geven dat er daar een parkeerplaats vrij is, maar dat verbruikt weer heel wat energie. Een andere mogelijkheid is om de bezoeker via een applicatie te laten weten dat er een parkeerplaats vrij is op die locatie.



Figuur 47: Voorbeeld parkeerplaatssensoren [45]

Een grote stad zou graag bijkomende metingen uitvoeren in het centrum, zoals bijvoorbeeld CO₂-metingen, metingen van de verkeersdruk, temperatuursmetingen, metingen van de luchtvochtigheid of een meting van de algemene bezoekersdruk. Die metingen kunnen worden uitgevoerd door in een lichtmast een correct type sensor te plaatsen en via het hoofdsysteem de gegevens door te zenden naar de gemeenten [46].

Een volgend verlangen is dat de gemeenten de hulpdiensten (politie, ambulance en brandweer) willen bijstaan. Dat kan bijvoorbeeld door de verlichtingstoestellen te laten signaleren dat voertuigen van de hulpdiensten passeren of zich in de straat bevinden. Dit kan via de verlichtingstoestellen aan en uit te laten flikkeren. Daarvan zijn nog heel wat meer voorbeelden zoals wanneer een persoon in de gemeente naar de hulpdiensten belt dat voor het huis van de beller het verlichtingstoestel gaat flikkeren.

De gemeenten wensen ook andere mogelijkheden. Zo is het gewenst om alle verlichtingspunten te kunnen in- of uitschakelen bij bepaalde acties of bij een specifiek evenement. Een grotere gemeente zal allicht meer wensen hebben dan een kleine gemeente. Daarom zijn de noden van de gemeenten afhankelijk van de grootte van de gemeenten.

Uit de noden van de gemeenten is gebleken dat er nood is aan individuele aansturing van verlichtingstoestellen. Verder is er gebleken dat sensoruitlesing cruciaal is om metingen uit te voeren. Het nieuwe verlichtingssysteem moet die twee factoren zeker ondersteunen.

6.2 Aanstuurmogelijkheden

In deze paragraaf zijn verschillende universele aanstuurmogelijkheden beschreven. Voornamelijk zijn 0-10 V, DALI en DALI-editie 2 bekeken. Er is aandacht besteed aan het verschil tussen lineair en

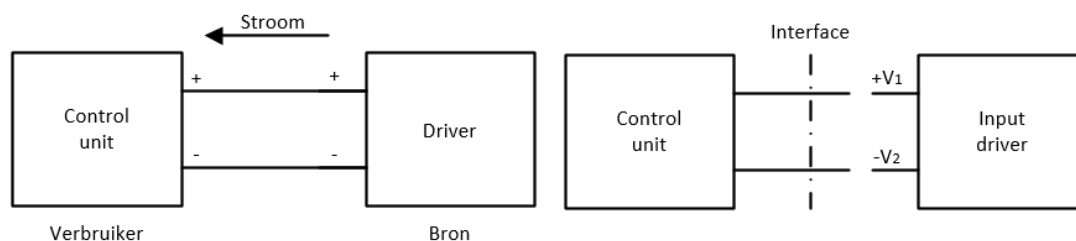
logaritmisch dimmen. DALI gebruikt namelijk logaritmisch dimmen terwijl lineair dimmen meer gekend en gebruikt is.

6.2.1 0-10 V

Om met een interface module een driver te sturen via een analoog signaal, is het noodzakelijk dat de interfaces van beide toestellen voldoen aan de norm (IEC60929 Annex E). Zo kan het dimsignaal van de interface module de driver aansturen met een staploze dimming van 0 % tot 100 % [47]. Figuur 48 rechts illustreert het basisprincipe van een 0 tot 10 V interface.

Met de spanning V_{12} is het mogelijk om de lichtsterkte te bepalen. Zo zal de intensiteit maximaal worden indien de spanning V_{12} tussen 10 V en 11 V bedraagt [47]. De minimale intensiteit wordt daarentegen bereikt wanneer de spanning kleiner is dan 1 V. Die toestanden worden ook wel de stabiele toestanden van de lamp genoemd. V_{12} kan ook geregeld worden binnen het domein van 1 V tot 10 V, de grootte van de spanning bepaalt dan de dimwaarde tussen de minimale en maximale toestand.

Het concept van deze interface is gebaseerd op het principe “verbruiker vs bron”. Daarbij wordt een kleine hoeveelheid stroom gestuurd op de 0-10 V interface om zo het circuit te sturen dat het dc-spanningsverschil creëert. In eender welke toepassing blijkt een toestel aanwezig te zijn dat de stroom aan de bron levert en een toestel waarbij de verbruiker de stroom afneemt. Om de driver en de aansturing samen te laten werken is het noodzakelijk om in elke toepassing correct te definiëren welke de bron is en welke de verbruiker (Figuur 48 links). Dat is belangrijk omdat niet elke driver deze standaard gebruikt.



Figuur 48: links: Verbruiker vs bron, rechts: 0-10 V interface [47], [48]

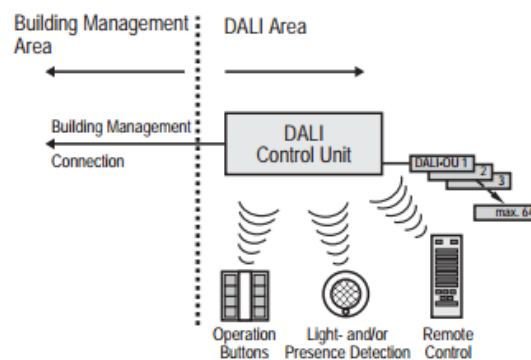
Het grote voordeel van deze interface is de eenvoud, vanwege de gemakkelijke implementatie doordat de kennis van dit systeem algemeen verspreid is bij de elektronicus. Een tweede voordeel is het gebruik van een lage stroom (min. 10 μ A en max. 2 mA) voor het aansturen van de interface [47]. Daardoor wordt het mogelijk om draden te gebruiken met kleine sectie en grote lengte zonder grote spanningsvallen te creëren. Toch heeft deze analoge interface ook enkele nadelen. Zo zal de gevoeligheid voor storingen en spanningsverandering de lichtsterkte onmiddellijk beïnvloeden. De aansluitmethode is een tweede nadeel indien er meerdere drivers gevoed worden, want dan zal elke driver met afzonderlijke draden verbonden moeten worden. Verder is het grootste nadeel van deze interface dat er geen feedback verstuurd wordt naar het lichtmanagementsysteem. Daardoor zal het lichtmanagementsysteem geen melding krijgen bij een defect. Aangezien Infrax naast het sturen ook parameters wil uitlezen, is deze interface dus niet toekomstgericht. De interface zou wel een goede oplossing zijn op plaatsen waar het uitlezen van parameters geen vereiste is.

6.2.2 Digital Addressable Lighting Interface of DALI

6.2.2.1 Principe DALI

Digital Addressable Lighting Interface (DALI) is een internationale communicatiestandaard die de interoperabiliteit garandeert tussen drivers of ballasten van verschillende producenten. Die interface is ontwikkeld in samenwerking met verlichtingsproducenten. Zo kon met standaard componenten en simpele bedrading een lage kost gerealiseerd worden voor een intelligent en functioneel licht managementsysteem. Vaak wordt DALI geïntegreerd als een gebouwautomatiseringssysteem, maar in deze masterproef wordt het DALI-protocol bekeken in functie van de interface module voor het aansturen van één leddriver of een aantal leddrivers.

Bij openbare verlichting kan de interface module en de driver dus gezien worden als een DALI-substelsel van een bovenliggend lichtmanagementsysteem (Owlet IoT, City manager, City Touch, of eventueel een eigen platform). Daarom is het belangrijk dat de interface van de driver het DALI-protocol begrijpt. Figuur 49 illustreert een standalone substelsel zoals toegepast zal worden in de verlichtingsarmaturen.



Figuur 49: Standalone substelsel van bovenliggend lichtmanagementsysteem [49]

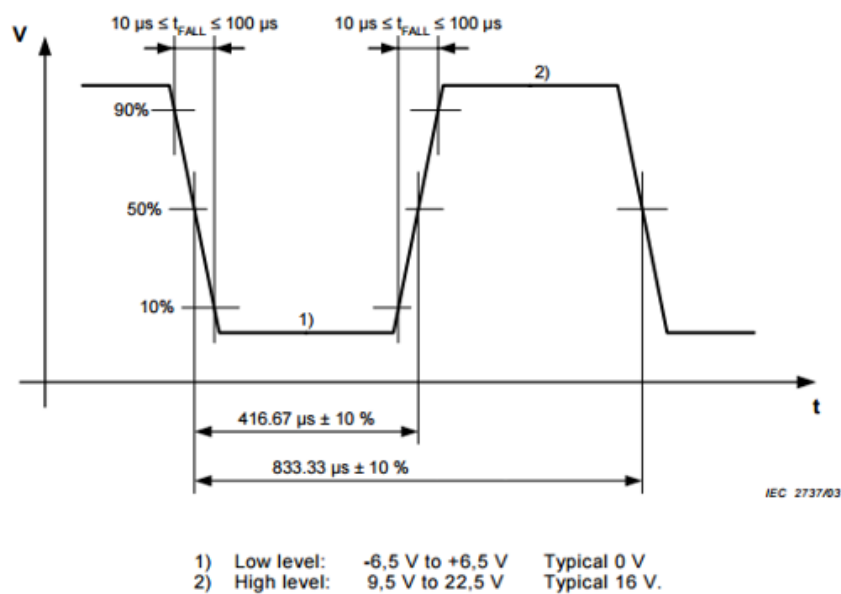
Om een DALI-bussysteem op te bouwen zijn er twee aansluitdraden (DA-, DA+) nodig en een speciale DALI-stroomvoorziening. Het bussysteem bestaat uit een master (interface module) en één of meerdere slaves (leddrivers). Het maximaal aantal adressen dat één master kan controleren op een bus is 64 slaves. Elk bussysteem heeft de mogelijkheid om deze slaves op te delen in maximaal 16 groepen en daarnaast ook 16 dimscenario's in te stellen [50]. Om de slaves individueel of in groep aan te spreken zal de master 16 bits gedecodeerd doorsturen volgens de Manchestercode. De slaves reageren hierop door 8 gedecodeerde bits terug te sturen indien dat gevraagd wordt door de master. Meer uitleg over de codering volgt in de volgende paragraaf.

6.2.2.2 Het DALI-protocol

Het DALI-protocol is een half-duplex³ communicatietechniek gebaseerd op Manchester codering. Manchester codering gebruikt stijgende en dalende flanken tussen gestandaardiseerde hoge en lage spanningen om frames van logische signalen te genereren. Elke bit gebruikt daarvoor een totale tijd

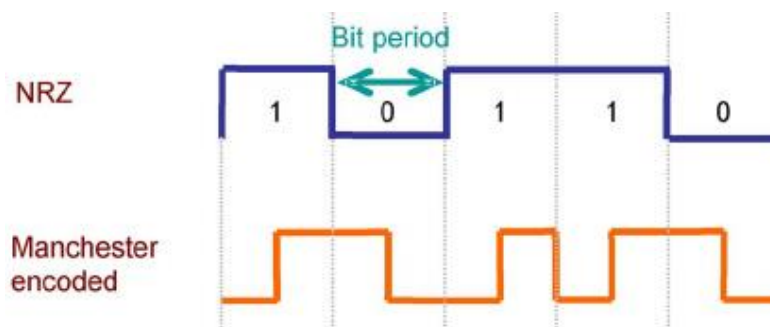
³ Half-duplex: Het versturen van informatie in twee richtingen maar niet tegelijkertijd.

van 834 μs met een maximale afwijking van $\pm 10\%$ (Figuur 50). Het hoge signaal van de zender wordt bereikt indien de klemspanning tussen 11,5 V en 20,5 V bedraagt en het lage signaal indien de klemspanning tussen -6,5 V en 6,5 V bedraagt. Voor de ontvanger zijn dat andere waarden want daar wordt het hoge signaal bereikt tussen 9,5 V en 22,5 V terwijl het lage signaal dan weer bereikt wordt tussen -4,5 V en 4,5 V. Toch is de typische waarde voor het hoge signaal 16 V en voor het lage signaal 0 V [47]. Standaard is er een hoog signaal aanwezig op de bus en zal er met een kortstondige kortsluiting een laag signaal gecreëerd worden. Figuur 50 illustreert een hoog en een laag signaal bij een stijgende flank.



Figuur 50: Stijgende flank Manchester codering [47]

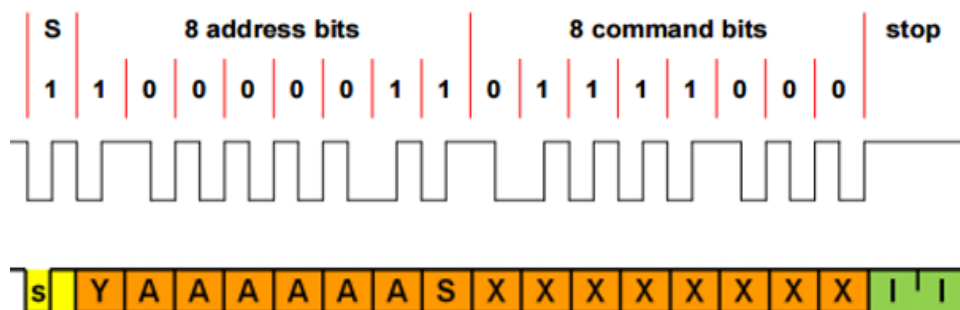
De flanksteilheid speelt ook een belangrijke rol. Daarom beschrijft de standaard hoe groot t_{FALL} moet zijn. t_{FALL} is groter of gelijk aan 10 μs en kleiner dan of gelijk aan 100 μs (zie Figuur 50). Ook zichtbaar op de figuur is het gebruik van twee vaste periodes (416,67 $\mu\text{s} \pm 10\%$). De vaste periodes zorgen ervoor dat juist tussen elke periode een overgang aanwezig is. Daardoor zal de synchronisatie tussen de zender en ontvanger éénvoudig worden (selfclocking). Een opmerkelijk eigenschap van de Manchester code is het niet gebruiken van binaire logica voor het verzenden van de bits. De logische 1 zal hierdoor overeenstemmen met een stijgende flank en de logische 0 met een dalende flank tijdens een periode van 834 μs . Figuur 51 toont het verschil tussen de Manchestercode en de traditionele Non Return to Zero (NRZ).



Figuur 51: Verschil tussen Manchester en NRZ [51]

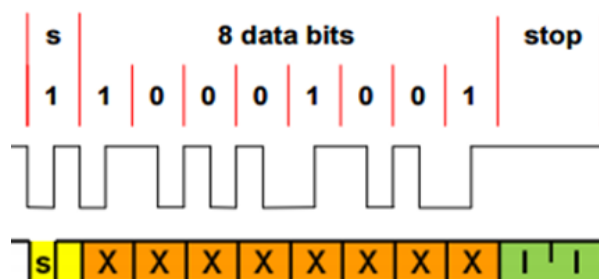
6.2.2.3 Forward en backward frame

De frames van het protocol zijn samengesteld uit forward en backward frame⁴. Het forward frame verzonden door de master, zendt 19 bits van de master naar de slave. De inhoud van de verschillende bits zijn een start bit, adres byte, data byte en twee stop bits. De start bit “s” geeft aan met een logische één wanneer het verzenden van de verschillende bits start. De daaropvolgende adres byte verklaart of de master één adres of een groep van adressen wil aanspreken. Indien ‘Y’ gelijk is aan een logische nul spreekt de master met één van de 0 tot 63 adressen en wanneer ‘Y’ gelijk is aan een logische één zal de master de keuze hebben uit 16 mogelijke groepen of een broadcast⁵ naar alle adressen. De laatste bit van de adres byte, de selector bit ‘S’, is belangrijk want die geeft aan wat de inhoud is van de volgende data byte. Wanneer de selector bit gelijk is aan een logische nul dan is de inhoud van de data byte een dimwaarde, in het andere geval zal het een commando voorstellen. Na de data byte zal het frame afgesloten worden door twee stop bits. Zo weet de slave dat het frame volledig verzonden is. Figuur 52 illustreert de verschillende bits van het frame.



Figuur 52: Forward frame [50], [52]

Indien de master vraagt om informatie terug te zenden stuurt de slave een backward frame terug. Dit frame is in tegenstelling tot het forward frame een stuk korter aangezien het maar 8 data bits bevat. Natuurlijk worden die bits vergezeld van één start bit en twee stop bits zoals bij het forward frame. Figuur 53 illustreert een backward frame verzonden door de slave.



Figuur 53: Backward frame [50], [52]

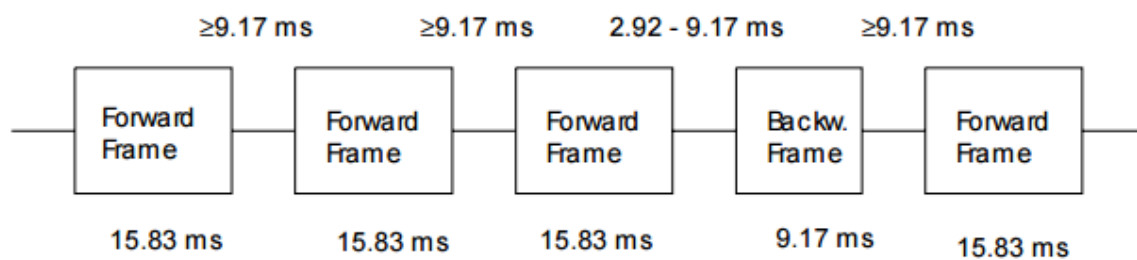
De slave kan dus individueel aangestuurd worden of via een broadcast, maar in het geval van Infrax zal de individuele aansturing niet noodzakelijk zijn aangezien er maar één slave (leddriver) aanwezig is in het armatuur. Indien Infrax dit toch nodig heeft, is het nog steeds mogelijk om individuele adressen toe te kennen zodat één controller meerdere slaves kan aansturen.

⁴ Frame: Datapakket bestaande uit meerdere bits.

⁵ Broadcast: Een datapakket verzenden naar elke slave.

6.2.2.4 Frame timing

De communicatiesnelheid van 1200 bits per seconden met een afwijking van 10 % zorgt ervoor dat de bus relatief traag is. Het versturen van een pakketje via de master naar de slave duurt 15,83 ms. Het backward frame verzenden door de slave heeft daarentegen maar 9,17 ms nodig. Tussen twee forward frames is de rusttijd minimum 9,17 ms terwijl tussen een forward en backward frame maar 2,92 ms nodig zijn. Indien er dan bijvoorbeeld vier forward frames verzonden worden zal de tijd al snel oplopen naar 100 ms [47]. Hierdoor is de DALI-bus een relatief trage bus, maar wegens het beperkt aantal frames die nodig zijn voor het aansturen van een verlichtingsarmatuur zal dit voor weinig problemen zorgen in deze toepassing.



Figuur 54: De verschillende tijdsparre van een frame [47]

6.2.2.5 De signaaldraden

De twee signaaldraden (DA+, DA-) mogen in dezelfde kabel als de voedingskabel zitten (Figuur 55): er zijn dus geen speciale signaaldraden nodig. Om een lamp aan te sluiten is het daarom perfect mogelijk om een vijf aderige kabel (aarding, fase, nul, DA+, DA-) te gebruiken. Er moet wel opgelet worden dat de juiste doorsnede gehanteerd wordt zodat de maximale spanningsval van 2 V niet overschreden wordt tussen de master en de slave. Daarbij moeten volgende regels in acht genomen worden:

- kleiner dan 100 m een minimum doorsnede van 0,5 mm²,
- tussen 100 m en 150 m een minimum doorsnede van 0,75 mm²,
- groter dan 150 m een minimum doorsnede van 1,5 mm²,
- de maximale lengte van de signaalkabel is 300 m.

Aangezien de afstand tussen de interface module en de driver maximum enkele meters bedraagt, is een signaaldraad met sectie 0,5 mm² mogelijk.



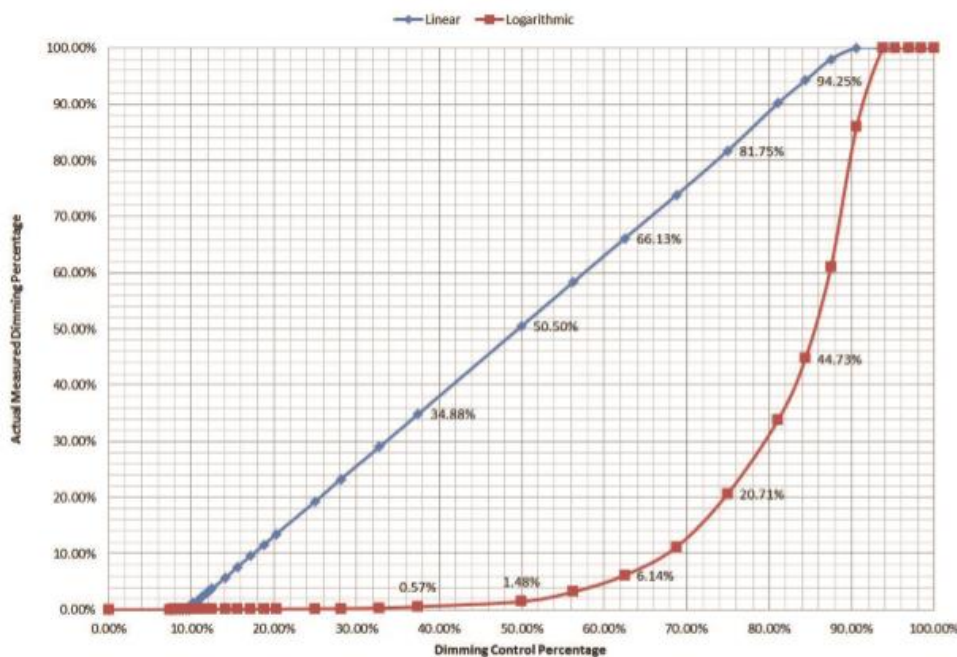
Figuur 55: Vijf aderige kabel met DA- en DA+ [53]

6.2.2.6 Logaritmisch dimmen

Lineair dimmen is de meest gekende dimprocedure. Toch definieert DALI een logaritmisch dimprofiel. Dat lost het probleem op bij een lineair profiel, wanneer er aan het einde van het dimniveau grote verschillen in lichtniveau optreden. Daardoor wordt een overgang soms als een stap gezien en niet als een vloeiende overgang. Voor de herkenning van het oog is een logaritmisch verloop dus een betere oplossing. DALI definieert daarom een logaritmisch verband tussen het dimlevel en de lichtsterkte. De verschillende dimlevels worden opgeslagen als een bytes in het geheugen en zullen specifieke stromen voorstellen aan de uitgang van de module (Figuur 56) [54]. Zo kan met een level van 1 tot 254 de lichtsterkte aangepast worden. Waarbij level 1 staat voor 0,1 % van de lichtsterkte en level 254 voor 100 % [55]. De verschillende stapniveaus volgen elkaar op met een constante van 2,8 %. Deze constante kan berekend worden volgens onderstaande formule. Daarbij stelt n het dimlevel voor en X de lichtsterkte in procent.

$$X(n) = 10^{\frac{n-1}{253}-1} \quad (10)$$

$$\left| \frac{X(n) - X(n+1)}{X(n)} \right| = cte = 2,8 \% \quad (11)$$



Figuur 56: Logaritmische t.o.v. lineaire dimcurve [54]

Daarnaast definieert de standaard een dimtijd en dimsnelheid. De dimtijd is de tijd nodig om te wisselen van het voorgaande dimlevel naar het nieuwe dimlevel. De dimsnelheid is het aantal stappen per seconde waarmee het licht zal veranderen. De dimsnelheid is maximaal 358 stappen per seconde terwijl minimaal 2,8 stappen per seconden mogelijk zijn [56]. Er zijn maximaal 15 dimscenario's mogelijk aangezien dimscenario 0 geen dimtijd heeft. Bijvoorbeeld in dimscenario 7 is de dimsnelheid 44,7 stappen per seconde terwijl de dimtijd 5,7 stappen per seconde bedraagt (Tabel 6).

Tabel 6: Dimscenario's [56]

Dimscenario	Dimtijd (s)	Dimsnelheid (stap/s)
0	/	/
1	0,7	358
2	1	253
3	1,4	179
4	2	127
5	2,8	89,4
6	4	63,3
7	5,7	44,7
8	8	31,6
9	11,3	22,4
10	16	15,8
11	22,6	11,2
12	32	7,9
13	45,3	5,6
14	64	4
15	90,5	2,8

6.2.2.7 Commando's

DALI maakt gebruik van bidirectionele communicatie. Daarom wordt DALI verkozen boven andere lichtcontroleprotocollen zoals 0-10 V en DMX. Het uitwisselen van informatie tussen de slave en de master brengt namelijk belangrijke voordelen met zich mee. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk het dimlevel aan te passen, de lamp aan en uit te schakelen en te detecteren of de lamp defect is. Om informatie uit te wisselen zijn hiervoor verschillende commando's ter beschikking namelijk:

- stuurcommando's voor dimming;
- configuratie commando's voor de instellingen aan te passen;
- query commando's voor feedback van de lamp status;
- speciale commando's.

Voornamelijk zijn voor Infrax de stuurcommando's en de query commando's belangrijk. De configuratie commando's zijn van toepassing bij de implementatie van de installatie of wanneer het minimaal dimniveau aangepast dient te worden. De stuurcommando's voorzien de aansturing van het verlichtingstoestel. De query commando's gaan de verschillende statussen opvragen van het verlichtingstoestel. Zo kan via het query commando 'Query Lamp Failure' opgevraagd worden of er een probleem is met de lamp.

Voor Infrax lijkt de keuze voor DALI overbodig, aangezien 0-10 V eenvoudiger is. Maar aangezien de nieuwe editie van DALI extra functies met zich meebrengt zal DALI editie 2 opportuniteiten bieden naar de toekomst toe. Meer uitleg over deze opportuniteit volgt in paragraaf 6.2.2.8.

De oude DALI standaard is gedefinieerd in de norm IEC 60929. Sinds de introductie van leds is er een vernieuwde versie van het protocol beschikbaar namelijk IEC 62386. DALI editie 2 is ontwikkeld om de tekortkomingen op gebied van interoperabiliteit aan te vullen. Zo wordt naast de introductie van nieuwe functies de basis gelegd voor de integratie van input toestellen. Daarbij wordt rekening gehouden met omgekeerde compatibiliteit. Vandaar dat toestellen met hardware en software van DALI editie 2 ook toestellen van de editie één kunnen aansturen.

Het grote voordeel van DALI editie 2 is de mogelijkheid om gedetailleerde informatie uit te wisselen met het aangesloten controlesysteem. Zo kan met query commando's het aantal branduren, aantal schakelingen, het opgenomen vermogen, de temperatuur en de elektrische parameters verstuurd worden via DALI editie 2. Natuurlijk moet de hardware van de slave deze parameters wel ondersteunen. In dat geval kan de informatie dienen voor preventief onderhoud uit te voeren, gestuurd vanuit een centraal managementsysteem. Bij gebruik van editie één zou dit niet mogelijk zijn.

Om de interoperabiliteit te garanderen heeft de nieuwe DALI-standaard een onafhankelijke keuringsorganisatie opgericht, Digital Interface Illumination Alliance (DiiA). Deze organisatie is een non-profit organisatie die het gebruik van DALI promoot en ondersteunt. Hierdoor kan een DALI editie 2 toestel alleen op de markt komen wanneer deze goedgekeurd is door DiiA [57].

6.2.3 Conclusie

De implementatie van een 0-10 V interface is eenvoudig maar heeft enkele pijnpunten. Het voornaamste pijnpunt is dat er geen feedback gegeven wordt naar het lichtmanagementsysteem. Dat maakt deze interface niet toekomstgericht. Desondanks zou deze interface wel bruikbaar zijn op plaatsen waar het uitlezen van parameters geen noodzaak is. Echter dient er dan rekening mee gehouden te worden dat storingen en spanningsvariaties de lichtintensiteit kunnen beïnvloeden.

De DALI interface is betere keuze omdat verschillende verlichtingsproducenten samen dit protocol hebben ontwikkeld. Hierdoor is een makkelijke opbouw van een systeem mogelijk met twee standaard draden. Daarnaast gebruikt DALI een master-slave principe waardoor feedback met een backward frame mogelijk is. Een nadeel van het protocol is dat de bus relatief traag is, maar dit vormt geen probleem aangezien Infrax de bus hoofdzakelijk gaat gebruiken voor één leddriver.

Toch schiet de Dali editie 1 te kort aan de noden van Infrax. Voornamelijk omdat het centraal managementsysteem meer parameters wil uitlezen in zijn query commando's. Daarom biedt DALI editie 2 de oplossing. Deze zal de tekortkomingen in de query commando's opvangen zodat preventief onderhoud toegepast kan worden. De onafhankelijke keuringsinstantie DiiA promoot en ondersteunt DALI editie 2 waardoor een goede toekomst verzekerd is.

6.3 Beschikbare leddrivers

Er zijn verschillende producenten van leddrivers. Veel producenten van verlichting bieden namelijk ledverlichtingstoestellen aan, en daarvoor zijn, zoals verklaard in hoofdstuk 5.5, drivers nodig. Dat heeft ertoe geleid dat er verschillende types van leddrivers op de markt zijn met ieder hun specificaties. Dit deel omvat een vergelijking tussen 005 gekeurde drivers gekeurd door Synergrid. Daarbij dient op te merken dat de 005 gekeurde drivers voornamelijk van Osram en Philips zijn. Infrax heeft op dit moment vier verschillende ledverlichtingsarmaturen in hun lichtplan, Tabel 7 geeft die ledverlichtingsarmaturen in een overzicht weer. Het aantal lumen, het aantal leds en de nominale stroomsterkte zijn gegevens verkregen uit de database van Infrax. De voedingsspanning van de leds of de uitgangsspanning van de driver (U_{Driver}) is een berekening volgens de doorlaatspanning (U_{Doorlaat}) van de led vermenigvuldigd met het aantal leds. De doorlaatspanning bedraagt ongeveer 3,2 V [57]. De doorlaatspanningswaarde is genomen van een neutraal witte led, dit is het type leds dat Schreder gebruikt in hun verlichtingstoestellen.

Tabel 7: Verschillende ledverlichtingsarmaturen van Infrax

Vermogen ledlamp (W)	Aantal lumen (lm)	Aantal leds	Nominale stroomsterkte (mA)	Voedingsspanning voor led (V)
25	2 700	16	350	51,2
36	4 000	24	500	76,8
58	6 700	40	500	128
81	10 000	80	350	256

6.3.1 Marktoverzicht leddrivers

Om de beschikbaarheid op de markt te bestuderen, moet er rekening gehouden worden met de nominale stroomsterktes en de vermogens van de ledlampen uit Tabel 7. In de vergelijking zijn er verschillende specificaties die tegen elkaar zijn afgewogen. Zo is het vermogen van de leddrivers vergeleken met het minimale vermogen dat de leddriver kan leveren. Daarnaast is de uitgangsstroom van de leddriver ook een specificatie die belangrijk is voor het aansturen van de ledlamp. Dat is de voedingsstroom voor de ledchips die de ledlamp vormen. Verder zijn de interfaces waarmee de drivers compatibel zijn, de startstroom en de total harmonic distortion (THD) vergeleken om het marktonderzoek te verdiepen. De laatste vergelijking is de kabelsectie voor de aansluiting naar de driver (de voeding) en de kabelsectie komende van de driver naar de ledlamp vergeleken. In Tabel 8 en Tabel 9 is de vergelijking gemaakt tussen 2 Osram drivers en 10 Philips drivers. Deze selectie komt uit het Synergrid document “Lijst van goed gekeurde leddrivers”, met de Philips SR leddriver als uitzondering. Daarbij dient er vermeld te worden dat er op dit moment 41 goedgekeurde drivers zijn, maar de selectie is gemaakt aan de hand van het vermogen van de leddrivers en de interface waarmee ze compatibel zijn. De leddrivers gebruikt door Infrax op dit moment zijn ook opgenomen in de selectie. Daardoor wordt het vergelijkingsgebied verbreed. De meeste van de drivers hebben een voorprogrammeerbare interface. Bij Osram en bij Philips heten deze anders, maar zijn ze identiek in functie van de werking. Die interfaces bieden geen meerwaarde in dit onderzoek aangezien ze op voorhand geprogrammeerd moeten worden en niet herprogrammeerbaar zijn via een extern signaal.

De Xitanuim 150W 0.7A 120-227V SR is nog niet 005 gekeurd. Deze leddriver wordt op dit moment gekeurd door Synergrid. De SR leddriver is een nieuwe reeks van de Philips leddrivers waarbij de

interface module gevoed wordt via de driver. Dat levert een betere veiligheid naar blikseminslag. Er zijn op dit moment twee types van SR leddrivers met respectievelijk een vermogen van 150 W en 70 W. In augustus 2017 komen de 22 W en de 40W SR leddrivers ook op de markt. De SR leddrivers hebben meer mogelijkheden dan de oudere type leddrivers. Zo kan er informatie over de ledlamp zoals het aantal branduren, het aantal aan- en uitschakelingen en dergelijke uit de SR leddriver worden opgehaald. De informatie kan enkel via het DALI 2.0 protocol opgevraagd worden maar is belangrijk naar het preventief onderhoud van het verlichtingstoestel.

Tabel 8: Marktbeschikbaarheid drivers deel 1

Specificaties	1	2	3	4	5	6
Leverancier	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips	Philips
Naam driver	Xi FP 22W 0.3-1.0A SNLDAE 230V S175 sXt	Xi LP 40W 0.2- 0.7A S1 230V S175 sXt	Xi FP 40W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S175 sXt	Smartbox Xitanium Full Prog 70W 1000 NL1 C150 Xt	Xi FP 75W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt	Xitanium 75W 0.35- 0.7A GL Prog+ sXt
Vermogen Driver (W)	22	40	40	70	75	75
Minimaal vermogen Driver (W)	6,3	12,3	9,4	4	13,1	25
Uitgangsstroom (mA)	300 – 1000	200 – 700	200 – 700	350 – 1000	200 – 700	350 – 700
Interface	DALI	1-10 V	DALI	DALI	DALI	1-10 V/ DALI
Startstroom (A)	15	27	22	6	46	108
THD (%)	8	10	8	9	7	15
Kabelsectie Ingang (mm²)	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5	0,5 – 2,5	0,2 – 2,5	0,82
Kabelsectie Uitgang (mm²)	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5	0,3 – 1,5	0,2 – 2,5	0,82

Tabel 9: Marktbeschikbaarheid van drivers deel 2

Specificaties	7	8	9	10	11	12
Leverancier	Philips	Philips	Philips	Philips	Osram	Osram
Naam driver	Xitanium 100W Prog+ 0.35-0.7A GL-Z-Can	Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt	Xitanium 150W 0.7A 120-277V SR	Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt	3DIM LT+ E	4DIMLT2 E
Vermogen Driver (W)	100	110	150	150	150	40 - 165
Minimaal vermogen Driver (W)	32	6,5	45	24,5	13	16
Uitgangsstroom (mA)	350 – 700	100 – 1000	0.07 – 700	200 – 700	350 – 700	350 - 1050

Interface	1-10 V/ DALI	DALI	SR	DALI	DALI	DALI
Startstroom (A)	80	6	133	53	58	45
THD (%)	15	8	10	7	15	10
Kabelsectie Ingang (mm ²)	0,82	0,5 – 2,5		0,2 – 2,5	0,2 – 2,5	0,2 – 1,5
Kabelsectie Uitgang (mm ²)	0,82	0,3 – 1,5		0,2 – 2,5	0,2 – 1,5	0,2 – 1,5

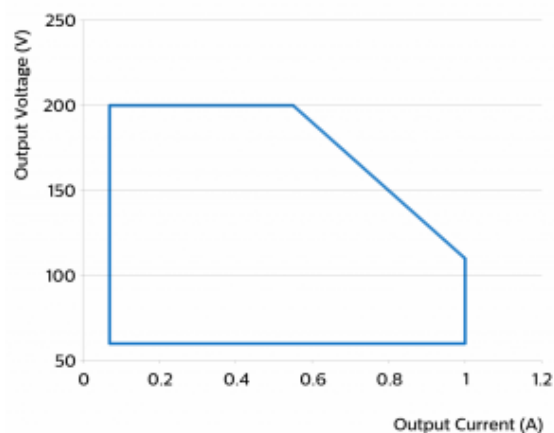
6.3.2 Universele driver

Een universele driver is een leddriver die toepasbaar is in alle nieuwe verlichtingstoestellen. Die leddriver zal de nodige vermogens kunnen leveren, zowel minimaal als nominaal. Daarnaast maakt een universele driver onderhoud gemakkelijk, aangezien er maar een type leddriver besteld moet worden of op voorraad moet zijn. Er zijn drie leddrivers die aan de criteria voldoen:

- de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt van Philips;
- de Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt van Philips;
- de 4DIMLT2 E van Osram.

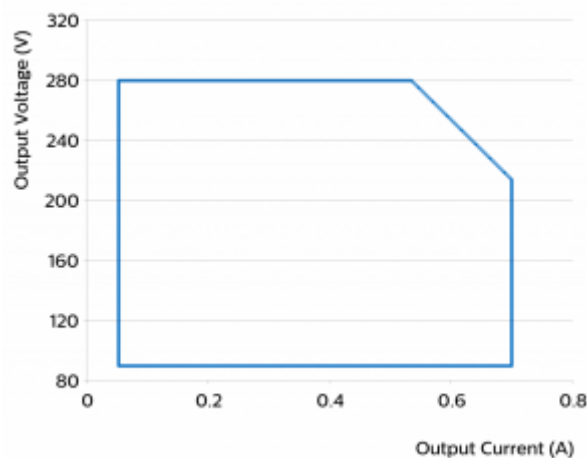
Er dient worden opgemerkt dat de bovenstaande leddrivers enkel de DALI-interface ondersteunen waardoor de 0-10 V/1-10 V interface wegvalt. Er kan een verschil tussen de drie worden gemaakt door de waarde van de startstromen met elkaar te vergelijken. Naast de startstroom moet de werkingsgrafiek worden gecontroleerd. De 4DIMLT2 E heeft als laagste vermogen 16 W, maar in de 4DIMLT2 E reeks zijn er vier verschillende vermogens die vooraf gespecificeerd moeten zijn. Er is geen versie van de 4DIMLT2 E die zowel het hoogste als het laagste vermogen van Tabel 7 kan leveren, dus daardoor is de 4DIMLT2 E niet geschikt als universele driver.

Om te bepalen welke drivers als universele driver kunnen dienen moet het werkgebied worden gecontroleerd. Figuur 57 maakt zichtbaar dat de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt niet bruikbaar is als universele driver. De laagste uitgangsspanning van Tabel 7 bedraagt 51,2 V en de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt levert als minimale spanning 60 V. Bovendien kan deze leddriver de maximale spanning van 256 V niet leveren. Daardoor ook is deze driver ongeschikt als universele driver.



Figuur 57: Werkingsgebied Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt [58]

Figuur 58 maakt zichtbaar dat de Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt de hoogste spanning (256 V) kan leveren, maar de laagste spanning (51.2 V) niet. Daardoor is deze driver niet geschikt als universele driver.



Figuur 58: Weringsgebied Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt [59]

6.3.3 Conclusie

Uit het marktoverzicht wordt duidelijk dat afhankelijk van het vermogen van de lampen één driver wegvalt. Namelijk de eerste driver want deze heeft een vermogen van 22W terwijl het laagste vermogen 25W bedraagt. Wanneer alleen het vermogen als determinerende factor wordt meegenomen, zou de eenvoudigste keuze een leddriver met een hoger vermogen dan 81W zijn. Dat is niet het geval omdat een leddriver ook een minimaal vermogen heeft. Het minimaal vermogen is het laagste vermogen dat de leddriver kan leveren zonder dat de power factor en de THD-waarde te sterk afnemen. Een belangrijke opmerking daarbij is dat de power factor en de THD-waarde bij een laag vermogen minder van belang is. In het Synergrid document “Lijst met goed gekeurde leddrivers” is het minimaal vermogen niet voor alle leddrivers gespecificeerd. In de selectie die gemaakt is, hebben de drivers wel allemaal een minimaal vermogen.

Uit paragraaf 6.3.2 is gebleken dat een universele driver geen mogelijkheid is. Hierdoor moet er iedere keer een combinatie gemaakt worden tussen verschillende drivers met verschillende vermogens om de aansturing te voorzien. Een mogelijke combinatie zou bestaan uit drie leddrivers. De leddriver die het hoogste vermogen (81 W) van Tabel 7 kan leveren is de Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt. Het laagste vermogen (25 W) van Tabel 7 kan geleverd worden door de Xi FP 40W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S175 sXt. De twee tussenliggende vermogen (36 W en 58 W) kunnen geleverd worden door de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt. De optimale combinatie zou bestaan uit twee Osram 4DIMLT2 E drivers. De OT 90 4DIMLT2 E kan namelijk de drie laagste vermogens van Tabel 7 leveren. De OT 165DIMLT2 E kan het hoogste vermogen leveren. Bij het laagste vermogen (25 W) dat de OT 90 4DIMLT2 E moet leveren gaat de THD toenemen, de efficiëntie afnemen en de power factor dalen. Dat leidt ertoe om de gewenste of opgegeven waarde van THD, power factor en efficiëntie te behouden wanneer een combinatie van drie 4DIMLT2 E leddrivers wenselijk is. Een overzicht is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Leddriver combinaties

Vermogen ledlamp (W)	Nominale stroomsterkte (mA)	Voedingsspanning voor led (V)	Geschikte leddriver	
25	350	51,2	Xi FP 40W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S175 sXt	OT 90 4DIMLTE 2
36	500	76,8	Smartbox Xitanium	
58	500	128	Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt	
81	350	256	Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt.	OT 165DIMLT2 E

Als er gekozen wordt om met de SR leddrivers te werken is het nodig om verschillende SR leddrivers te implementeren. Aangezien de Xitanium 150W 0.7A 120-227V SR een minimaal vermogen heeft van 45W moet er voor de lagere vermogen van ledlampen een andere SR leddriver geselecteerd worden. Het feit dat deze SR leddrivers nog niet 005 gekeurd zijn, betekent dat ze op dit moment nog niet kunnen gebruikt worden. Maar wanneer de SR leddrivers 005 gekeurd zijn gaan deze de standaard drivers vormen. Een ander probleem bij de SR leddrivers is dat ze enkel de SR-interface ondersteunen. Daardoor zijn ze minder toepasbaar aangezien die SR-interface niet door alle interface modules ondersteund wordt.

Indien er gewenst is om 0-10 V/1-10 V ook aan te sturen is een universele driver niet mogelijk. Om die mogelijkheid te ondersteunen, moet er gekozen worden voor twee verschillende Philips leddrivers. Er zijn drie Philips leddrivers die de 0-10 V/1-10 V interface aanbieden, daardoor zijn er dus drie leddrivers geschikt voor de aansturing van de gewenste interface. De Osram leddrivers bieden de gewenste interface niet aan. De drie mogelijke leddrivers van Philips zijn weergegeven in Tabel 11. De Xi LP 40W is alleen compatibel met de 0-10 V/1-10 V interface en niet met DALI, de andere leddrivers zijn compatibel met de twee interfaces. In paragraaf 4.3 is de doorsnede van de kabel in de verlichtingsarmatuur aangehaald, die bedraagt 1,5 mm². Bij de drivers van Tabel 11 is de kabelsectie van de ingang slechts 0,82 mm². Dat zou een aanpassing van de bekabeling in het verlichtingsarmatuur betekenen, indien er met 0-10 V/1-10 V wenst gewerkt te worden.

Tabel 11: Conclusie marktoverzicht leddrivers compatibel met 0-10 V/1-10 V en DALI

Vermogen ledlamp (W)	Mogelijke leddrivers	
24	Xi LP 40W 0.2-0.7A S1 230V S175 sXt	Xitanium 75W 0.35-0.7A GL Prog+ sXt
36	Xitanium 75W 0.35-0.7A GL Prog+ sXt	Xitanium 100W Prog+ 0.35-0.7A GL-Z-Can
58	Xitanium 75W 0.35-0.7A GL Prog+ sXt	Xitanium 100W Prog+ 0.35-0.7A GL-Z-Can
81	Xitanium 100W Prog+ 0.35-0.7A GL-Z-Can	

6.4 Beschikbare interface modules

De interface module is de module die de aansturing van de leddriver voorziet. Er is de mogelijkheid om sensoren aan te sluiten op die module, indien dat gewenst is. Daarom heet die module soms ook de sensormodule.

Omdat er geen normering of standaardisatie is voor interface modules, zijn leveranciers vrij om hun interface modules te ontwikkelen naar hun eigen bedrijfsbeeld. Er zijn enkele minimale eisen waar een interface module moet aan voldoen voor openbare verlichting: die eisen zijn ontstaan door de groeiende IoT sector. De belangrijkste eis is dat de interface module een vorm van draadloze communicatie heeft met een hoofdsysteem. Die draadloze communicatie komt onder veel verschillende vormen voor. Zo kan de draadloze communicatie bijvoorbeeld verlopen via een mobiel netwerk, IEEE 802.15.4, het eigen systeem van de leveranciers, enzovoort. De draadloze communicatie voorziet de interface module met de juiste input signalen en die signalen worden door de interface module vertaald naar een output signaal voor de leddriver. Het output signaal moet onder de vorm van een dim interface (0-10 V of DALI) naar de leddriver verstuurd worden, dat betekent dat de interface module compatibel moet zijn met minstens één bepaalde dim interface. De sensoren kunnen ook een input vormen voor de interface module. Die gaat op zijn beurt de input signalen van de sensor verzenden naar het hoofdsysteem via de draadloze communicatie. Daarbij moeten de sensoren zelf een draadloos communicatieprotocol ondersteunen. Een andere eis is, zoals eerder aangehaald, dat de interface module signalen voor de leddriver voorziet. Daarbij moet de interface module een verbinding hebben met de leddriver, dat wordt duidelijk in hoofdstuk 6.4.1.

6.4.1 Verbinding tussen leddriver en interface module

De verbinding tussen leddriver en interface module kan op verschillende manieren gebeuren. De verbindingsmanier is afhankelijk van de interface module. Zo zijn er interface modules die een rechtstreekse verbinding met de leddriver hebben of een verbinding via een connector.

De rechtstreekse verbinding is de eenvoudigste manier van aansluiten. Daarbij worden de uitgangen afkomstig van de interface module rechtstreeks aangesloten op de overeenkomstige aansluitingen van de leddriver. Bij een rechtstreekse verbinding ontstaan er problemen bij het onderhoud. Stel dat de interface module stuk is, dan zou de onderhoudstechnicus het verlichtingsarmatuur moeten openen om de interface module te vervangen. Dat neemt veel tijd in beslag. De rechtstreekse verbinding is dus gemakkelijk om te implementeren, maar naar onderhoud toe niet de beste oplossing. Bovendien ondersteunt een rechtstreekse aansluiting geen sensoren. Daardoor zou er voor sensoren te kunnen gebruiken een tweede draadloos communicatiemiddel ontstaan.

Bij een verbinding via een connector zijn er twee types van connectoren ook wel sockets genoemd. Er is de Zhaga connector, ontwikkeld door de Zhaga groep die standaarden maakt voor ledapparatuur. Omdat de standaard betreffende de Zhaga connector nog in ontwerp is, zijn er op dit moment geen interface modules beschikbaar die compatibel zijn met de Zhaga connector. Het andere type van connector is van de National Electrical Manufacturers Association (NEMA). NEMA is net zoals Zhaga een groep die standaarden ontwikkelt. Daardoor is de NEMA 5/7 pin een gestandaardiseerde connector. De NEMA 5/7 pin is ook opgenomen in de ANSI C136.41-2013, de ANSI C136.41-2013 is de Amerikaanse standaard voor rijweg en de omgeving verlichting. De meeste leveranciers die een

interface module leveren met connector koppeling maken gebruik van een NEMA 5/7 pinconnectie, de connector of socket is weergegeven in Figuur 59. De connectie tussen connector en interface module wordt weergegeven in Figuur 60. De interface module heeft dus een speciale koppeling die past in de NEMA 5/7 pin. Er is wel degelijk een verschil tussen de NEMA 5 pin en de NEMA 7 pin. Het getal, 5 of 7, heeft betrekking op het aantal aansluitingen dat de connector heeft naar de driver toe. Zo heeft een NEMA 5 pin drie voedingscontacten en twee dimcontacten terwijl de NEMA 7 pin drie voedingscontacten heeft en vier dimcontacten. Figuur 61 geeft een voorbeeld naar de aansluitingen van een NEMA 7 pin. Door de standaardisatie van de NEMA-socket zal het DALI, 0-10 V of Dali editie 2 signaal via de +Dimming en -Dimming gaan, wat tot gevolg heeft dat er de NEMA-socket een universele koppeling vormt tussen de leddriver en interface module. Naar onderhoud toe is werken met een socket of connector gemakkelijker. Maar de NEMA-socket is niet alleen belangrijk voor onderhoud, er zijn voordelen indien het communicatieprotocol wijzigt of verandert. Zo kan de NEMA-socket gebruikt worden om over te gaan van een bluetooth verbinding, die enkel lokale programmatie toelaat, naar een draadloze verbinding die ook programmatie vanop afstand toelaat. Als de interface module stuk zou zijn, zou de onderhoudstechnicus enkel de interface module moeten vervangen, de vervanging gebeurt door de oude interface module van de socket te draaien en de nieuwe interface module erop te draaien. In dat geval wordt het verlichtingsarmatuur niet geopend, wat een tijdsbesparing tot gevolg heeft. In Figuur 61 staan naast de dim aansluitingen ook de sensor aansluitingen, dat maakt de NEMA 7 pin aansluiting veelzijdiger.



Figuur 59: NEMA 5/7 pin [60]



Figuur 60: Praktische koppeling tussen interface module en NEMA 5/7 pin [60]

Tabel 12: Marktoverzicht interface modules

Leverancier	Naam	Voedings- spanning (V)	Draadloze Communicatie	Interface	Connectie leddriver	Verbruik (W)
Telensa	Telecell	110 – 277	Mobiel Network	0-10 V/ DALI	NEMA	0,7
Schreder	Luco-P7	110 - 277	IEEE802.15.4/ Mobiel netwerk	0-10 V/ DALI	NEMA	0,9
Echelon	TOP900	100 – 480	IEEE802.15.4	0-10 V	NEMA	3
Cisco	Smart + Connect ed	120 – 277	Mobiel netwerk	0-10 V	NEMA	2
Flashnet	FRE- 220- NEMA	85 – 260	LoRaWAN	0-10 V/ DALI	NEMA	0,5
SELC	External CMS	105 – 305	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	NEMA	2
Sensus	Vantage Point LCM	120 – 277	FlexNet (eigen systeem)	0-10 V	NEMA	2,2
Tvilight	Skylite (Citysen se)	115 of 230	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	Rechtstreek s	2
Flashnet	FRE- 220	85 – 260	LoRaWAN	0-10 V/ DALI	Rechtstreek s	0,5
SELC	Internal CMS	105 – 305	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	Rechtstreek s	2
Illuminating concepts	ECM	90 – 277	IEEE802.15.4	0-10 V	Rechtstreek s	
CIMCON	iSLC- 3100-7P	85 – 264	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	NEMA	
Ziut	LoRa Telecont roller	85 – 265	LoRaWAN	0-10 V/ DALI	Rechtstreek s	

6.4.3 Conclusie

Uit het marktoverzicht (Tabel 12) wordt duidelijk dat de meeste interface modules de voedingsspanning van het elektriciteitsnet ondersteunen en dat de lichtcontrolemodules zowel 0-10 V als DALI compatibel zijn. Er zijn vier interface modules die geen DALI aankunnen. Uit hoofdstuk 6.3.3 is gebleken dat er door de huidige kabelsectie in de armatuur geen drivers compatibel zijn met 0-10 V/1-10 V. Indien de kabelsectie aangepast wordt, dan zal de 0-10 V interface een factor zijn naar het bepalen van de juiste keuze. Dat is op dit moment niet het geval. De meeste interface modules voorzien de DALI-interface. Aangezien dat het verbindingsprotocol tussen de leddriver en interface module vormt, is dit een belangrijke factor in de beslissing. De draadloze communicatie is voor verschillende interface modules anders. Daarbij is IEEE802.15.4 het meest dominant. Het mobiel netwerk wordt ook sterk ondersteunt door de interface modules. Modules met een eigen draadloze communicatie bieden geen meerwaarde onderzoek. Daardoor valt de VantagePoint LCM van Sensus weg. Uit hoofdstuk 6.4.1 kan geconcludeerd worden dat de keuze van een NEMA-connector een betere keuze is dan een rechtstreekse verbinding. Daardoor kan Tabel 12 worden omgevormd naar Tabel 13. Die tabel toont de mogelijke keuzes die gemaakt kunnen worden naar de selectie voor de eindbeslissing. Bij die eindselectie moet het verbruik van de interface module in rekening worden gebracht. Aangezien dat een extra verbruik vormt naar de vergelijking met het oude systeem.

Tabel 13: Conclusie marktoverzicht interface module

Leverancier	Naam	Voedings- spanning (V)	Draadloze Communicatie	Interface	Connectie leddriver	Verbruik (W)
Telensa	Telecell	110 – 277	Mobiel Netwerk	0-10 V/ DALI	NEMA	0,7
Schreder	Luco-P7	110 - 277	IEEE802.15.4/ Mobiel netwerk	0-10 V/ DALI	NEMA	0,9
Flashnet	FRE-220- NEMA	85 – 260	LoRaWAN	0-10 V/ DALI	NEMA	0,5
SELC	External CMS	105 – 305	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	NEMA	2
CIMCON	iSLC- 3100-7P	85 – 264	IEEE802.15.4	0-10 V/ DALI	NEMA	

6.5 Conclusie marktonderzoek

Om aan de noden van de gemeenten te voldoen is er nood aan individuele aansturing. Voor de individuele aansturing is een interface module nodig. De ideale interface module die Infrax wilt is niet beschikbaar op dit moment. Die zou namelijk twee aansturingsprotocollen moeten ondersteunen. Een aansturingsprotocol voor de sensoren en een ander voor de leddriver. Daardoor omvat de conclusie enkel wat er op dit moment beschikbaar is.

Uit het marktonderzoek is gebleken dat een NEMA 7 pin connector de beste optie is op dit moment. Dat komt doordat een rechtstreeks aangesloten interface module een slechtere ontvangst heeft, omdat die zich in de lichtmast bevindt. Bovendien gaat het onderhoud moeilijker en langer verlopen. Dat komt door het openen van het verlichtingstoestel en het verwijderen van de interface module bij het

onderhoud van rechtstreekse aansluiting. Bij de NEMA 7 pin connector aansluiting kan de interface module verwijderd worden van de connector en zo vervangen worden. Bovendien is er nog een ander voordeel. Wanneer het armatuur vervangen moet worden en de interface module nog in goede staat verkeerd, kan die van het oude armatuur verwijderd worden en geplaatst worden op het nieuwe armatuur. Voor de leddrivers gaat de keuze uit naar een combinatie van drie Philips drivers. De Xi FP 40W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S175 sXt voor de laagste vermogens gecombineerd met de Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt voor het hoogste vermogen en de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt voor de tussenliggende vermogens. Die drivers ondersteunen DALI. DALI biedt voordelen naar de bekabeling in de armatuur. Een 0-10 V aansturing heeft namelijk een ingangskabelsectie van 0,82 mm² wat betekent dat er een kabelsectie reductie moet gebeuren voor de ingang van de leddriver.

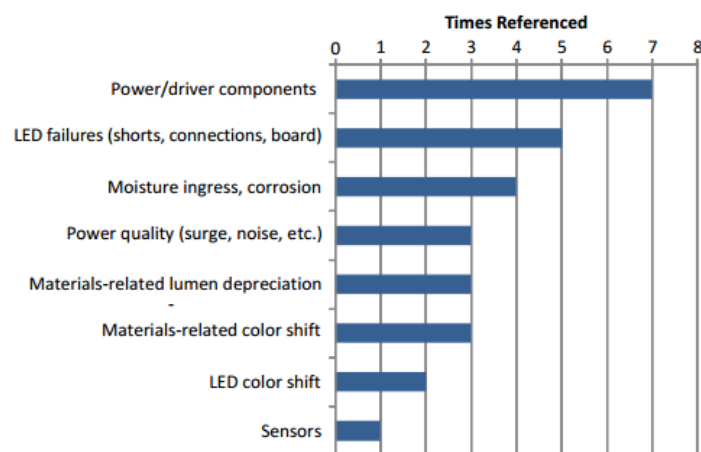
6.6 Aansturing op lichtmastniveau

Voor de aansturing op lichtmastniveau wordt er voornamelijk gekeken naar de posities van de componenten die de aansturing voorzien. Daarbij zijn verschillende mogelijkheden die ieder hun voor- en nadelen hebben.

Voor de leddriver ligt de positie vast. Want de leveranciers leggen een maximale lengte van 2 meter op voor de afstand tussen de leddriver en de ledlamp. De lengte van een verlichtingsmast is 8 tot 12 meter. Daardoor zou de leddriver op een hoogte van 6 tot 10 meter terecht komen. Dat afstandsverschil biedt geen meerwaarde, aangezien er nog steeds een hoogtewerker nodig is om onderhoud uit te voeren aan de leddriver. De hoogtewerker vormt een hogere kost voor Infracore, daarom is het beter om de leddriver zo dicht mogelijk bij de ledlamp te houden, om EMC-problemen te voorkomen en snelle regeling te garanderen.

De interface module kan zowel beneden aan de lichtmast worden geïnstalleerd als bovenaan de lichtmast. De interface module onderaan de lichtmast biedt meer nadelen dan voordelen. Het grootste voordeel is dat er geen hoogte werker nodig is om onderhoud aan de interface module uit te voeren. Een ander voordeel is dat er minder trilling zijn beneden aan de lichtmast. Aangezien de leddriver zich bovenaan de lichtmast bevindt is het nog steeds nodig om een hoogte werker te gebruiken. Daardoor is de optie voor de interface module bovenaan de lichtmast te plaatsen de betere keuze. Zo bevinden alle aanstuur componenten zich op dezelfde locatie wat het opnieuw makkelijker maakt voor onderhoud. Bovendien is er bovenaan de lichtmast een betere ontvangst voor een draadloos signaal door minder obstakels aangezien er minder diffractie door obstakels optreedt. Hiernaast wordt de kans op diefstal verminderd door de hoogte. Ook wordt de antenne vorming, wat EMC-problemen met zich meebrengt, van de kabels verminderd omdat er een kortere lengte gebruikt is bij de interface module bovenaan de lichtmast.

Samenvattend gaan de aansturingscomponenten bovenaan de lichtmast geplaatst worden, dit komt voornamelijk door de leddriver die steeds bovenaan de lichtmast moet staan. Hierdoor is er iedere keer een hoogtewerker nodig bij onderhoud. Bovendien biedt de interface module bovenaan de lichtmast meer voordelen dan onderaan de lichtmast. In Figuur 62 is te zien dat de meeste storing bij ledlampen komen door de leddriver. Dat betekent dat het meeste onderhoud moet gebeuren aan de leddriver: de keuze om alle componenten bovenaan de lichtmast te plaatsen wordt daardoor verder gestaafd.



Figuur 62: Meest voorkomende storingen bij ledlampen [62]

6.7 Aansturing op stedelijk niveau

Voor de aansturing op stedelijk niveau wordt voornamelijk gekeken naar wat de eisen zijn om een toekomstveilig concept te hebben. Op dit moment is het internet of things (IoT) nog niet volledig ontwikkeld en niet definitief. Daardoor zijn er nog verschillende toekomstige ontwikkelingen mogelijk. Daaronder valt bijvoorbeeld de implementatie van parkeersensoren die via een applicatie de gebruiker laten weten waar er parkeerplaatsen vrij zijn. Een ander voorbeeld is het meten van CO₂ of het meten van de verkeersdruk. Om die applicaties en/of metingen te ondersteunen, zijn er sensoren nodig. Er dient opgemerkt te worden dat de applicatie en metingen voornamelijk hun toepassing hebben in het centrum van de gemeenten en niet aan de rand.

Om die nieuwe sensortechnologieën te ondersteunen, wil Infrax aan de gemeenten de verlichtingstoestellen aanbieden als koppelmechanisme. Ieder verlichtingstoestel waar een sensor bij wordt geplaatst, moet voorzien zijn van een interface module om de sensorgegevens te verzenden naar het hoofdsysteem. Dat is voornamelijk opdat de stedelijke infrastructuur niet moet worden aangepast voor een nieuwe bekabeling van de sensoren, aangezien de sensorcommunicatie zo via de verlichtingstoestellen kan gaan.

Op dit moment bevinden zich vier kabels van 1,5 mm² in de verlichtingstoestellen. Waaronder twee voedingskabels (avondfase en nachtfase), een nul geleider en een aarding. Er zijn door de toevoeging van de interface module slechts drie kabels nodig omdat de LineSwitch overbodig is. De LineSwitch valt weg doordat ieder verlichtingstoestel gestuurd gaat worden via de interface module.

Er zijn verschillende mogelijkheden voor de overige fasekabel. Een eerste optie is de overige fase te hergebruiken als backupsysteem bij het falen van de interface modules. Daarvoor kan het huidige CAB-systeem hergebruikt worden, maar dat is alleen nodig als back-up systeem en niet als hoofdsysteem. Bij het falen van de interface module zal via het CAB-systeem de verlichtingstoestellen nog steeds aanschakelen. Er is op dit moment geen mogelijkheid tot dimmen, maar de verlichtingstoestellen branden wel via het backupsysteem.

Een andere optie is de vierde kabel verwijderen uit de lichtmast en geen aftakking doen naar vier kabels, daarbij wordt de EXVB3G10 behouden er kan wel gekozen worden om naar een dunnere kabelsectie te gaan. Door dat de interface module slechts één voedingskabel nodig heeft, kunnen de twee andere kabels van de EXVB3G10 gebruikt worden als nul geleider en aarding. Daardoor

transformeert het huidig verlichtingsnet naar een TN-S net. Dit TN-S net maakt het op zijn beurt mogelijk om een differentieel te gebruiken. De lichtmastbeveiliging verbetert daardoor ook door de verbetering van de aarding.

De laatste optie is overgaan naar een gelijkspanningsnet. Daarbij wordt de vierde kabel opnieuw overbodig. Dus kan men de kabelsectie van de EXVB3G10 verkleinen bij het binnengaan van de lichtmast in de plaats van de aftakking. Er is dus één voedingskabel aanwezig en een nulgeleider voor het gelijkspanningsnet. De derde geleider kan gebruikt worden voor de aarding.

6.8 Aansturing op landelijk niveau

De aansturing op landelijk niveau is verschillend van de aansturing op stedelijk niveau. Dat komt voornamelijk doordat er minder vraag is naar sensoren en individuele regeling van verlichtingstoestellen. Daardoor moet niet ieder verlichtingstoestel voorzien zijn van een interface module. Op landelijk niveau zijn er verschillende manieren om de verlichtingstoestellen aan te sturen.

Bij een van de mogelijkheden is het de bedoeling dat een interface module meerdere verlichtingstoestellen gaat aansturen. Daarvoor zijn extra componenten nodig en moet de leddriver LineSwitch ondersteunen. Een van de extra componenten is een DALI-relais om de LineSwitch fase, neem bijvoorbeeld de avondfase, af te schakelen via een DALI-signaal. Door de LineSwitch fase af te schakelen gaan de verlichtingstoestellen via de leddrivers automatisch naar de voorgeprogrammeerde dim stand. Daardoor worden nog steeds alle draden in de lichtmast gebruikt. Het DALI-signaal is afkomstig van de hoofdlichtmast waar de interface module op gekoppeld is.

Een andere mogelijkheid is alle verlichtingstoestellen voorzien van een interface module. Dat is niet ideaal, maar het biedt voordelen naar het overschakelen naar een laagspanningsnet. Aangezien bij een laagspanningsnet iedere lamp rechtstreeks aangesloten is op het net. Door ieder verlichtingstoestel van een interface module te voorzien, is de sturing aanwezig en worden kosten bespaard bij de overschakeling. De besparing komt doordat er geen extra componenten nodig zijn. Indien er gekozen wordt om op ieder verlichtingstoestel een interface module te plaatsen op landelijk niveau, ontstaat er dezelfde problematiek rond de vierde kabel in de lichtmast. Hiervoor kunnen dezelfde oplossingen gebruikt worden als voor aansturing op stedelijk niveau.

7 Besluit

De hoofddoelstelling van deze masterproef omvat het samenvoegen en vergelijken van de informatie omtrent de aanstuurmethodes tussen de leddriver en de interface module. Er is daarbij gestreefd om de meest toekomstgerichte en optimale keuze te maken. Het eerste deel van de scriptie evalueerde de huidige situatie om dan een standpunt te formuleren voor wijzigingen naar de toekomst toe.

Uit de literatuurstudie gecombineerd met de analyse van het huidig bestaand systeem is gebleken dat het huidig systeem geen slecht systeem is, maar het is verouderd en niet dynamisch. De lagedruk natriumdamplampen hebben in het algemeen goede kwaliteiten naar lichtsterkte, lichtbehoud en levensduur. Doordat de productie van die lampen stopt, is het noodzakelijk om de overschakeling naar ledtechnologie te maken. De introductie van ledverlichting maakt het vervolgens mogelijk om het verouderde systeem te vervangen door een meer dynamisch systeem.

De uniformiteit van de netstructuur in Limburg is goed, daardoor wordt de vervanging van de verouderde lampen eenvoudiger. Er dienen kleine aanpassingen te gebeuren aan de huidige netstructuur, maar die aanpassingen bevinden zich enkel in de lichtmast. Dat is kostenbesparend voor Infrax aangezien er geen nieuwe bekabeling vereist is.

Bij de omschakeling naar een dynamisch systeem is een draadloze aansturing van de verlichtingstoestellen vereist. Via de draadloze aansturing is het mogelijk om selectief aan te sturen, waardoor besparingen ontstaan samen met een beter dynamisch gedrag door het selectief aansturen. Om de draadloze aansturing te ondersteunen moeten de ledverlichtingstoestellen een ontvanger hebben die de draadloze signalen ontvangt. Hiervoor is de interface module geselecteerd. De interface module gaat via de draadloze signalen afkomstig van het hoofdsysteem de leddriver regelen. De regeling van de leddriver gebeurt via een protocol dat de interface module en leddriver beide ondersteunen. De leddriver voorziet de voeding van de ledlamp. Het dimmen van de ledlamp gebeurt via de leddriver. Vervolgens moeten de componenten in het dynamisch systeem 005 gekeurd zijn door Synergrid. De 005 gekeurde componenten zijn gekeurd voor gebruik in de openbare verlichtingssector.

Doordat de effectieve keuze naar de implementatiewijze bij Infrax ligt kan er geen sluitend besluit worden genomen. Hieronder worden enkele voorstellen geformuleerd om een keuze te maken, op basis van het voorliggende onderzoek.

Bij de keuze voor een SR leddriver wordt er vendor lock-in verkregen door de Philips SR-groep. De SR-interface is de enige interface die de SR leddriver ondersteunt. Daardoor is er een verplichting om een SR interface module te selecteren, die geleverd wordt door een van de SR-groep leveranciers. Toch zijn er op dit moment nog geen SR interface modules. Daardoor is de SR leddriver geen oplossing.

Het beste voorstel naar samenstelling is het gebruik te maken van een combinatie van drie Phillips drivers die DALI compatibel zijn. Om alle vermogens van de ledlampen te kunnen voeden is er de combinatie van de .Xi FP 40W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S175 sXt voor het laagste vermogen met de Xi FP 150W 0.2-0.7A SNLDAE 230V S240 sXt voor het hoogste vermogen en de Smartbox Xitanium Full Prog 110W 1000 NLD C150 Xt voor de tussenliggende vermogens. Die drie leddrivers zijn DALI compatibel. DALI is belangrijk naar de toekomst toe voornamelijk door de opkomst van DALI editie 2. De tweede editie is op dit moment aan het uitkomen en zal DALI hoogstwaarschijnlijk vervangen, maar DALI editie 2 heeft meer voordelen. Zo kan het meer commando's dan DALI versturen en kan

het ook DALI-toestellen aansturen. De 0-10 V interface zou een mogelijke optie zijn, maar daarbij is niet voor gekozen om de herbekabelingskost te drukken en deze interface heeft moeilijkheden met het aansturen van meerdere drivers. Daarnaast is de 0-10 V interface gevoelig voor storingen waardoor er niet voor gekozen is om met deze interface te werken.

Voor de interface module is het wenselijk te werken met een NEMA 7 pin connector. Voornamelijk om dat de ideale interface module nog niet beschikbaar is. Die zou namelijk twee aansturingsprotocollen moeten ondersteunen. Een aansturingsprotocol voor de sensoren en een aansturingsprotocol voor de leddriver. Dat moet nog ontwikkeld worden en is daardoor niet beschikbaar. Door de keuze te maken voor een NEMA 7 pin connector, is het nieuwe systeem voorbereid voor de overschakeling naar die nieuwe interface module met twee aansturingsprotocollen. Een rechtstreekse aansluiting van de interface module zou simpeler zijn, maar heeft slechtere ontvangst doordat deze in een metalen omhulsel zit (de lichtmast). Vervolgens duurt het vervangen van een rechtstreekse aangesloten interface module langer dan bij een NEMA 7 pin connector, wat de onderhoudskost omhoogdrijft. Bovendien zijn de aansluitingen van de NEMA 7 pin connector gestandaardiseerd wat betekent dat de aansluitingen van de connector naar de leddriver hetzelfde zijn bij iedere instantie. Daarnaast garandeert de NEMA connector een betere ontvangst van draadloze signalen, aangezien de interface module zich buiten de lichtmast bevindt. Bovendien is onderhoud of vervanging van de interface module eenvoudiger door het draai mechanisme dat de interface module vastzet of los maakt van de connector.

De interface module zelf moet dus een NEMA 7 pin aansluiting hebben en moet DALI compatibel zijn. De keuze voor de interface module gaat uit naar de Schreder LuCO-P7, voornamelijk omdat deze zowel mobiel netwerk als IEEE802.15.4 ondersteund. De Telensa Telecell is ook een optie maar is gelimiteerd tot enkel mobiel netwerk. de SELC external CMS en de CIMCOM iSLC-3100-7P ondersteunen enkel IEEE802.15.4 wat ook een limiet vormt vergeleken met de Schreder LuCo-P7. Alle voorgaande interface modules hebben een NEMA 7 pin aansluiting en ondersteunen DALI.

Voor de aansturing op stedelijk niveau en landelijk niveau zal iedere lichtmast uitgerust worden met een interface module. Dat zorgt voor een hogere kost, maar biedt de mogelijkheid om in de toekomst het OV-net af te schaffen en rechtstreeks de verlichtingstoestellen te koppelen op het laagspanningsnet. Er zitten momenteel vier kabels in de lichtmast, er is de optie om de vierde kabel te verwijderen uit de lichtmast en geen aftakking te maken naar vier kabels. Op dit moment bestaat de EXVB3G10 uit twee voedingskabels en een PEN-geleider. Door de vierde kabel te verwijderen kan de EXVB3G10 bestaan uit één voedingskabel, een nul-geleider en een PE-geleider. De EXVB3G10 moet nog steeds van kabelsectie verlagen, maar dit gebeurt op dit moment standaard in iedere lichtmast. Door de vierde kabel niet te gebruiken, transformeert het huidig verlichtingsnet naar een TN-S net. Dat TN-S net maakt het op zijn beurt mogelijk om een differentieel te gebruiken. De lichtmastbeveiliging verbetert daardoor ook de aarding.

Aangezien de resultaten van deze masterproef hypothetisch blijven, is het aangewezen om ter vervolg de verschillende mogelijkheden uit te testen op de kleine en grote schaal. Zo kan Infrac een duidelijke en gegronde keuze maken om het verlichtingsnet klaar te maken voor de toekomst.

Verwijzingen

- [1] Infrax, „Bedrijfsprofiel,” Infrax, [Online]. Available: <https://investors.infrax.be/nl/bedrijfsprofiel>. [Geopend 1 maart 2017].
- [2] Infrax, „Taken en missie,” Infrax, [Online]. Available: <https://www.infrax.be/nl/over-infrax/infrax-in-detail/taken-en-missie>. [Geopend 1 maart 2017].
- [3] Synergrid, „Dim- en telebeheersystemen voor openbare verlichting beheerd door de DNB,” 2009. [Online]. Available: http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=Synergrid_dimming_en_telebeheer.pdf&language_code=NED. [Geopend 1 maart 2017].
- [4] G. Vandesande, *Lichttechnologie cursus*, KU Leuven, 2016.
- [5] Energiesparen - Vlaamse Overheid, „Lichtstroom of lichtflux,” [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be/lichtstroom-lichtflux>. [Geopend 2 mei 2017].
- [6] D. Geert, *Elektrische installaties in gebouwen*, Leuven: Uitgeverij Acco, 2013.
- [7] Energiesparen - Vlaamse Overheid, „Lichtsterkte,” [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/verlichting/terminologie/lichtsterkte>. [Geopend 2 mei 2017].
- [8] Energiesparen - Vlaamse Overheid, „Verlichtingssterkte,” [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be/bouwen-en-verbouwen/verlichting/terminologie/verlichtingssterkte>. [Geopend 2 mei 2017].
- [9] ibe-biv, „Openbare verlichting deel 1,” *Code van goede praktijk*, pp. 18-24, 2015.
- [10] D. Cox, „SlideShare,” CREE, December 2010. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/davidiancox/solid-state-lighting-science-and-led-theory-of-operation-december-2010>. [Geopend 29 april 2017].
- [11] Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf, „Verlichting,” Vlaamse Overheid, Brugge, 2007.
- [12] J. H. Bogaert, *Van straling tot verlichting*, Oostende: Coaster Publications bvba, 2000.
- [13] V. Donné, „Lichttechnische kenmerken van lampen,” *Mobiel vlaanderen*, 3 april 2013. [Online]. Available: <http://www.mobielvlaanderen.be/overheden/artikel.php?id=1402>. [Geopend 3 april 2017].
- [14] C. Debruyne, S. Dereyne, J. Desmet, L. Hespel, B. Verhelst, *Laagspanninginstallaties technologie en ontwerp*, Kortrijk: Howest-Lemcko; Jan Desmet, 2011.
- [15] T.-L. De Schietere De Lophem en S. Van Roey, *Centrale elektriciteitsproductie*, Aalst: Electrabel nv, 2012.

- [16] I. V. Cutsen, „Publicaties,” 1 oktober 2015. [Online]. Available: https://www.eandis.be/sites/eandis/files/documents/9010059_van_productie_tot_stopcontact.pdf. [Geopend 25 februari 2017].
- [17] C. Verschoor, „Toonfrequent,” 2013. [Online]. Available: <http://www.toonfrequent.nl/>. [Geopend 28 februari 2017].
- [18] J. Moelans, „Beslisdocument: Technologiekeuze SMARTCOM-cabines,” Infrac, Hasselt, 2016.
- [19] P. Vermeyen, „Tecnolec,” [Online]. Available: <http://nl.tecnolec.be/publicaties?File=%2fdata%2facms%2fTechnischeBib%2fTechnischeBib%2fData%2fKoper%2fCentrale+Afstands+Bediening+CAB.pdf>. [Geopend 07 maart 2017].
- [20] P. Vermeyen, J. Driesen en R. Belmans, „Impedance of inverter front-ends at the frequency of ripple-control signals,” Esat, Leuven, 2007.
- [21] M. Sebest, „NXP,” 2 november 2015. [Online]. Available: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/application-notes/AN5046.pdf>. [Geopend 1 maart 2017].
- [22] G. V. Ham, Harmonischen in laagspanningsnetten: basistheorie, Gent: Academia Press, 2011.
- [23] V. Smith, „School of Electrical, Computer and Telecommunications Engineering (SECTE),” 14 september 2014. [Online]. Available: https://www.elec.uow.edu.au/apqrc/content/technotes/UOW019_Tech%20Note%2014_AW_screen.pdf. [Geopend 6 maart 2017].
- [24] A. Keppens, „Modelling and evaluation of high-power,” Faculty of Engineering, ESAT/ELECTA, Leuven, 2010.
- [25] U.S. Department of Energy, „R&D Plan Solid-State Lighting,” U.S. Department of Energy, United States, 2016.
- [26] FiberLabs Inc., „What is LED?,” FiberLabs, [Online]. Available: <https://www.fiberlabs-inc.com/about-led/>. [Geopend 29 april 2017].
- [27] E. Juntunen, From LED die to a lighting system, Finland: Julkaisija, 2014.
- [28] B. Knockaert, „Ontwerp van intelligente module voor RGB-led displays,” Vakgroep Industrieel Systeem- en Productontwerp, Gent, 2015.
- [29] P. D'Herdt, D. Hermans, A. Deneyer en A. Deneyer, „Compatibiliteit bij het dimmen van retrofitlampen. Classificatie van lampen en dimsystemen, problematiek en oplossingen,” 2014. [Online]. Available: http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=dimmen_retrofitlampen.pdf. [Geopend 29 april 2017].

- [30] CREE, „Document Library - Lamp Thermal Management,” [Online]. Available: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf>. [Geopend 1 mei 2017].
- [31] V. A. Floroiu, „High Temperature, the enemy of LED performance: what you need to know,” Ledrise, 23 november 2015. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/high-temperature-enemy-led-performance-what-you-need-know-floroiu>. [Geopend 15 mei 2017].
- [32] Rensselaer Polytechnic Institute, „How are LEDs affected by heat?,” Rensselaer Polytechnic Institute, mei 2003. [Online]. Available: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/led/heat.asp>. [Geopend 29 maart 2017].
- [33] ETAP, „Verlichten met nieuwe lichtbronnen,” *Excellent lighting, saving energy*, nr. 2, p. 32, 2011.
- [34] Onsemi, „High Brightness LED Driver Solutions,” [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TND345-D.PDF>. [Geopend 5 april 2017].
- [35] E. Biery, T. Shearer, R. Ledyard, D. Perkins en M. Feris, „Controlling leds,” mei 2014. [Online]. Available: http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/367-2035_LED_white_paper.pdf. [Geopend 30 maart 2017].
- [36] Y.-J. Qiu, Offline single-stage electrolytic-capacitor-flicker-free high power LED driver, Canada: Queen's University, 2017.
- [37] V. Wang, „Get what you need for LED driver protection,” Eaton Electronics Division, 20 juli 2015. [Online]. Available: http://www.electronicproducts.com/Passive_Components/Circuit_Protection/Get_what_you_need_for_LED_driver_protection.aspx?terms=eaton. [Geopend 11 mei 2017].
- [38] G. Deconinck en P. Saey, *Elektrotechniek en Automatisering Capita Selecta*, Gent: Academia Press, 2011.
- [39] J. Pollefliet, *Elektronische vermogencontrole. Volume 1: Vermogenelektronica*, Gent: Academia Press, 2011.
- [40] L. Dinwoodie, „TI training: Understanding the basics of a flyback converter,” Texas Instruments, 17 november 2016. [Online]. Available: <https://training.ti.com/understanding-basics-flyback-converter>. [Geopend 16 mei 2017].
- [41] Associated Power Technologies, „Total Harmonic Distortion and Effects in Electrical Power Systems,” [Online]. Available: <http://www.aptsources.com/resources/pdf/Total%20Harmonic%20Distortion.pdf>. [Geopend 5 april 2017].
- [42] European Power Supply Manufacturers Association (EPSMA), „Harmonic Current Emissions,” 6 april 2010. [Online]. Available: http://www.epsma.org/PFCver100406_b.pdf. [Geopend 5 april 2017].

- [43] Synergrid, „Technische voorschriften Elektriciteit,” april 2010. [Online]. Available: http://www.synergrid.be/download.cfm?fileId=C4_08_NL_Verkrijgen_van_een_gelijkvormigheidsattest.pdf. [Geopend 5 april 2017].
- [44] I. Tzudnowski, „Continental makes Street Lights Smart,” 6 oktober 2015. [Online]. Available: http://www.continental-corporation.com/www/pressportal_com_en/themes/press_releases/3_automotive_group/interior/press_releases/pr_2015_10_06_strassenlampe_en.html. [Geopend 4 mei 2017].
- [45] Libelium, „New Smart Parking by Libelium includes Double Radio with LoRaWAN and Sigfox,” 5 april 2016. [Online]. Available: <http://www.libelium.com/smart-parking-surface-sensor-lorawan-sigfox-lora-868-900-915-mhz/>. [Geopend 4 mei 2017].
- [46] P. Hermans, Interviewee, *Noden van de gemeente Diepenbeek*. [Interview]. 16 maart 2017.
- [47] IEC, „AC-supplied electronic ballasts,” *International standard for tubular fluorescent lamps – Performance requirements*, vol. III, nr. International Electrotechnical Commission , p. 294, 2006.
- [48] Lutron, „Lutron,” januari 2017. [Online]. Available: http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048587_Web.pdf. [Geopend 10 april 2017].
- [49] DALI AG of ZVEI, DALI Manual, Frankfurt: AG DALI, 2001.
- [50] H. Shaima, „Microchip,” 2012. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01465A.pdf>. [Geopend 15 maart 2017].
- [51] C. W. Chow, H. C. Yeh en Y. P. Huang, „Mitigation of Optical Background Noise in Light-Emitting Diode (LED) Optical Wireless Communication Systems,” *IEEE Photonics Journal*, vol. 2013, nr. 1, p. 9, 2013.
- [52] NXP, „NXP Documentation,” 1 november 2008. [Online]. Available: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10760.pdf. [Geopend 12 april 2017].
- [53] Tridonic, „Tridonic Technical Downloads,” augustus 2013. [Online]. Available: http://www.tridonic.com/ae/download/technical/DALI-manual_en.pdf. [Geopend 15 april 2017].
- [54] R. Budzilek, „Pathway Lighting's Download Center,” [Online]. Available: http://www.pathwaylighting.com/products/downloads/brochure/technical_materials_1466797044_Linear+vs+Logarithmic+Dimming+White+Paper.pdf. [Geopend 4 mei 2017].
- [55] Texas Instruments, „Design support,” oktober 2012. [Online]. Available: <http://www.ti.com/general/docs/litabsmultiplefilelist.tsp?literatureNumber=slaa422a>. [Geopend 4 mei 2017].
- [56] Atmel, „Search Application Note,” juli 2013. [Online]. Available: http://www.atmel.com/images/atmel-42071-dali-slave-reference_design_application-note_at01244.pdf. [Geopend 4 mei 2017].

- [57] Farnell, „ASMT-TWBM-Nxxxxx Surface Mount LED Indicator,” Linetec, [Online]. Available:
http://www.farnell.com/datasheets/1855423.pdf?_ga=2.245032901.1181987646.1493895811-2144304390.1493895811. [Geopend 4 mei 2017].
- [58] Philips, „Xitanium FULL Prog LED Xtreme drivers, Class I only,” september 2016. [Online]. Available:
http://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Xitanium_FULL_PROG_110W1000_NLD_C150_Xt_929000883906.pdf. [Geopend 4 mei 2017].
- [59] Philips, „Xitanium 150W 0.7A Prog+ 230V-F sXt,” december 2016. [Online]. Available:
http://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium-led-drivers-outdoor/Xitanium_150W_0.7A_Prog-plus_230V-F_sXt_929000712503.pdf. [Geopend 4 mei 2017].
- [60] Mouser Electronics, „TE Connectivity ANSI C136.41 Dimming Receptacles,” maart 2014. [Online]. Available: <http://www.mouser.be/new/TE-Connectivity/te-C136.41-dimming-receptacle/>. [Geopend 12 april 2017].
- [61] Schreder, „Owlet Wireless Outdoor LuCo-P7 (Luminaire Controller) Datasheet,” 2015. [Online]. Available:
http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/additional-content/owlet-smart-solutions/luco_p7_datasheet_v1.pdf. [Geopend 12 april 2017].
- [62] Next Generation Lighting Industry Alliance, „Led luminaire lifetime: recommendations for testing and reporting,” *Solid-State lighting product quality initiative*, vol. III, nr. 1, p. 11, 2014.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Marktonderzoek naar de aanstuurmethodes van led verlichtingstoestellen

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-elektrotechniek**
Jaar: **2017**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Panis, Michael

Van Lommel, Niels

Datum: **5/06/2017**