

Testing av lysbuevern

Markus Fagerås

Master of Science in Electric Power Engineering
Innlevert: mai 2016
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk



MASTEROPPGAVE

- Kandidatens navn : Markus Fagerås
- Fag : ELKRAFTTEKNIKK
- Oppgavens tittel (norsk) : **Testing av lysbuevern**
- Oppgavens tittel (engelsk) : Test of arc fault detection devices
- Oppgavens tekst : Elektriske anlegg forårsaker mange branner og medfører årlig store brannskader i Norge. "Elektrisk årsak" og "feil bruk av elektrisk utstyr" ble registrert som brannårsak på 50 % av alle boligbranner med kjent årsak og på 25 % av dødsbrannene i perioden 2002-2010, i følge DSBs brannårsaksstatistikk. En av de hyppigste årsakene til disse brannene er seriefeil.
- På grunn av begrensninger i tilgjengelige løsninger for deteksjon av seriefeil på det norske markedet, er det hittil ikke blitt stilt krav til seriefeilvern i Norge. Andre land har imidlertid begynt å stille krav til slike vern, og flere leverandører har nå løsninger tilgjengelig. Vernene har ulike egenskaper og deteksjonsmetoder. Noen er basert på å detektere lysbue, mens andre detekterer varmeutvikling.
- Dette er en videreføring fra to tidligere masteroppgaver som er gjennomført på NTNU. I de masteroppgavene ble ulike seriefeilvern med forskjellige deteksjonsprinsipper testet. I denne masteroppgaven skal kun seriefeilvern med lysbuedeteksjon undersøkes.

Kandidaten skal

- Vurdere ulike seriefeilsituasjoner som kan oppstå i en boliginstallasjon.
- Sette seg inn i de forskjellige testene i standarden IEC 62606.
- Gjennomføre laboratorieforsøk med ulike typer tester fra IEC 62606, som ikke er gjennomført i de tidligere masteroppgavene.
- Gjennomføre andre laboratorieforsøk som simulerer forhold som kan oppstå i en boliginstallasjon.
- Vurdere eventuelle svakheter med lysbuevernet og gjennomføre laboratorieforsøk hvor disse svakhetene testes.

- Oppgavens gitt : 06.01.16
- Besvarelsen leveres innen : 02.06.16
- Besvarelsen levert :
- Utført ved (institusjon, bedrift) :
- Kandidatens veileder :

Trondheim, 06.01.16

faglærer

Forord

Denne rapporten er et resultat av prosjektarbeid i emnet TET4910 Elkraftteknikk masteroppgave ved NTNU vårsemestret 2016. Hovedveileder i denne masteroppgaven var Eilif Hugo Hansen. Arbeidet startet 07.januar og ble avsluttet 25.mai.

Denne masteroppgaven er ikke en videreføring av fordypningsprosjektet fra høsten 2015. Normal praksis ved NTNU er å skrive oppgave med samme problemstilling ved både fordypningsprosjekt og masteroppgaven. Jeg valgte å bytte oppgave og har derfor hatt kortere tid til litteratursøk og forberedende forsøk, som oftest blir gjennomført i fordypningsprosjektet. Dette er en fortsettelse fra to tidligere masteroppgaver, og har dermed fått mye inspirasjon fra de oppgavene.

Lysbuevern fra forskjellige leverandører har blitt testet i denne oppgaven. Det har blitt utviklet en lysbuevernstandard, IEC 62606. Det har blitt gjennomført noen laboratorieforsøk med tester fra lysbuevernstandarden, samt andre tester med andre testoppsett. Alle laboratorietestene er nøye forklart i kapittel 6 . Det er blant annet forklart hvorfor testen har blitt gjennomført og oppsettene. Deretter har resultatene fra testene blitt presentert.

Jeg ønsker å takk min veileder Eilif Hugo Hansen for hans støtte under arbeidet med denne oppgaven. I laboratorieforsøkene trengte jeg mye hjelp til oppsettene for å teste lysbuevernene. Der har jeg fått mye hjelp fra både serviceavdelingen og verkstedet på NTNU. Ønsker å takke Bård Almås, Svein Erling Norum, Aksel Reitan Hanssen, Morten Flå og Dominik Häger fra de avdelingene. Videre ønsker jeg å takke Marit-Helen Ese, Dag Linhjell, Magne Runde og Erik Jonsson fra SINTEF Energi. De har gitt meg noen tips for testoppsett i oppgaven. Ønsker også å takke Maren Bjørnbakk for hennes innspill og synspunkter. Hun skrev masteroppgave om samme tema i 2015.

Jeg ønsker også å takke alle studentene som delte samme lesesal og laboratoriet som meg. Med dere har jeg hatt det både morsomt sammen med og delt frustrasjoner det siste året. I tillegg vil jeg takke alle klassekameratene mine i klassen Electric Power Engineering for 2 fine år sammen.

Ikke minst vil jeg takke min samboer, Mathilde. Uten deg hadde jeg ikke flyttet til Trondheim og gjennomført en mastergrad på NTNU.

Trondheim, 25 Mai 2016

Markus Fagerås

Sammendrag

Hvert år oppstår det mange branner i boliger forårsaket av elektrisitet. Mange av disse brannene er forårsaket av at det elektriske anlegget er feilaktig installert eller at elektrisk utstyr har blitt feilaktig benyttet. Det oppstår ofte brann på grunn av seriefeil, der det oppstår motstandsoppvarming med påfølgende glødende forbindelser og serielysbue. I Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) brannstatistikk er 35 % av de registrerte brannene serielysbue.

Seriefeil oppstår ofte i en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon. Svak kontaktforbindelse kan oppstå i både brytere, stikkontakter, koblingsbokser, støpsler osv. Dette kan oppstå på grunn av at lederen er skadet, kun deler av lederen er skrudd til kontaktforbindelsen, kontaktforbindelsen er svakt tilskrudd, vibrasjoner osv.

Dersom det oppstår seriefeil i boliginstallasjonen vil ikke det føre til at strømmen øker eller at det oppstår jordfeil på anlegget. Vernene som det er krav om i boliginstallasjoner idag, beskytter ikke mot seriefeil. Det finnes flere ulike typer seriefeilvern på markedet idag, og det vurderes om at det skal bli et krav om slike vern i boliger i Norge. Seriefeilvern som benytter lysbue som detekteringsprinsipp har blitt undersøkt nærmere.

I 2013 kom det en internasjonal standard for lysbuevern, IEC 62606. Denne teststandarden er laget for å sikre at leverandører leverer lysbuevern som fungerer tilfredsstillende. I denne teststandarden finnes det tester som undersøker om vernene håndterer serie-, parallell- og jordfeilslysbue. Det er noen få leverandører som selger lysbuevern til det norske markedet idag, og de mener at vernene innfrir alle testene i standarden.

En vurdering av lysbuestandarden førte til kritikk av lysbuestandarden, der det blant annet ble kritisert at det ikke var flere mer omfattende tester i standarden. Det er dermed ønskelig å gjennomføre andre forsøk som ikke er beskrevet i lysbuestandarden. I lysbuestandarden finnes det ikke tester som omhandler svake kontaktforbindelser i en bolig. Det er dermed interessant å undersøke om vernene klarer å detektere lysbue fra svake kontaktforbindelser. Det er også interessant å foreta flere forsøk der svakheter til deteksjonsprinsippet til vernene testes mer. I disse forsøkene ble ulike typer belastninger testet som blir benyttet i boliger og næringsbygg.

I de forsøkene som ble gjennomført med svake kontaktforbindelser klarte alle lysbuevernene som ble testet å detektere lysbue i kretsen, og fungerte dermed tilfredsstillende. I forsøkene som testet svakheter til deteksjonsprinsippet til lysbuevernene, var det flere forsøk hvor vernene feilet. Ingen av lysbuevernene som ble testet klarte å bestå alle forsøkene i denne oppgaven.

Summary

Every year occurs many fires in homes caused by electricity. Many of these fires are caused by electrical system is incorrectly installed or that electrical equipment has been used erroneously. It occurs frequently fire due to series faults, where it occurs resistance heating, followed by glowing contact connection and series arc. In DSB fire statistics are 35 % of the reported fires series arc.

Series arc occurs often in a poor connection in a residential electrical system. Poor connection can occur in switches, sockets, junction boxes, plugs etc. This may occurs because the conductor is damaged, only parts of the conductor is turned to the contact connection, contact connection is insufficient tightening, vibrations etc.

In the event of series faults in a residential electrical system will not cause the current increases or earth faults in the electrical system. The protection devices traditionally applied in electrical installation does not protect against series faults. There are several different types of series protection devices on the market today, and it considered that it should be a requirement for such protection devices in homes in Norway. The series fault protection have various principles of detection, and in this thesis arc fault detection devices (AFDD) have been evaluated.

A separate IEC-standard, IEC 62606, considered AFDD, has been developed. AFFD's from different manufactures were tested, using the procedures described in the standard. In this test standard, there are tests that examine whether AFDD handles series-, parallel- and earth fault arc. There are a few vendors selling AFDD to the Norwegian market today and they believe that theirs AFDD meet all the tests in the standard.

An assessment of the standard led to criticism regarding the lack of extensive tests. It is therefore desirable to conducting other experiments which not described in the standard. In the standard there are no tests dealing about poor connection in electrical system. It is interesting to find out if AFDD handles series arc from a poor connection in a electrical system. It is also interesting to make several experiments where weaknesses of the principles of detection to the AFDD being tested more. In these experiments, different types of load been tested which are used in residential and commercial buildings.

In the experiments that were conducted with poor connection, could all AFDD which were tested detecting series arc in the electrical system. In the experiments which tested the weaknesses of the principles of the detection to the AFDD, there were several attempts where AFFD's failed. None of the AFFD's which where tested passed all the tests in this thesis.

Innhold

Forord	i
Summary	iii
Innholdsfortegnelse	vi
Akronymer	v
Kilder i litteratursøket	vii
1 Introduksjon	1
2 Antennelseårsaker og lysbuekarakteristikk	3
2.1 Lysbue	4
2.1.1 Hvordan en lysbue oppstår	5
2.1.2 Hvordan en lysbue oppstår i elektriske anlegg	5
2.2 Motstandsoppvarming	7
2.3 Kombinert motstandsoppvarming og lysbuer	10
2.4 Ekstern varmetilførsel	11
2.5 Lysbuekarakteristikk, strøm og spenning	11
2.6 Hvorfor ikke automatsikringen detekterer lysbue	14
3 Brannårsaker	16
3.1 Brannstatistikk i Norge	16
3.2 Installasjonsmaterieill	18

3.2.1	Koblingspunkter	19
3.2.2	Støpsler	21
3.2.3	Stikkontakter	23
4	Lysbuevern	24
4.1	Deteksjonsprinsipper	27
4.1.1	Deteksjon av serielysbue	30
4.1.2	Deteksjon av parallelllys bue	31
4.2	Uønsket utkobling av lysbuevern	32
5	Teststandard for lysbuevern	35
5.1	Generering av lysbue i testkrets	37
5.1.1	Karbonisert kabelprøve	37
5.1.2	Lysbuegenerator	38
5.2	Test av lysbuevern	39
5.2.1	Serielysbue tester	39
5.2.2	Feildeteksjoner ved ulike forstyrrende laster	40
5.2.3	Uønsket utkobling og feildeteksjon	41
6	Test av lysbuevern	44
6.1	Laboratorietoppsett	45
6.1.1	Oppsett og målinger	45
6.1.2	Lysbuevernene som har blitt testet	46
6.1.3	Beskyttelsetiltak	47
6.1.4	Fremprovosering av lysbue	48
6.2	Test 1- Svak kontaktforbindelse med oksidbelegg	52
6.2.1	Resultater	53
6.3	Test 2- Glødende kontaktforbindelse mellom kobber og stål	56
6.3.1	Resultater	58
6.4	Test 3- Slitt stikkontakt med vibrerende støpsel	64
6.4.1	Resultater	65
6.5	Test 4- Uønsket utkobling av lysbuevern	67

6.5.1	Resultater	69
6.6	Test 5- Uønsket utkobling på grunn av støvsuger	74
6.6.1	Resultater	74
6.7	Test 6- Lavpassfilter i kretsen	76
6.7.1	Resultater	79
6.8	Test 7- Elektriske apparater med lavpassfilter	81
6.8.1	Resultater	84
7	Diskusjon	89
7.1	Lysbuevern og deteksjonsprinsipp	89
7.2	Testoppsett med svake kontaktforbindelser	91
7.3	Svake kontaktforbindelser	94
7.4	Uønsket utkobling	97
7.5	Lavpassfilter i kretsen	99
7.6	Forslag til videre arbeid	100
8	Konklusjon	102
	Bibliografi	103
	Vedlegg	107

Akronymer

DSB Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap

FEL Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

LBK Landbrukets Brannvernkomite

NEC National Electric Code

RF radio frekvens

RSSI Received Signal Strength Indication

UL Underwriters Laboratories

Kilder i litteratursøket

Litteratursøket i denne masteroppgaven er basert på forskningsartikler, masteroppgaver og lærebøker. I denne masteroppgaven er kapittel 2-5 litteratursøk. Mange av litteratursøkene har blitt utført i IEEE Xplore Digital Library og BIBSYS Oria. Typiske søkeord har vært:

- Electrical fires.
- Arc fault detection devices.
- Arc fault circuit breakers.
- Series arc fault.
- Parallell arc fault.

Siden denne oppgaven er en videreføring fra tidligere masteroppgaver, så er de benyttet hyppig som referanser. Dette er masteroppgavene “Seriefeil som beskyttelse mot brann” og “Seriefeilvern i elektriske installasjoner”, skrevet av Maren Bjørnbakk og Carl Olav Larsson. I kapitlene antennelse- og brannårsaker forårsaket av elektrisitet, er det i hovedsak benyttet tekniske rapporter skrevet av Vytenis Babrauskas og SINTEF NBL AS. Kapitlene om lysbuevern og teststandard for lysbuevern er teorien hentet fra en lysbuevern leverandør og IEC 62606 “General requirements for arc fault detection devices”.

1 | Introduksjon

I tidsrommet fra 2009 til 2014 er det registrert 3302 boligbranner i Norge som skyldes elektrisitet [1]. Mulig årsak til disse brannene er at det elektriske anlegget er feilaktig installert eller at elektrisk utstyr har blitt feilaktig benyttet[2]. En av de mest kjente forskerne innen fagområdet branner forårsaket av elektrisitet, Vytenis Babrauskas[3], mener at svake kontaktforbindelser i en boliginstallasjon skaper flest branner forårsaket av elektrisitet[4].

I svake kontaktforbindelser i en boliginstallasjon kan både motstandsoppvarming og serielysbue oppstå. Motstandsoppvarming i et svakt punkt i boliginstallasjon kan over tid utvikle seg til glødende forbindelser [5]. Begrepet seriefeil blir brukt om både motstandsoppvarming, glødende forbindelser og serielysbue [2]. I DSB sin brannstatistikk over branner forårsaket av elektrisitet, ble 35 % av brannene angitt til å være serielysbue[1]. Det kan være en del misforståelser blant de som registrerer branner angående begrepet serielysbue[6]. Ofte er de som registrerer branner uten elektroteknisk bakgrunn[4], og det som blir registrert som serielysbue er en del av en gruppe som bør kalles seriefeil i brannstatistikken[6]. I tillegg er brannstatistikken veldig forenklet, og det har med registreringsmåten og gjøre[6].

Seriefeil oppstår oftest i en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon, og eksempler kan være at den ene lederen er skadet, kun deler av lederen er skrudd til kontaktforbindelsen eller at kontaktforbindelsen er svakt tilskrudd[6]. Svak kontaktforbindelse vil da representere overgangsmotstand og dermed oppvarming[7]. Over tid kan den svake kontaktforbindelsen utvikles videre til glødende forbindelser og serielysbue[5]. Seriefeil representerer den største brannfaren i installasjonsmaterieill[7]. Andre kilder til seriefeil kan være at store belastninger som slås av og på, og dette kan føre til at skruene i stikkkontakten løsner og kontaktforbindelsen blir løs[7]. Eller at kontaktforbindelsen blir svekket over tid på grunn av vibrasjon[8].

Dersom det oppstår en seriefeil i en boliginstallasjon vil ikke det føre til at strømmen øker eller at det oppstår jordfeil på anlegget[7]. Vernene som det er krav om i boliginstallasjoner idag, beskytter ikke mot seriefeil[7]. Det blir stilt stadig strengere krav i Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (FEL) og NEK 400 angående brannsikkerhet i boliginstallasjoner, men det er ingen krav om vern som beskytter mot seriefeil. Det blir blant annet stilt krav i USA om seriefeilvern i boliginstallasjoner, i deres standard National Electric

Code (NEC)[9]. Denne standarden er ikke juridisk bindende regulering, men det er vedtatt at de fleste statene i USA skal benytte seg av standarden[10].

Det finnes flere typer vern som beskytter mot seriefeil, og vernene baserer seg på ulike deteksjonsprinsipper[11]. Deteksjonsprinsippene kan være at vernene detekterer enten lysbue, varmegang eller ionedeteksjon[11]. I denne oppgaven skal det fokuseres på vern som detekterer lysbue. Siden slutten av 1980 tallet har det vært mye forskning innen branner forårsaket av lysbue, og i 1999 kom det første lysbuevernet ut i det amerikanske markedet[5]. Det blir utført mye forskning innen lysbueverntechnologien, og mange leverandører og universiteter arbeider med å forbedre teknologien og utarbeidelse av teststandarder, for å redusere antall branner forårsaket av lysbue[5].


I 2013 kom den en internasjonale teststandard for lysbuevern, IEC 62606 “General requirements for arc fault detection”. Denne teststandarden er laget for å sikre at leverandører leverer lysbuevern som fungerer tilfredsstillende. Det finnes flere typer lysbuevern fra forskjellige leverandører som selges i Norge idag, og de mener at vernene deres innfrir testene i lysbuestandarden[11].

Denne oppgaven går ut på å sette seg inn i de forskjellige testene som er beskrevet i lysbuestandarden. NTNU disponerer fem ulike lysbuevern, fra to leverandører. Det er ønskelig å utføre laboratorieforsøk for å teste disse lysbuevernene. Lysbuevernene skal sjekkes mot flere av testene beskrevet i lysbuestandarden, for å undersøke om lysbuevernene innfrir lysbuestandarden, slik som leverandørene lover. Det er også ønskelig å gjennomføre andre laboratorieforsøk som simulerer forhold som kan oppstå i en boliginstallasjon. I disse forsøkene skal lysbuevernene testes mot forhold som ikke er dekket av i lysbuestandarden. Siden seriefeil blir ansett som den største brannfaren i installasjonsmaterieell[7], er det ønskelig å teste vernene mot flere forskjellige testoppsett som simulerer seriefeil. Med andre typer testoppsett kan man finne ut om lysbuevernene kun er egnet for å detektere lysbuer som er med i lysbuestandarden, eller om lysbuevernene fungerer mot alle typer lysbuer som kan oppstå i en boliginstallasjon.

I tillegg skal det undersøkes om lysbuevernene har noen svakheter. Det er meget uheldig dersom lysbuevernene blir innført som krav i boliginstallasjoner i Norge og at de har klare svakheter. For eksempel om lysbuevernet feildetekterer i ulike situasjoner der det ikke er lysbue. Dette svekker omdømme til produktet blant oss forbrukere. Deteksjonsprinsippet må undersøkes nærmere og se om det er noen typer belastninger som blir benyttet i boliger, som kan generere feil. Det kan være at lysbuevernet løser uten at det er lysbue i kretsen, eller at det har oppstått lysbue i strømkursen og vernet ikke oppdager lysbuen.

2 | Antennelseårsaker og lysbuekarakteristikk

Personer uten elektrobakgrunn vil antageligvis se for seg at grunnen til at det oppstår elektriske branner er to årsaker, kortslutning eller overbelastning. Babrauskas [4] har med sin erfaring og diskusjoner med andre funnet ut hovedårsakene for elektriske branner som oppstår i boliger, og dette er vist på figur 2.1. Som figuren viser er ikke overbelastning den viktigste årsaken til brann i boliger forårsaket av elektrisitet. Kortslutning er heller ikke engang med i listen over de viktigste årsakene over hvorfor det oppstår brann. Viktig grunn til at kortslutning og overbelastning ikke er hyppig brannårsak kan være på grunn av de gode vernene som er i boligene idag.

Årsak til elektrisk brann	Betydning
Svak kontaktforbindelse	Mest  Minst
Lysbue på tvers av et karbonisert spor	
Lysbue i luft	
For mye isolasjon	
Utstøting av varme partikler	
Dielektrisk gjennomslag i isolasjon av fast eller flytende medium	
Diverse fenomen	

Figur 2.1: Årsakene Babrauskas mener er hovedårsakene for branner forårsaket av elektrisitet [4]

Babrauskas mener at svake kontaktforbindelser skaper flest branner forårsaket av elektrisitet. I et svakt punkt i en boliginstallasjon kan det oppstå seriefeil[11]. I begrepet seriefeil inngår både motstandsoppvarming, glødende forbindelser og serielysbue[11]. En seriefeil vil gjennomgå ulike stadier, og det kan være motstandsoppvarming, gnister, glødende forbindelser og serielysbue[11].

Babrauskas har vurdert at det er få årsaker for at isolasjon eller brennbare materialer i nærheten av elektrisk utstyr kan antennes[12]. I disse hovedkategoriene blir flere av de årsakene Babrauskas mener er de viktigste årsakene til at det oppstår brann på grunn av elektrisitet nærmere beskrevet. Han har valgt å dele inn i fire hovedkategorier.

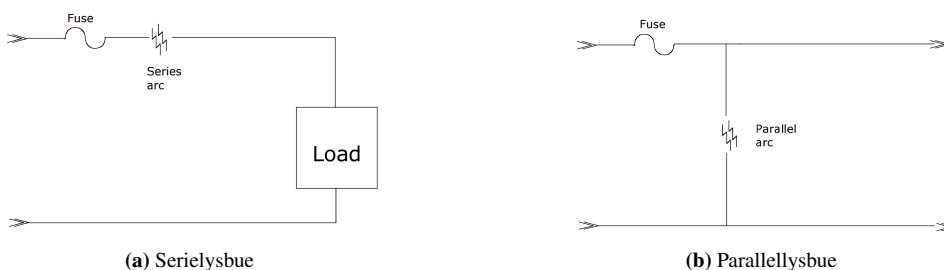
- Lysbuer.
- Motstandsoppvarming.
- Kombinert motstandsoppvarming og lysbuer.
- Ekstern varmetilførsel.

2.1 Lysbue

En lysbue defineres som lysende elektrisk utladning med høy temperatur over et isolerende medium [11][2]. Temperaturen i en lysbue kan bli opptil flere tusen grader celsius og er avhengig av strøm, spenning og type metall. En elektrisk utladning kan observeres både som en kortvarig gnist eller en lysbue. En kortvarig gnist vil opptre som et transient fenomen, mens en lysbue vil ha en viss varighet[11]

Det store norske leksikon [13] forklarer at lysbuen kommer i stand ved å se på studiet av elektronemisjon fra glødende metaller. Det er to elektroder med et gap i mellom, og elektrodene kalles anode og katode. Når katoden varmes opp sterkt vil den sende ut elektroner som beveger seg over mot anoden med stor fart. Siden elektronene beveger seg i stor fart vil luftmolekylene ioniseres og det inntre støttonisasjon. Strømmen vil øke sterkt ved økende ionisering. Med den økte strømmen vil også ionisasjonen øke enda mer. Derfor er strømmen gjennom en elektrisk lysbue ikke stabil.

En lysbue kan opptre i to former, enten som serie- eller parallelllysue. De to formene for lysbue er vist på figur 2.2. Noen mener også at det eksisterer en tredjeform for lysbue, jordfeillysbue. I prinsippet er den identisk som parallelllysue ettersom at lasten ikke er i serie med lysbuen[2].



Figur 2.2: Typer av lysbuer[12]

Effekten i en parallelllysbue er vesentlig større enn i en serielysbue [5]. Ved en parallelllysbue vil den totale impedansen i strømkretsen synke på grunn av at strømmen ikke vil gå igjennom lasten. Når det oppstår parallelllysbue vil ofte overstrømsvernet løse ut [5]. En serielysbue vil ikke eksistere uten at det er en belastning i kretsen, og den vil slukke dersom strømmen slås av. Hvis det oppstår en serielysbue i en strømkrets vil strømmen bli lavere enn belastningsstrømmen [5]. Serielysbuen vil representere en impedans som er i serie med belastningen, dette vil resultere i at den totale impedansen i kretsen øker. Overstrømsvernet vil dermed ikke detektere feilen.

Parallelllysbuer er generelt mer risikable enn serielysbue på grunn av det er større energi i lysbuen, og kan ofte opptre nærmest eksplosjonsartet[2]. Glødende eller smeltede metallbiter kan spres og det blir dermed større sannsynlighet for å komme i kontakt med brennbart materiale og det kan oppstå brann. Det er ikke sikkert at lysbuen er i stand til å antenne alle brennbare materialer, til tross for den ekstremt høye temperaturen i lysbuen. Varigheten på lysbuen er ofte svært kort og lysbuen er såpass lokal at brennbare materialer ikke rekker å oppnå antennelse temperaturen. Trematerialer og lignende er veldig vanskelig å bli antent av lysbuer, men det finnes imidlertid andre brennbare materialer som lett blir antent av lysbuer, slik som veggteppet, bomullsvatt og silkepapir[2].

2.1.1 Hvordan en lysbue oppstår

I "Ignitation Handbook" har Babrauskas beskrevet fire ulike måter en lysbue kan oppstå[14]:

1. Dersom den elektriske spenningen mellom to elektroder blir høyere enn gjennomslagsspenningen til materialet som skiller dem, da vil det oppstå en gnist. Gnisten vil kunne utvikle seg til lysbue dersom strøm og spenning er tilstrekkelig høy.
2. Når to elektroder beveges mot hverandre og det oppnås kontakt. Deretter skiller elektrodene fra hverandre igjen, det vil da dannes en lysbue. Dersom avstanden blir for stor vil lysbuen slukke. Hvor stor avstanden er mellom elektrodene når lysbuen slukker er avhengig av strøm og spenning. Lysbuer kan med denne måten skapes også på 230 V.
3. Det kan oppstå lysbuer dersom det har blitt dannet en karbonisert vei i isolasjonen mellom to ledere.
4. Glødende forbindelse mellom to ledere eller andre kontaktforbindelser kan føre til dannelse av lysbue.

2.1.2 Hvordan en lysbue oppstår i elektriske anlegg

Årsakene til at det oppstår lysbue i en boliginstallasjon kan være mange. Babrauskas har valgt å dele inn i tre hovedkategorier; karbonisering av isolasjonen, ionisert luft og kort-

slutning. Teorien om disse hovedårsakene beskrevet videre er hentet fra referanse [12]:

Karbonisering av isolasjonen

I lavspenningsnettet er det ikke vanskelig å fremkalle vedvarende lysbuer hvis det er karbonisert spor i isolasjonen mellom to ledere. Hvordan karbonisert spor i isolasjon materiale oppstår er vanskelig å svare på, siden det er flere grunner til at det oppstår. Forkulling av isolasjonen kan oppstå på grunn av fukt og forurensninger på overflaten av isolasjonen, noe som over tid kan forårsake lekkasjestrømmer og forkullet spor i isolasjonen.

Isolasjonsmaterialene varierer mye i forhold til hvor følsomt det er ovenfor forkulling av isolasjonen. PVC er et isolasjonsmateriale som blir benyttet mye i ledninger og kabler i elektroinstallasjoner i bygg, og materialet er veldig følsomt i forhold til forkulling. Flere forsøk utført i Japan har vist at PVC har begynt å forkulle etter at isolasjonen hadde blitt varmeeeksponert i 10 timer ved en temperatur på 100 °C.

Ionisert luft

Laboratorieforsøk viser at det er vanskelig å etablere lysbuer i luft ved en driftspenning på 230 V ved vanlig atmosfærisk trykk. Den dielektriske styrken til luft ved vanlig atmosfærisk trykk er 3 MV/m^{-1} [15]. Den dielektriske styrken til luft kan bli betydelig redusert dersom luften på forhånd har blitt ionisert. Dersom det blir dannet et plasma av ioniserte gasser i lufta kan det lede strøm. Hendelser hvor lufta blir ionisert kan være forutgående lysbuer eller flammer. Det kan for eksempel oppstå en alvorlig lysbuedannelse i en fordelingsskinne og det vil da bli dannet store mengder ionisert gass, og denne gassen kan bli ført bort til andre anleggsdeler som lett kan medføre til ny lysbuedannelse. Forsøk har vist at den dielektriske styrken kan bli redusert til 0.11 MV/m^{-1} i flammer.

Kortslutning

Kortslutninger karakteriseres som feil som plutselig oppstår i kretser med stor strøm og lav resistans. Kortslutninger kan oppstå på to forskjellige måter, full kortslutning med metallisk kontakt mellom to strømførende deler eller som en kortslutningslysbue hvor strømmen går igjennom lysbuen.

Strømmen i en kortslutningslysbuen er omvendt proporsjonal med impedansen i kablene. Ved en kortslutning vil strømmen normalt være større enn det overstrømsvernet løser ut ved. Det vil derfor være vanskelig å antenne nærliggende materialer.

2.2 Motstandsoppvarming

Hovedårsakene til varmegang og overoppheting i elektriske installasjoner er mange og sammensatte. Babrauskas har valgt å dele opp hovedårsakene til motstandsoppvarming inn i fem kategorier. Teorien videre i kapittelet er i hovedsak hentet fra referanse [12]:

- Kraftig overbelastning.
- For mye isolasjon.
- Lekkasjestrømmer og jordfeil.
- Overspenning.
- Svak kontaktforbindelser.

Kraftig overbelastning

Ved en kraftig overbelastning kan det lett oppstå branner på kablene. Forsøk har vist at det er nødvendig med en strømstyrke som er 3-7 ganger større enn det kablet er dimensjonert for at det skal oppstå brann. Siden strømkurser normalt er beskyttet med overstrømsvern er kraftig overbelastning en sjelden årsak til branner i kabler.

For mye isolasjon

Det kan oppstå brann i kabler som verken er skadet eller blitt utsatt for stor overbelastning. Det har oppstått branner ved at kablet er kveilet opp tilstrekkelig mange ganger eller at det vært for mye isolasjon på kablet. Laboratorieforsøk har vist at antennelse av brennbart materiale kan oppstå i tilfellene som er nevnt. Ved et tilfelle hvor en kabel var kveilet tre ganger ble klær som lå over kablet antent.

Lekkasjestrøm og jordfeil

Lekkasjestrømmer oppstår når omstendighetene forårsaker at strømmen går veier som ikke er tiltenkt til å være strømførende. Jordfeilstrømmer er et godt eksempel på lekkasjestrøm, og kan oppstå hvis en skadet kabel er i kontakt med metall. En PVC isolert kabel ble antent ved bare 5 A da den kom i kontakt med et galvanisert tak.

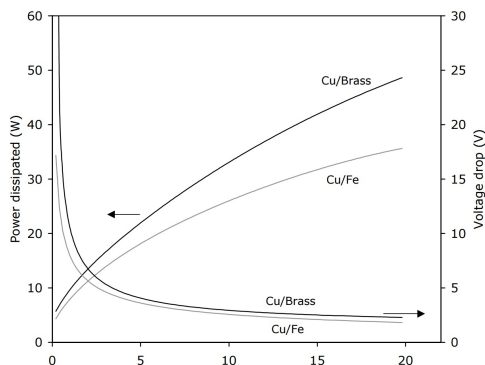
Overspenning

Alt tyder på at overspenning er sjelden form for antennelse av boliginstallasjoner. Materialene som blir brukt i kabler og installasjonsmateriell skal tåle spenningsvariasjoner. For at det skal oppstå overspenning og antennelse i boliginstallasjoner må det være på grunn av lynnedslag eller levering av høy spenning i distribusjonsnettet på grunn av nettfeil. Lynnedslag kan medføre kraftig antennelse i kabler og andre brennbare materialer.

Svak kontaktforbindelse

Elektriske branner oppstår oftest i svake punkter i elektriske anlegg der kabler og ledninger er koblet sammen, eller til en koblingsboks, bryter, stikkontakt osv[2]. Hvis det er dårlig kontakt i et koblingspunkt kan det bli økt motstand som bidrar til at temperaturen i koblingspunktet øker, og dette vil fremme oksidering og siging av metall. Når ledere varmes tilstrekkelig opp vil det dannes kobberoksid på overflaten av lederne. Dersom temperaturen i koblingspunktet er under 250 °C blir det dannet Cu_2O . Over 250 °C vil oksidbelegget være CuO , og ved en temperatur på ca 900-1000 °C vil CuO gå over til å bli Cu_2O igjen [11][12]. Fargen på oksidbelegget CuO er svart, mens fargen på Cu_2O er rødaktig[16]. Oksidbelegget er et halvledermateriale som formes i en kontaktforbindelse, og den får en vesentlig høyere motstand enn metallet i lederne[16]. Dette bidrar til at den lokale temperaturen i kontaktforbindelsen øker.

Det har blitt utført forsøk på glødende kontaktforbindelser, og resultatene er vist på figur 2.3.



Figur 2.3: Varmeutvikling og spenningsfall over glødende kontaktforbindelse hvor forskjellige metaller er koblet sammen [12]

I dette forsøket ble det utført fire forskjellige forsøk, hvor forskjellige metaller ble koblet sammen. I et av forsøkene hvor det var kobber og messing forbindelse, ble det generert en varmetvikling på ca 50 W ved en strøm på 20 A. I forsøkene ble det funnet ut at det måtte påtrykkes en strøm på 4-6 A for at det skulle bli glødende kontaktforbindelse. Metallene som ble brukt i forsøket hadde ikke blitt benyttet i andre forsøk før. I tillegg ble det funnet ut for at det skulle bli glødende forbindelse mellom metallene, var kun avhengig av hvilke type metall som ble benyttet, og ikke av størrelsen av kontaktforbindelsen. Varmemengden som blir utviklet i kontaktforbindelsen er lokal noe som medfører meget høy temperatur.

Sletbak[17] har studert kobberoksid Cu_2O i en kobber-kobber forbindelse. Det ble funnet ut at kobberoksid gløder ved en temperatur på ca 1200-1300 °C og dette er en temperatur som er rundt smeltepunktet til kobberoksidet. Dette er en temperatur som kan antenne de

fleste vanlige brennbare materialer.

Underwriters Laboratories (UL) [12] har utført forsøk som de identifiserer som “mikro lysbuer” som oppstår i glødende kontaktforbindelser. Når to metaller er separert fra hverandre med et metalloksid belegg, vil det egentlig ikke gå noe strøm, men siden det er påtrykt spenning i kretsen vil det oppstå gjennomslag i oksidbelegget. Dette bidrar til at det blir dannet en metallbro som har ledningsevne. Metallbroen har en begrenset ledningsevne og vil fort bli opphetet, og den kan da smelte og bryte sammen. På grunn av den høye temperaturen vil prosessen gjenta seg og oksidbelegget blir større i kontaktforbindelsen. Da Babrauskas skrev denne rapporten [12] hevdet han at ingen andre forskere har bekreftet denne hypotesen. Professor Robert Nilssen ved NTNU deler også samme syn som Babrauskas og mener at det ikke vises tegn til lysbuer som UL mener forekommer i forbindelse med denne feilsituasjonen[2].

Ettersom at stående lysbue ikke så lett kan dannes uten at lufta inneholder ioniserte gasser anslår Stensaas [2] at det er sannsynlig at boligbrannene i DSB sin brannstatistikk[1] som har fått serielysbue som brannårsak muligens er forårsaket av glødende kontaktforbindelse. I tidsperioden 2009-2014 har det vært 3302 boligbranner i Norge med elektrisk årsak og 35 % av disse har fått serielysbue som brannårsak[1].

En glødende kontaktforbindelse kan oppstå i stikkontakter eller brytere som er innkapslet i vegger. Det blir ofte benyttet materialet termoplast i dekkplast og det er et materiale som er vanskelig å antenne. Babrauskas [12] har stilt seg spørsmålet om det er mulig å antenne andre materialer når det er glødende forbindelser innkapslet i vegger. Det har blitt utført få studier på dette, og han har kun funnet tre upubliserte studier innen dette temaet. Aronstein[18] hevder følgende materialer har blitt antent på grunn av kontaktsvikt i en stikkontakt:

- Møbler som har blitt plassert direkte mot forsiden av en stikkontakt med en varmeutvikling på 28 W som følge av kontaktsvikt. Materialene til sofaen var laget av stoff med lav termisk treghet. Det ble benyttet sengetøy, draperinger, møbelstoff og møbeltrekk i forsøkene.
- Termoplasten i stikkontaktens dekkplate. Kontaktsvikten forårsaket en lokal varmeutvikling på 30 W. Termoplasten til dekkplaten hadde en tendens til å smelte og renne bort, ikke antenne.
- Trestendere som var i nærheten av stikkontakt. I forsøket var det en varmeutvikling på 35-50 W.
- Ledninger, støpsler og små spenningstransformatorer i stikkontakter.
- Diffusjonssperre i hulrom i vegg.

Babrauskas hevder at Aronstein sine påstander er upålitelig siden forsøkene er beskrevet svært dårlig. I forsøkene er det ikke beskrevet om termoplasten var flammeløs, det vil si glødende forbrenning eller ikke. Det ble heller ikke beskrevet om møbelmaterialene måtte være i kontakt med dekkplasten for å få til en videre utbredelse av brannen. Detaljer vedrørende testene med trestendere var også mangelfull beskrevet.

2.3 Kombinert motstandsoppvarming og lysbuer

Flere branner som har oppstått med elektrisk årsak inneholder flere steg. Først oppstår det overoppheting av kontaktforbindelse etterfulgt av lysbue og antennelse. Typiske branner med elektrisk årsak er overbelastning eller dårlig kontaktforbindelser. Dette kan bidra til å skade isolasjonen ved at den blir myk, og det kan da oppstå kortslutninger der kabelen er bøyd eller passerer en skarp metallkant[12].

Tilfeller hvor støpsler eller pluggen har blitt bøyd mye, og det er brudd i mange kordeller på lederen, er en hendelse som kombinerer motstandsoppvarming etterfulgt av lysbue. Ofte oppstår det antennelse av pluggen eller ledningen da siste kordellen på lederen blir brutt. Mitsuhashi m.fl [19] har utført en slik test med PVC isolert leder. De testet blant annet en $50 \times 18 \text{ mm}^2$ leder. I forsøkene fant de ut at laststrømmen som går i testkretsen måtte være innenfor et snevert område for at PVC isolasjonen skulle antenne. Antennelsen av isolasjonen skjedde kun innenfor område 10-20 A. Ved en strømstyrke på under 10 A ble temperaturen for lav til antennelse av isolasjonen, over 20 A skjedde prosessen for hurtig og det ble for lav temperatur i isolasjonen for at materialet kunne antenne. Mitsuhashi oppdaget at oppvarmingen ikke måtte skje for hurtig og det måtte ha følgende forløp slik som vist på figur 2.4.



Figur 2.4: Mitsuhashi oppdaget at oppvarmingen ikke måtte skje for raskt at det skal oppstå en brann. Figuren viser hendelseforløpet for å antenne PVC isolasjon

PVC isolasjonen er moderat motstandsdyktig mot antennelse. Dersom det blir tilført en flamme eller høy temperatur på isolasjonen, vil ikke brannen spre seg videre i isolasjonen når flammen fjernes. Dette fenomenet endrer seg hvis isolasjonen forvarmes til over 100 °C. Flammen vil spre seg hurtig fra det opprinnelige området[19]. Det har blitt utført flere studier i Japan på hvordan PVC kan antenne, og det har blitt konkludert med at følgende steg fører til antennelse[12]:

-
1. Overbelastning og dårlig kontaktforbindelse.
 2. Termisk degradering av PVC.
 3. Frigjøring av HCl gass fra PVC.
 4. Absorbering av fuktighet ved hygroskopisk virkningen av kalsiumkarbonat-fyllstoff.
 5. Gnistring av overflaten og innvendig i PVC materialet.
 6. Dannelse av et karbonisert spor i isolasjonen, både på overflaten og innvendig.
 7. Lysbue.
 8. Antennelse.

2.4 Ekstern varmetilførsel

I noen tilfeller hvor det oppsto brann på grunn av elektrisk årsak var det ikke ledningen eller utstyret knyttet til ledningen som forårsaket brannen. Det kan være at utvendig varmetilførsel av kabelen har startet brannen.

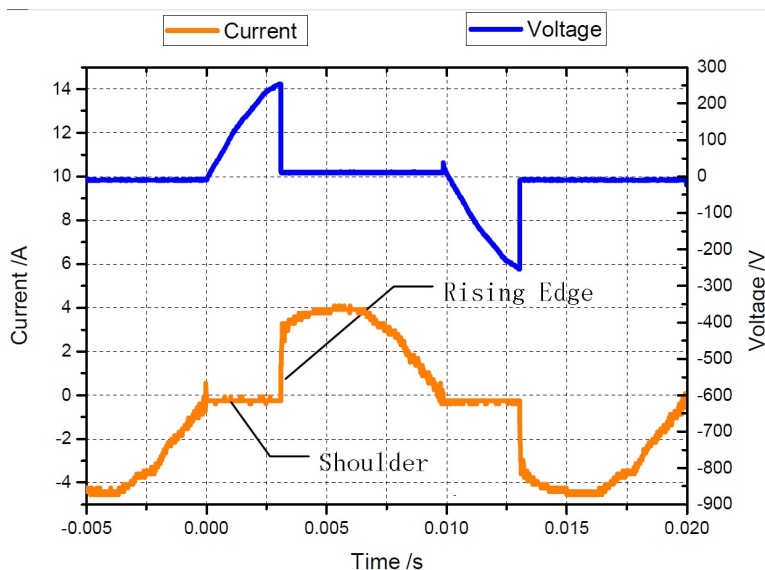
Chavez m.fl[12] har undersøkt tilfeller hvor det oppstår lysbuer etter overoppheting av kabler. Det ble undersøkt elektriske feil i to kabler som funksjonen av graden av oppvarming i en ovn. I dette forsøket var ikke hensikten å forårsake antennelse. En kabel med PE-isolasjon sviktet ved 250 °C, mens en annen kabel med PE/PVC isolasjonen sviktet ved 250 °C. Den elektriske feilen som oppstod var antatt å være kortslutning eller en tilstand med lav motstand på tvers av kabelen.

Fulcomer m.fl[12] undersøkte virkningene en kabel til lysutstyr hadde mot overtemperaturer. Kabelen som ble benyttet i forsøket var klassifisert til 60 °C. I forsøket benyttet de lamper med større effekt enn det armaturen var beregnet for. I koblingsboksen til armaturen ble det målt 202-205 °C og etter omtrent 65 timer oppstod det en elektrisk feil. Det oppstod kortslutning på grunn av at kabelisolasjonen ble sprø, fikk sprekke og til slutt løsnet isolasjonen fra lederne.

2.5 Lysbuekarakteristikk, strøm og spenning

Figur 2.5 viser typisk strøm- og spenningskurver i en krets hvor det har oppstått lysbue. Oransje kurve viser strøm og den blå kurven viser spenning, og den er målt mellom to elektroder. Strømkurven viser tydelig at lysbuen slukker ved strømmens nullgjennomgang. Når lysbuen slukker vil det bygge seg opp spenning mellom elektrodene, noe som vises tydelig på spenningskurven på figur 2.5. Lysbuen tenner igjen når spenningen blir høyere enn gjennomslagsspenningen til det isolerende mediet mellom elektrodene[20][11]. Da

det er lysbue mellom elektrodene vil det ikke være noe spenningsdifferanse mellom elektrodene før neste nullgjennomgang for strømmen da lysbuen mellom elektrodene slukker.

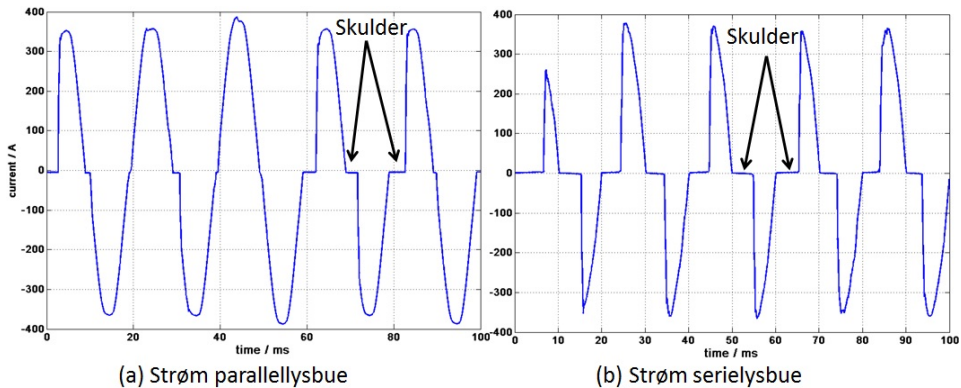


Figur 2.5: Strøm og spenning i en krets hvor det har oppstått lysbue[20]

Skuldrene som oppstår ved nullgjennomgangene når lysbuen slukker vil ikke være lik for hver halvperiode. Det kan skyldes at kobberet noen ganger smelter og kan danne et ledende kobberbro mellom elektrodene. Den mest avgjørende faktoren for hvor stor lysbuen blir er avstanden mellom elektrodene, ved større avstand mellom elektrodene kreves det høyere gjennomslagsspenning for at lysbuen skal gjenntennes. Det blir dannet plasma mellom elektrodene når det oppstår lysbue, og dersom det allerede finnes plasma med lav resistivitet mellom elektrodene fra en tidligere lysbue, vil gjennomslagsspenningen bli redusert. Dette bidrar til at skuldrene til strømmen blir redusert[20][21][11]. Laboratorieforsøk viser at gjenntening av lysbue er veldig avhengig av oksiddannelsen på overflaten til elektrodene. Forsøk viser at elektroder hvor det har blitt dannet oksidbelegg på overflaten vil lysbuen slukke ved nullgjennomgangen og deretter gjenntennes. Årsaken kan være at overflatemotstanden på elektrodene er høyere på grunn av oksiddannelsen.

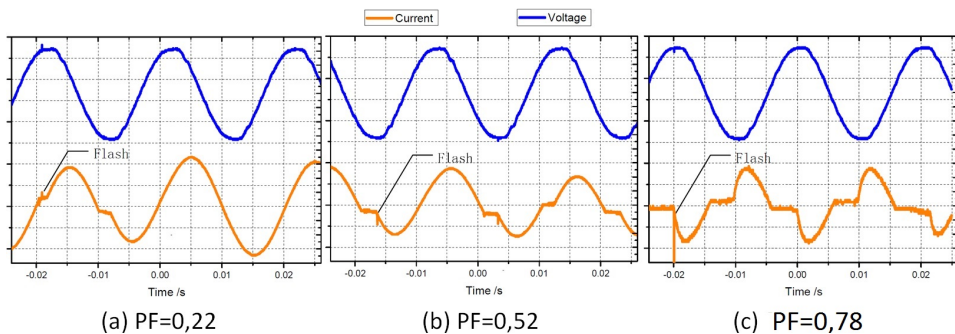
Avstanden mellom elektrodene i strømkretser hvor det oppstår serielysbue er små. Som nevnt tidligere oppstår det veldig høy temperatur, noe som bidrar til at det blir dannet ledende kobberbro mellom elektrodene. Det samme kan oppstå i strømkretser hvor det oppstår parallelllysbue. Ofte vil det være større overflate på elektrodene hvor det oppstår parallelllysbue. Dette bidrar til at lysbuen blir fortere kjølt ned og varmen forsvinner fort. Dette vil påvirke gjenntening av neste lysbue, og det vil ta lenger tid for at det oppstår ny lysbue, sammenlignet med serielysbue. Det vil oppstå høyere lysbuestrømmer på paral-

lellysbue. Lysbuestrøm karakteristikken er mer stabil og veldefinert for parallelllysbue enn serielysbue. Figur 2.6 viser sammenligning av lysbuestrømmene til parallell og serie[21].



Figur 2.6: Strømmåling i kretser hvor det har oppstått lysbue; (a) viser parallelllysbue; (b) viser serielysbue[20]

Ofte oppstår lysbuer i strømkurser med induktiv belastning, og eksempler er strømkurser hvor belastningen kan være frysere, kjøleskap, tv, induksjonstopp, varmepumpe osv. Effektfaktor(PF) kan på slike kurser være på 0,7-0,9[20]. Induktive belastninger vil påvirke lysbuestrømmen[20]. En minkende effektfaktor vil redusere skulderen på lysbuestrømmen. Grunnen til at skulderen på lysbuestrømmen blir redusert og muligens bli borte er at induktive kretser har en tendens til å holde på strømmen. Lysbuen vil ikke da slukke ved nullgjennomgangen for strømmen. Figur 2.7 viser strøm- og spenningskurver i en strømkrets hvor det har oppstått lysbuer. Det er tre forskjellige belastninger med ulik effektfaktor, der figuren viser at ved minkende effektfaktor vil skulderen bli redusert. Det kan bli komplisert å detektere lysbuer i kretser med stor induktiv belastning. Deteksjonsprinsipp for lysbuevern blir nærmere beskrevet i kapittel 4.1.



Figur 2.7: Induktive belastninger vil påvirke lysbue strøm karakteristikken. Ved en minkende effektfaktor(PF) vil skulderen ved strømmens nullgjennomgang bli redusert[20]

2.6 Hvorfor ikke automatsikringen detekterer lysbue

Det blir stilt krav i FEL[22] at mennesker, husdyr og eiendom skal beskyttes mot overstrøm og feilstrømmer. Dette er beskrevet i kapittel V, sikkerhetskrav vern og andre beskyttelses-tiltak i FEL. Derfor er alle strømkurser i boliger beskyttet med vern som detekterer overbelastning og kortslutning.

Automatsikring eller smeltesikring blir brukt til sikring av elektriske ledningsanlegg i boliger mot overbelastning og kortslutning[23][24]. Dersom det blir benyttet automatsikring, vil det ved moderate overstrømmer et bimetall bøye seg og dette vil forårsake utkobling etter en gitt tid[23][24]. Dette blir også kalt termisk utkobling. Ved kortslutning i kretsen gir automatsikringen en elektromagnetisk utkobling og nesten en momentan frakobling. Når det oppstår kortslutning sørger en magnetspole over et utløseranker for momentan utkobling[23][24]. Etter at automatsikringen har koblet ut strømkursen, kan den kobles inn igjen ved en trykknapp. Utløserkarakteristikk for automatsikringer følger internasjonale normer for tider vernet skal garantere en utløsning. B-karakteristikk er en mye brukt sikringskarakteristikk benyttet i boliger. B-karakteristikken har en momentan utløsning ved $3-5xI_n$, og termisk utløsning er $1, 13-1, 45xI_n$. I_n er nominell strøm for vernet.

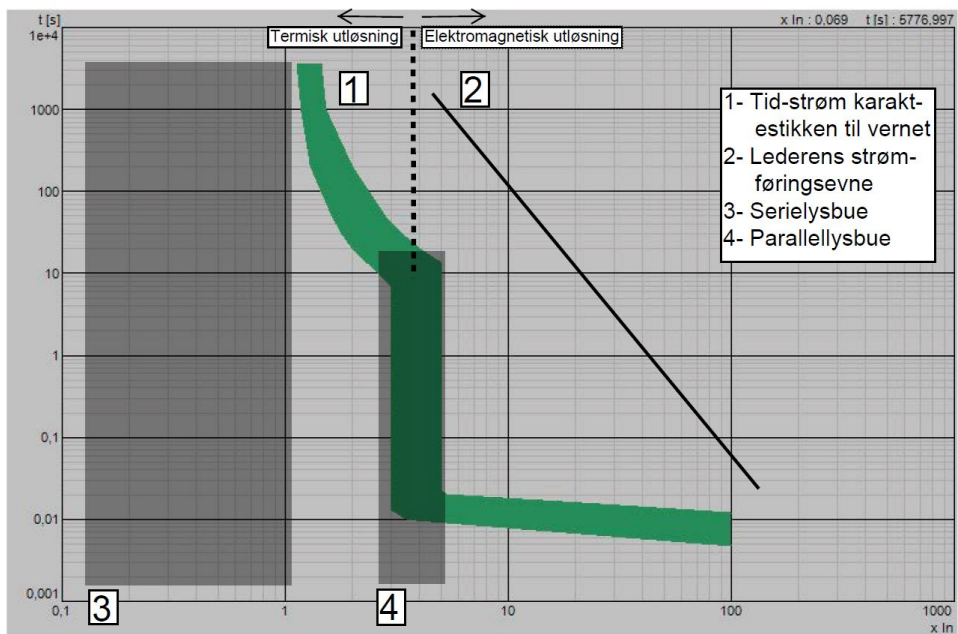
Figur 2.8 viser en typisk tid-strøm karakteristikk for en automatsikring, og den er markert med fargen grønn på figuren. Karakteristikken utgjør en kombinasjonen av termiske- og elektromagnetiske utløsningsenhetene for vernet. Tid-strøm karakteristikken er hentet fra FEBDOK[25] og viser karakteristikken til en 16 A Schneider Electric automatsikring med en B-karakteristikk. Produsenten lover at vernet ikke skal løse ved $1, 13 * I_n$ overbelastning innenfor en time, og at vernet garantert skal løse hvis det er $1, 45 * I_n$ overbelastning innenfor en time. Vernet skal også løse hvis strømmen er $5xI_n$ eller høyere innenfor 0,1s elektromagnetisk. Dersom strømmen er $3xI_n$ skal ikke vernet løse elektromagnetisk.

Som figur 2.8 viser, beskytter automatsikringen for overbelastning eller kortslutning for strømmer som er ved den grønne kurven til automatsikringen eller til høyre, etter de gitt tidene. Automatsikringen kan ikke beskytte mot serielysbue, dersom det oppstår i en strømkurs [26][27][28]. Dersom det oppstår serielysbue i en strømkurs, vil det bli et spenningsfall over området der det oppstår serielysbue, og det vil resultere i at impedansen på kursen øker og strømmen vil bli lavere enn belastningsstrømmen[27]. Strømområdet for serielysbue er markert med (3) i tid-strøm karakteristikken til vernet.

Dersom det oppstår parallelllys bue i strømkursen vil det være mye større energi i lysbuen enn om det oppstår serielysbue[5]. Dette vil resultere i at det er lettere å antenne andre nærliggende materialer[27]. I referanse [27] blir 75 A betraktet som en normal strøm i en strømkurs etter at det har oppstått parallelllys bue. I figur 2.8 er strømområdet da det oppstår parallelllys bue i en krets markert med (4), og det er det samme området som også blir illustrert i tid-strøm karakteristikk figurene i referansene [26][27][28]. Dersom man antar det oppstår en parallelllys bue og strømmen i kretsen blir mindre enn at automatsikringen

løser momentant, da kan det ta mange sekunder før sikringen løser termisk. Det er da større sannsynlighet at nærliggende materialer blir antent.

SCHNEIDER: C60H-JFA B; 16 A; JFA B KURVE

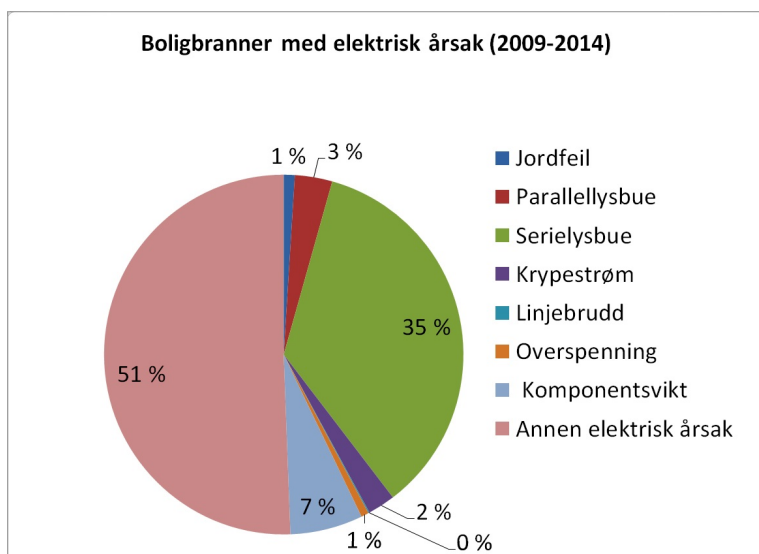


Figur 2.8: Tid-strøm karakteristikk for en automatsikring. Typiske strømverdier for serielysbue eller parallelllys bue er markert i karakteristikken[25]

3 | Brannårsaker

3.1 Brannstatistikk i Norge

Elektrisk materiell og utstyr som er beskyttet med tilstrekkelig dimensjonerte ledninger/kabler og jordfeilsautomat vil vanligvis representere liten brannfare [2]. Likevel skyldes ca 40 % av alle boligbranner i Norge enten feil ved elektrisk utstyr/installasjoner (20 %) eller feil bruk av elektrisk utstyr[29]. Figur 3.1 viser en oversikt over årsakene for de elektriske brannene i tidsrommet fra 2009 til 2014, og i det tidsrommet er det registrert 3302 branner i Norge som skyldes elektriske årsaker[1].



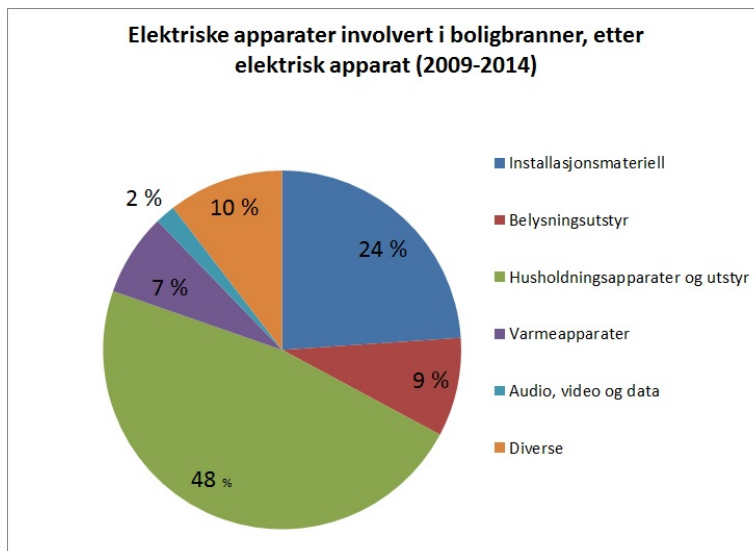
Figur 3.1: Boligbranner med ulike elektriske årsaker i Norge i tidsrommet fra 2009 til 2014[1]

Mulige årsaker til disse brannene er at det elektriske anlegget er feilaktig installert eller at elektrisk utstyr har blitt feilaktig benyttet[2]. Det oppstår hyppigst brann i stuen, 29 %

av de etterforskende brannene oppstår der[11]. Kjøkkenet og soverommet følger deretter hvor det er registrert flest branner[11]. Dersom elektrisk materiell eller utstyr skal utgjøre en tennkilde må det være tilført en strøm og spenning som forårsaker en tilstrekkelig høy temperatur på lokale punkter som kan medføre til antenning av brennbar materiale[2]. Blant boligbranner med elektrisk årsak, utmerker serielysbuer spesielt. Serielysbue står for 35 % av de elektriske brannene i tidsrommet 2009 til 2014, mens parallelllysbue står for 3 % av boligbrannene.

Maren Bjørnbakk [11] nevner i sin masteroppgave at det ikke blir gitt klare føringer for når en konklusjon av brannårsak blir gitt i DSB brannstatistikk. Brannårsaken må vurderes av den enkelte og det kan da være vanskelig å komme med en konkret konklusjon dersom bevisene ikke vurderes holdbare nok. Dette kan være en del av forklaringen at 51 % av de elektriske årsakene registreres på "annen elektrisk årsak"[11]. Brannstatistikken kunne derfor vært helt annerledes dersom bevisene hadde vært holdbare nok, og andelen serie-lysbue og parallelllysbue kunne ha vært høyere.

Figur 3.2 viser ulike typer elektriske apparater som har vært involvert i boligbranner i Norge. Statistikkdataene er også her hentet fra DSB og er ifra tidsrommet 2009 til 2014[1]. Husholdningsapparater og utstyr er den gruppen av elektriske apparater som forårsaker flest boligbranner i Norge. Overkant av 70 % av boligbrannene i denne gruppen er komfyr og kokeplate[1]. Mens ca 20 % av boligbranner i denne kategorien er andre hvitevarer[1]. Den nest største kategorien over brannårsaker er installasjonsmateriell, og denne gruppen inneholder blant annet ledninger, kabler, brytere, koblingsbokser og varmekabler.



Figur 3.2: Ulike typer elektriske apparater som har vært involvert i bolig branner i Norge i tidsrommet fra 2009 til 2014[1]

Belysningsutstyr og varmeapparater forårsaker også mange boligbranner i Norge. Mange lamper har veldig høy overflatetemperatur og er derfor en hyppig årsak til brann[29]. Mengden av flyttbare lamper har økt de siste årene, og slike lamper kan velte og komme i kontakt med brennbart materiale. Andre utfordringer med belysningsutstyr er tilbehøret og spesielt transformatoren. Ofte kan transformatoren bli varm på grunn av at den ikke passer sammen med lyskilden[29]. Når det gjelder brannårsak til elektriske ovner skyldes ofte brannen at ovnen har blitt tildekt. Mange ovner er flyttbare og kan dermed komme i nærheten med brennbart materiale[29].

Til tross for at antallet elektriske utstyr som vi omgir oss med har økt betraktelig de siste årene, har antallet branner som skyldes slikt utstyr holdt seg stabilt[29]. Dette indikerer at den innebygde sikkerheten ved slikt utstyr har blitt bedre de siste årene[29]. De siste årene har det derimot vært en økning i branner forårsaket av installasjonsmateriell[29].

3.2 Installasjonsmateriell

Installasjonsmateriell er en sammensatt gruppe bestående av mange forskjellige komponenter, blant annet sikringer, sikringsskap, ledninger, koblingsbokser, brytere, stikkontakter osv. Når disse settes sammen blir det dannet et elektrisk anlegg.

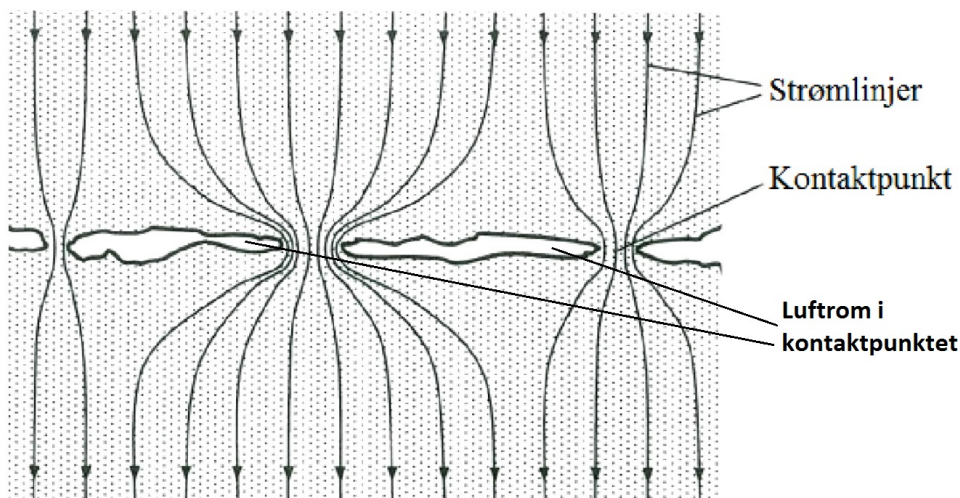
Erfaringsmessig slurves det tidvis med vedlikehold i boliginstallasjoner[29]. Blant annet blir dimensjoneringen av anlegget utført utifra behovene da anlegget var nytt, men husholdningens strømforbruk økes kontinuerlig[29]. Ofte blir ikke de elektriske anleggene oppgradert tilsvarende[29]. Tilsynsrapporter viser at 60 % av kontrollerte nye elektriske anlegg i boliger inneholder feil[29]. Oftest skyldes feilene mangelfulle rutiner og slurv[29]. Tall fra elsikkerhetsmyndighetene viser at nye elektriske anleggene som inneholder feil, er 2 % av feilene knyttet til brann- og berøringsfarlige feil[29]. Annet alvorlig problem er at ikke-fagfolk med manglende kunnskaper monterer anleggene selv, eller at utenlandske elektrikere benyttes uten den nødvendige kunnskap om norske forhold[29]. I Norge blir det benyttet mer elektrisk oppvarming på grunn av det kalde klima enn resten av Europa, dette innebærer at sikringskursene vil ofte ha kontinuerlig høy belastning.

Disse årsakene kan bidra til varmegang i koblinger. Dårlig kontakt i et koblingspunkt vil utvikles over tid og forårsake lokale høye temperaturer[29]. Dette kan fremme oksidering og etterhvert glødende forbindelser og dette kan antenne omkringliggende materialer og det oppstår brann. Installasjonsmaterialet er ikke evigvarende. Koblingsbokser, isolasjonen i ledningene, stikkontakter osv vil få en redusert funksjon over tid[29]. Boliginstallasjonene vil også bli påvirket av oppussingsarbeid ved at man spikrer gjennom ledninger, bøyer ledninger hvor isolasjonen har blitt sprø eller på annen måte forringer kvaliteten på installasjonsmaterialet uten at man er klar over det[29].

3.2.1 Koblingspunkter

Koblingspunkter viser seg å være det svakeste punktet i elektriske anlegg[2]. I koblingspunkter kan det oppstå motstandsoppvarming som produserer vedvarende varme og eventuelt glør. Gløding kan oppstå i grenseflatene i nesten alle koblingspunkter, som for eksempel mellom koblingsklemmen i en stikkontakt og kobberlederen. Mest hyppig forekommer motstandsoppvarming av koblingspunkter i koblingsbokser, stikkontakter og støpsler [2].

I en kontaktforbindelse hvor to ledende materialer er ført sammen, vil det normalt bare være noen få punkter som danner overgang for strømmen[11][10]. Det vil ikke være fysisk kontakt mellom materialene over hele kontaktflaten fordi små ujevnheter på overflaten vil danne luftgap på kontaktflaten[11][10]. Figur 3.3 viser en illustrasjon av en forstørret del av en kontaktflate, hvor de "hvite boblene" viser luftrom mellom kontaktpunktene. I kontaktpunktene som danner overgangen for strømmen vil strømtettheten være stor og dette vil ha innvirkning på overgangsmotstanden og varmeutvikling i kontaktpunktet [11][10]. Innsnevringen av strømlinjene som er vist på figur 3.3 reduserer volumet av materialet som benyttes til elektrisk overføring og dette vil medføre til høyere overgangsmotstand[11][10].



Figur 3.3: Forstørret del av en kontaktflate viser ujevnheter på kontakflaten og strømtettheten blir større hvor det er fysisk kontakt [11]

Innsnevringssmotstanden i ett sirkulært kontaktpunkt er bestemt av lederens spesifikke resistans ρ og kontaktpunktets radius a . Dette er vist i formel 3.1.

$$R = \frac{\rho}{2a} \quad (3.1)$$

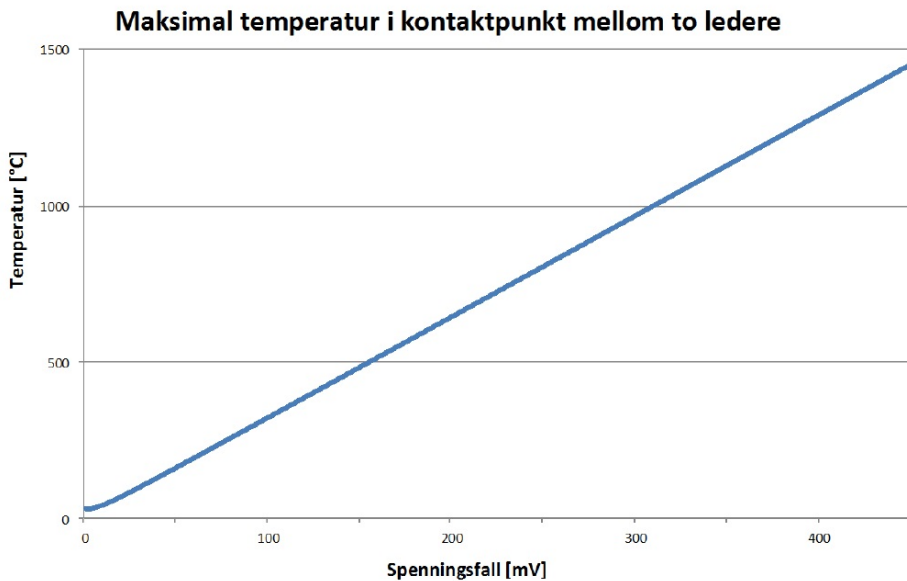
3.2.1.1 Varmeutvikling i koblingspunkter

Antall kontaktpunkter på en kontaktflate vil avhenge av ruheten på kontaktforbindelsen, hardheten til materialene og kontaktkraften mellom lederne[11]. Kontaktkraften mellom lederne har direkte påvirkning på antallet og størrelsen på kontaktpunktene. Det er derfor viktig at elektrikerne skrur til forbindelsene i et koblingspunkt godt. I USA anbefales det et gitt kraftmoment ved fastskruing av koblingspunkter. Koblinger kan bli løse som følge av vibrasjoner eller bevegelser i huset. Gode kontaktforbindelser har vanligvis en lav overgangsmotstand, men disse forbindelsene kan imidlertid lede til vesentlig lokal temperatur økning. Mengden av metall i kontaktforbindelsen som varmes opp er veldig liten og metalllets varmeledningsegenskaper i lederen er effektiv og dette medfører til at termiske responstiden er veldig kort og temperaturen vil stige og avta i takt med vekselspanningen. Kontaktforbindelsen utsettes for 100 termiske amplitudesykluser i sekundet [30].

Magne Runde[30] benytter formel 3.2 for å beregne maksimaltemperaturen på en kontaktflate. Det er forutsatt at elektrodene er av samme metall og at temperaturfordelingen over kontaktflaten vil fordele seg symmetrisk. Den høyeste temperaturen som oppstår i kontaktflaten bestemmes av spenningsfallet over kontaktflaten(U), absolutt ledertemperaturen langt unna kontaktpunktet(T) og en konstant(L). Konstanten L vil for de fleste metaller vil være $2,4 \times 10^{-8} [V^2/K^2]$.

$$T_{max} = \sqrt{\frac{U^2}{4 \times L} + T^2} \quad (3.2)$$

I følge denne formelen er det kun spenningsfallet over kontaktpunktet som bestemmer temperaturen i kontaktpunktet. I Maren Bjørnbakk sin masteroppgave [11] fra 2015 viste hun sammenhengen mellom den maksimale temperaturen i kontaktpunktet og spenningsfallet over kontaktpunktet ut fra formel 3.2. Dette er vist på figur 3.4. Temperaturen som blir beregnet utfra formel 3.2 beskriver temperaturen meget lokalt i kontaktpunktet. Temperaturen på resten av kontaktflaten er betydeligere lavere på grunn av metalllets gode varmeledningsegenskaper[30].



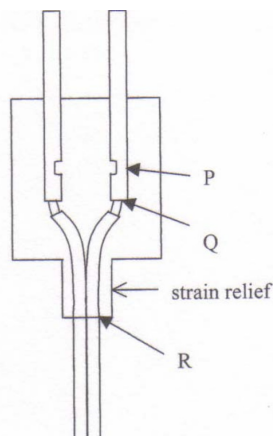
Figur 3.4: Sammenhengen mellom maksimal temperatur i kontaktpunktet og spenningsfallet over kontaktpunktet. Gjengitt med tillatelse fra Maren Bjørnbakk [11]

3.2.2 Støpsler

På markedet finnes det to typer støpsler; PVC-støpte støpsler og skruestøpsler. Elektriske feil som kan oppsto i støpsler er i følge referanse [2]:

- Løstsittende støpsel i stikkontakt.
- Degradering av isolasjonen på grunn av høyt strømforbruk og høye temperaturer.
- For dårlige tilskrudde skruer i skruestøpsler.
- Krypstrømdannelse på kontaktflaten til støpslet som oppstår på grunn av forurensninger og fuktighet.
- Feilproduksjon av støpsel.
- Mekanisk skade.

Støpte støpsler er det vanligste støpselet som blir benyttet til elektrisk utstyr[2]. Det blir benyttet isolasjonsmaterialet PVC i støpte støpsler[2]. På støpte støpsler kan det oppstå glødende forbindelser, lysbue og kortslutninger. Figur 3.5 viser typiske feilsteder i støpte støpsler når de blir utsatt for mekanisk påkjenning[2].



Figur 3.5: Typiske feilsteder på et støpsele [2]

I et japansk forsøk utført av Shimizu m.fl.[2] ble det utført en testserie hvor støpsler ble bøyd inntil det oppstod brudd enten i punkt P eller Q, vist på figur 3.5. Deretter ble det dannet serielysbue ved at støpselet ble bøyd frem og tilbake. I forsøket viste det seg at det oppsto serielysbue etter å ha bøyd støpselet i gjennomsnitt 86 ganger. Etter noen sekunder kom det røyk ut fra pinnene i støpselet som er delvis støpt inn. Det ble observert flammer ut fra støpselet og dette spredte seg på overflaten av støpselet, og etter 1-7 minutter slukket brannen på støpselet av seg selv. Det gikk fortsatt en liten strøm gjennom den forkullede PVC-isolasjonen. I noen av forsøkene antente støpslene på nytt og en treplate ble antent av det brennende støpselet.

Støpsler til apparater som trekker stor strøm har større sannsynlighet for nedbrytning og kan lede til brann[2]. Det har blitt utført eksperimentelle forsøk med “hot-plugging”. “hot-plugging” er å sette inn og ta ut støpsele i en stikkontakt med elektrisk utstyr som trekker høy strøm gjentatte ganger[2]. Materialet i kontaktforbindelser i støpsele eller stikkontakt eroderer og kan forårsake dårlige kontaktforbindelser, dette vil bidra til lokal oppvarming av støpselet og dannelse av CaCl_2 [2]. Kalsium kommer fra kalsiumkarbonat og blir brukt som fyllstoff i PVC[2]. Det har blitt utført flere forsøk med “hot-plugging”. Til å begynne med oppstod det bare korte lysbueglimt, men kun etter en kort tid oppstod det en vedvarende lysbue på overflatene mellom støpsele og stikkontakt[2]. Dette medførte til betydelig avgivelse av pyrolyseprodukter fra isolasjonsmateriale[2]. Inspeksjon av stikkontakt og støpsele etter forsøkene viste tydelig at isolasjonen hadde forkullede spor.

Mekanisk skade på støpselet kan oppstå ved rykking av ledningen, eller at møbler og dører støttes mot eller settes opp på støpselet. Dersom ledningstrådene i støpselet brytes, kan det føre til overoppheting og lysbue. I et japansk forsøk utført av Uchida m.fl [2] ble kabelen rykket til gjentatte ganger inntil det oppstod feil. Etter forsøkene fant de ut det feilraten var avhengig av hvilke type støpsele og kabel som ble benyttet. Noen forsøk ble det foretatt 20 000 rykkinger i støpselet uten at det oppstod noe feil. I andre tilfeller med dårligere

kontaktforbindelse mellom kabel og støpsel oppstod det feil etter kun 2000 rykkinger. Det har også blitt funnet ut at antall bøyninger som var nødvendig for å oppnå antennelse av støpselet var avhengig av belastningen. Ved en belastning på 400 W var det nødvendig med ca 2250 bøyninger for PVC-isolerte ledninger og støpsler, mens det var nødvendig med ca 200 bøyninger ved en belastning på 600 W[2].

3.2.3 Stikkontakter

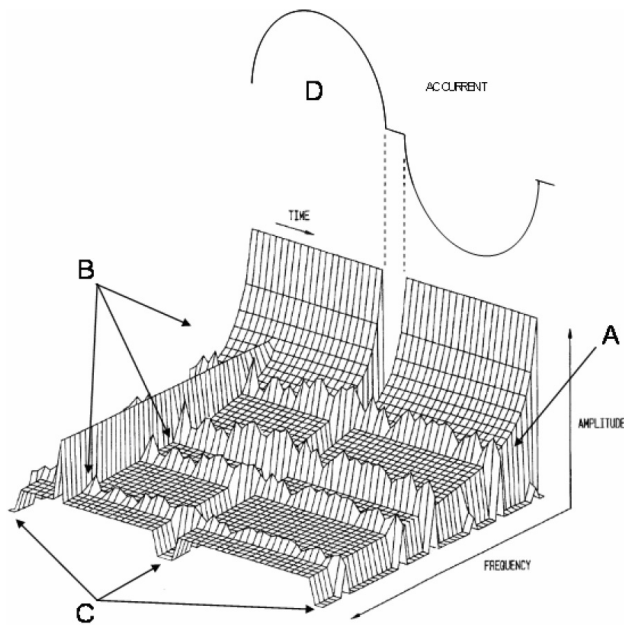
Det kan oppstå antennelse i stikkontakter ved at det er løse koblinger og det oppstår oksid dannelse i koblingspunktet. Oksidbelegget har høy motstand og da kretsen er høyt belastet vil det oppstå varmeutvikling i stikkontakten. Vanligvis er lederen riktig dimensjonert i henhold til strømlasten på den aktuelle strømkurs. Forhold som kan øke risikoen for antennelse av stikkontakter er mangelfull installasjon, hyppig innsetting/uttak av støpsel og store strømvariasjoner som kan forårsake vibrasjoner i stikkontakten. Slike fenomener skjer vanligvis over lang tid og er ofte skjult for både brukeren og installatøren[2].

Feilfrekvensen på en stikkontakt er temmelig lav med hensyn på brann, dersom man tar i betraktning hvor mange stikkontakter det er i boliginstallasjoner. Sannsynligheten er derfor liten for antennelse på grunn av feil i en stikkontakt. Utifra DSB sin statistikk for boligbranner viser det seg at det er gjennomsnittlig ca 20 boligbranner i året som er forårsaket av feil i stikkontakter, i fra 2009 til 2014[1].

I forsøk utført av SINTEF NBL[8], viser at stikkontakter som har blitt testet har en betydelig lokal skade på plastmaterialene som omga koblingsklemmene. De fleste stikkontaktene forblir skaden skjult hvis ikke dekslet til stikkontakten blir fjernet. I forsøkene oppstod det en betydelig røykutvikling og i noen tilfeller også en flamme. Undersøkelser av stikkontakter etter branner har det blitt oppdaget mikroskopiske skader forårsaket av motstandsoppvarming[8]. Mikroskopiske skader er punkttæring på overflaten mellom leder og koblingsskrue. Før i tiden ble det antatt at dersom det oppstod brann i en stikkontakt skyldes det krypestrøm. Krypstrøm er elektrisk strøm som følger overflaten av et isolerende materiale[31]. Ved et overslag kan det dannes et forkullet spor på overflaten. Sporet kan gi en kontinuerlig krypestrøm og eventuelt gi et overslag[31]. Krypstrømmotstanden til dagens materialer installasjonsmateriell er så høy at krypestrøm ikke så lett å oppstå som tidligere[2].

4 | Lysbuevern

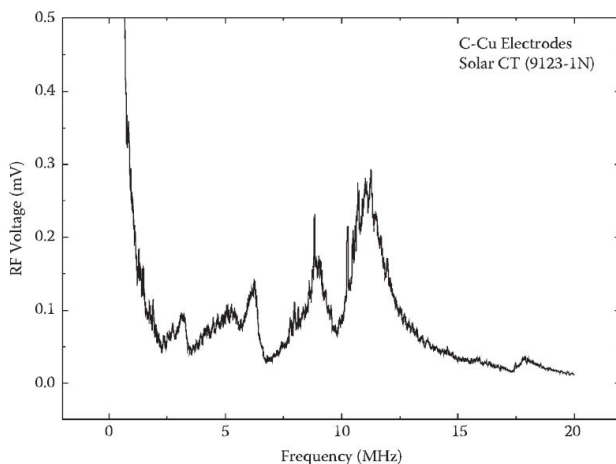
Designerne av lysbuevern benytter radio frekvens (RF) strøm fra lysbuer som deteksjonsprinsipp [5]. RF strøm er støy fra lysbuen som oppstår over et stort frekvensområde. Siden mange belastninger produserer RF strøm under normale forhold, vil den største utfordringen for denne teknologien å skille mellom belastninger som produserer RF strøm og en farlig lysbue[5]. Noen belastninger kan produsere lysbuer eller gnisninger under normale forhold. Små lysbuer kan for eksempel oppstå i en lysbryter, børstene til en motor eller lysstoffør. Lysbuevern benytter algoritmer som ser på størrelsen og varigheten på RF strømmen, mønstre og frekvensen til lysbuen for å avgjøre om det er en skadelig lysbue. Det er godt dokumentert i forskningen at det blir generert RF strøm fra lysbuer[5][32]. Støyen fra en lysbue kan være i frekvensområdet fra noen titalls hertz til 1 GHz[32]. Figur 4.1 viser RF strøm over et frekvensområde.



Figur 4.1: Støy fra lysbue over et frekvensområde[32]

Figur 4.1 viser strøm- og frekvenskarakteristikk for en krets hvor det har oppstått lysbuer [32]. Markering D viser strømmen i kretsen. Strømkurven i figuren viser at nær nullgjennomgang vil det være lite energi i lysbuen og den vil slukke, og det vil ikke gå noe strøm i kretsen. Spenningen over punktet der det oppsto lysbue vil nå øke, og etter nullgjennomgangen vil spenningen bli høyere enn gjennomslagsspenningen til det isolerende mediet, slik at lysbuen vil gjentennes. Dette vil gjenta seg for hver halvperiode for strømmen. Amplituden på RF strømmen synker ved økende frekvens, og det er vist med markering A i figuren. På markering B viser at amplituden på RF strømmen kan ved noen frekvensområder bli større. Ved nullgjennomgangen av strømmen blir det ikke generert noe støy, og det er vist på markering C.

Figur 4.2 viser en spektrum analyse av en serielysbue, og illustrerer at det oppstår støy fra lysbuen over et stort frekvensområde. Det har blitt utført forsøk der det har blitt funnet ut at det finnes en vesentlig grad av tredje harmoniske komponenter i en lysbue[20]. Forsøk viste seg at den tredjeharmoniske komponenten til en lysbue ved en rent resistiv krets var nesten 0,25 av den grunnharmoniske komponenten[20]. Det påstås at det er spesielt høy forekomst av tredjeharmoniske komponenter ved en parallelllysbue[21]. Forsøk viser at i en lysbue vil RF amplituden være forhøyet i hele frekvensområdet fra 100 Hz til 1,5 kHz, og det blir også observert en forhøyning i RF amplituden i frekvensområdet fra 2 kHz til 5 kHz[21]. Det er noen typer belastninger som produserer harmoniske frekvenser med forhøyet amplitude slik som lysbuer, eksempler er omformere, lysrør og motorer. Det blir også generert mye bakgrunnstøy i frekvensområdet 15-18 MHz[33]. Det er viktig at lysbuevernet ikke feildetekterer på grunn av bestemte typer belastninger eller bakgrunnstøy. Lysbuevernet må derfor benytte seg av flere frekvensområder da vernet detekterer lysbue[5].

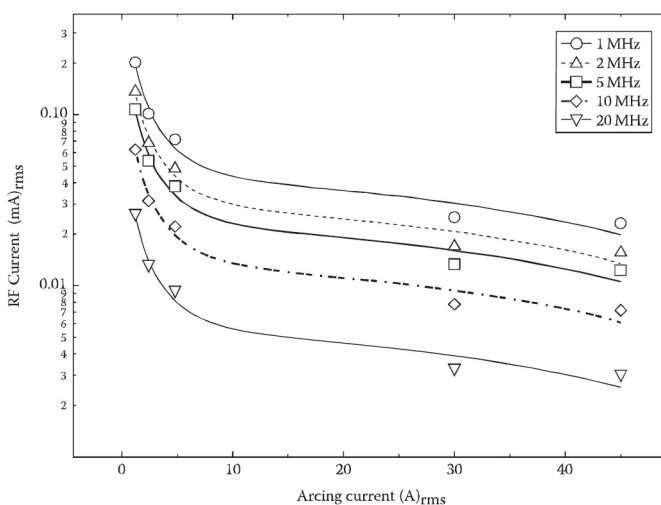


Figur 4.2: Spektrum av en serielysbue. Det er RF signaler over et stort frekvensområde[5]

Evnen til at en lysbue vil opprettholde seg selv er avhengig av bestemte faktorer. Hvis det

antas at alle momentene for at en lysbue skal oppstå er til stede og kretsen er koblet til en varierende spenningskilde, vil lysbuen forandres i forhold til svingningene til strømmen. Som nevnt tidligere vil lysbuen slukke nær nullgjennomgangen av strømmen. Det oppstår kun støy når det er vedvarende lysbue og ved nullgjennomgang vil støyen forsvinne, som vist på figur 4.1[32]. Det har blitt observert at energinivået på støyen kan bli påvirket av hvilke medie støyen blir fraktet i og strømnivået i kretsen. I strømkurser med lang utstrekning vil støynivået svekkes, og det reduseres med 60 dB per 50 fot (15,24 m)[32].

Alle lysbuer er farlig og kan antenne brennbare materialer, ved økende strømstyrke vil det ta kortere tid for antennelse. Ved en økende strømstyrke vil lysbuen bli kraftigere og dette vil skape mer ionisering i luftgapet hvor lysbuen oppsto[5]. I forhold til RF strøm som blir generert i lysbuen vil det ved en økende strømstyrke i kretsen redusere RF strøm[5]. Ved en strømstyrke på over 30 A vil det bli generert lite RF strømmer fra lysbuen, dette er vist på figur 4.3[5]. Det kan dermed være vanskelig å benytte lysbuevern med RF strøm som deteksjonsprinsipp på strømkurser som er over 30 A[5]. Over 30 A vil RF strømmen synke betraktelig[5]. Det kunne ha vært aktuelt å ha kun et lysbuevern etter hovedsikringen i sikringsskapet.



Figur 4.3: RF strøm som blir generert av serielysbue i en strømkrets. RF strømmen synker ved økende lysbue strøm og frekvens[5]

RF strøm som sirkulerer gjennom kablene og lysbuevernet i en boliginstallasjon, kan være påvirket av impedansen i kretsen[5]. Kabelens kapasitans og induktans påvirker størrelsen på RF strømmen, spesielt ved økende frekvenser[5]. Spesielt strø kapasitansen langs kabelen har en stor effekt på størrelsen av RF strømmen sett fra lysbuevernet[5]. Impedansen i kretsen er avhengig av valg av type kabel, lengde og belastning[5].

4.1 Deteksjonsprinsipper

Siemens var først ute i det norske markedet med lysbuevern. De har utviklet en modell, 5SM6 AFD unit[33], som skal beskytte strømkurser mot brannfarlige lysbuer. Lysbuevernet skal beskytte boliginstallasjonen mot serie- og parallelllysuer. Lysbuevernet er også testet for at den ikke skal detektere ufarlige lysbuer eller belastninger som ligner på en skadelig lysbue. Lysbuevernet til Siemens skal være i henhold til lysbuevernstandarden, IEC 62606. Prinsippene bak virkemåten til lysbuevernet som beskrives videre i kapittelet er hentet fra referanse [33] og [34]. Referansene beskriver hvordan lysbuevernet til Siemens håndterer lysbuer. Mer dyptgående informasjon om virkemåten til dette vernet er ikke publisert.

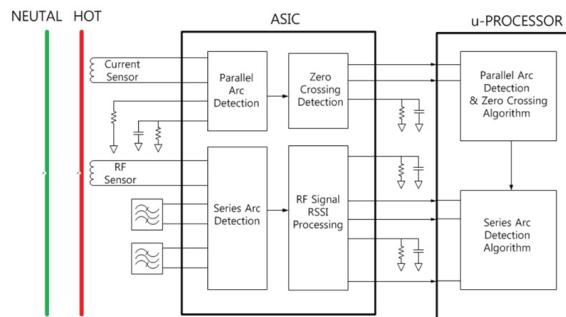
Schneider Electric selger også lysbuevern til det norske markedet. Det er uvisst om det er flere leverandører som tilbyr slike vern til det norske markedet. I en telefonsamtale med Ole André Kreppen fra Efa Elektro AS, importør av vern fra General Electric, opplyste han at General Electric ikke selger lysbuevern beregnet for norske forhold. General Electric har flere ulike typer lysbuevern som blir solgt i USA, og det er vern som ikke passer til norske forhold, spesielt siden nettspenningen i USA er 120 V. Kreppen presiserte at hvis det blir et krav om lysbuevern i boliginstallasjoner i forskriftene, vil General Electric utvikle vern som er beregnet til norske forhold. Han mente også at flere andre produsenter av vern ville ha utviklet lysbuevern for norske forhold hvis det hadde blitt et krav. Eaton er en annen leverandør som selger lysbuevern til det amerikanske markedet. Marius Bergersen Hansen fra Eaton Norge ble kontaktet, og han kunne opplyse at de jobbet med utvikling av lysbuevern til norske forhold. Lysbuevernene var i en testfase, og de ville ikke gi bort prototype av lysbuevernet.

Faselederne til strømkursen skal tilkobles vernet. Siemensvernet er utformet som en hjelpeblokk og kobles sammen med en Siemens automatsikring eller jordfeilautomat. Dette lysbuevernet benytter slukkekompartimentet til automatsikringen. Vernene blir koblet i parallell, og det virker som at det ikke er mulig å benytte automatsikringer fra andre leverandører enn Siemens. Schneider Electricvernet har integrert eget slukkekompartiment, og kobles etter automatsikringen i serie. Fordelen med dette vernet er at man kan benytte automatsikringer fra andre leverandører og ulempen er at den fysiske størrelsen på vernet er større enn Siemens sitt. Størrelsen på lysbuevernet fra Schneider Electric er like stor som en vanlig automatsikring, det vil si en bredde på 36 mm (2 moduler). Bredden på Siemens sitt lysbuevern er 18 mm (1 modul). Figur 4.4 viser lysbuevernene fra Schneider Electric og Siemens som er mulig å kjøpe i Norge[33][35].

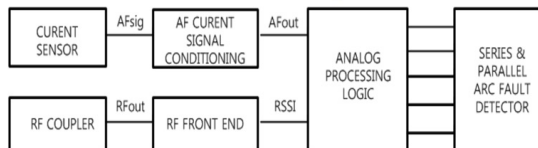


Figur 4.4: Lysbuevernene fra Schneider Electric og Siemens som er mulig å kjøpe i Norge[33][35]

Den prinsipielle utformingen og blokkdiagram for lysbuevern er vist på figur 4.5. Deteksjonsprinsippet til lysbuevern er å analysere strømkurvene og støysignaler. Lysbuevernet observerer harmoniske- og høyfrekvente støysignaler. Ved parallelllysuer benytter vernet strømkurvene for å detektere lysbue, mens ved serielysbue benytter vernet både støysignaler og strømkurvene for å detektere lysbue. Harmoniske frekvenser blir benyttet mindre siden dette er frekvenser som kan bli generert av elektrisk utstyr som benyttes mye i boliger. Høyfrekvente støysignaler benyttes spesielt til serielysbue detektering, siden lysbuer genererer mye høyfrekvent støy. Ulempen med å benytte høyfrekvent støy er at det blir komplekst for lysbuevernet og motta frekvensene og konfigurere maskinvaren[34].



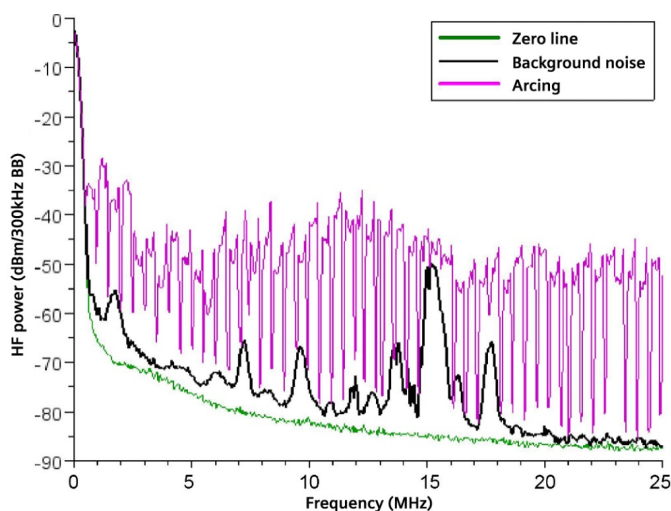
(a) Basic design of AFCI



(b) Block Diagram of AFCI

Figur 4.5: Prinsipiell utforming av lysbuevern. (a) viser designet av vernet; (b) viser blokkdiagram for virkemåten til vernet[34]

Som vist på figur 4.5 er det to forskjellige målesensorer koblet til den ene faselederen. Den ene målesensoren er en strømsensor som detekterer lavfrekvente signaler, mens den andre målesensoren detekterer høyfrekvente signaler. Det er viktig å unngå feildetektering for lysbuevernet. Som nevnt tidligere blir det produsert mye bakgrunnstøy i frekvensområdet 15-18 MHz som ikke lysbuevernet må forveksle med en brannfarlig lysbue. Eksempler på bakgrunnstøy som blir generert i frekvensområdet er strømforsyninger, motorer, fryser, varmpumper, stemmen til mennesker, bilstøy osv. Figur 4.6 viser bakgrunnstøy og støy fra lysbue i frekvensområdet fra 0 til 25 MHz. Frekvensområdet til bakgrunnstøy er markert med sort farge og produserer sterke signaler i området 15-18 MHz. Lysbuestøy er markert med fargen rosa og produserer sterke signaler over hele frekvensområdet[34][33]. Denne figuren er hentet fra Siemens sitt brosjyreblad om lysbuevern[33] og illustrerer det samme som spektrumanalysen i figur 4.2. Forskjellen er at figur 4.6 også tar med bakgrunnstøyen i kurven og viser hvilke frekvensområder det oppstår mye støy.



Figur 4.6: Høyfrekvent støy i frekvensområdet 0 til 25 MHz. Frekvensområdet til bakgrunnstøy er markert med sort farge og produserer sterke signaler i området 15-18 MHz. Lysbue støy er markert med fargen rosa og produserer sterke signaler over hele frekvensområdet [33]

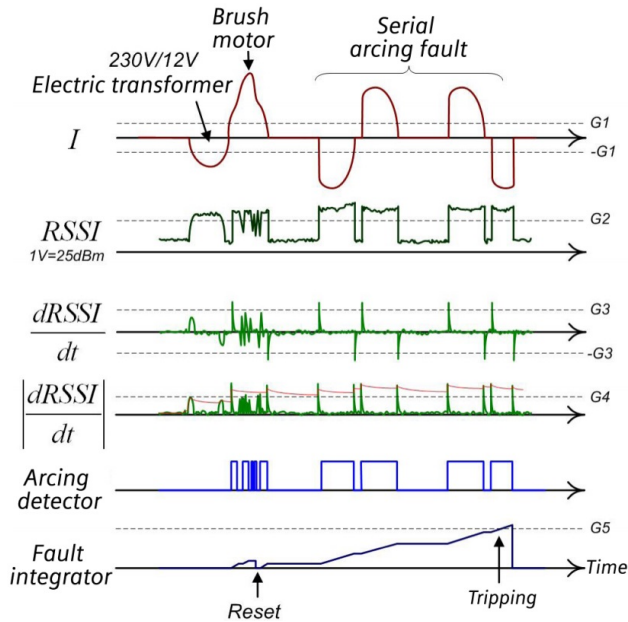
For å detektere høyfrekvent støy fra lysbuer benyttes det en R.F sensor på lysbuevernet, og den skanner høyfrekvente støysignaler i frekvensområdet 20-22 MHz. Dette blir videre kalt Received Signal Strength Indication (RSSI), og representerer effekten i en lysbue ved en definert frekvens og båndbredde. Analog elektronikk forbereder signalene fra målesensorene for videre prosessering i mikrokontrolleren til vernet. Dersom mikrokontrolleren ser de forhåndsdefinerte kriteriene for en skadelig lysbue, vil det bli sendt et utkoblings-signal videre til brytermekanismen[33][34]. Siemens har beskrevet hvordan lysbuevernene deres detekterer serie- og parallelllysue i referanse [33]. Beskrivelsen av deteksjonsprinsippene videre i kapitlet er hentet derifra.

4.1.1 Deteksjon av serielysbue

Omtrent 80 % av kalkuleringsarbeidet til mikrokontrolleren til lysbuevernet blir benyttet til å detektere serielysbue, mens de resterende 20 % av kalkuleringsarbeidet blir benyttet til detektering av parallelllysbue[33].

For at lysbuevernet skal detektere serielysbue, blir RSSI-verdien og hurtige endringer i RSSI undersøkt. RSSI blir kun generert når det går strøm i kretsen, ved nullgjennomgangen når lysbuen slukker blir det ikke generert RSSI. Dette vises tydelig på kurvene til strømmen(I) og RSSI på figur 4.7. To betingelser må bli oppfylt for at lysbuevernet skal tolke støysignalet som en skadelig lysbue. Først må RSSI oppnå en større verdi enn den forhåndsdefinerte verdien G2. RSSI-verdien blir deretter derivert med hensyn på tid, og hver gang en lysbue etableres eller slukker vil den tidsderiverte gi utslag. Dersom den tidsderiverte RSSI-verdien er større enn den forhåndsdefinerte verdien G4, er den andre betingelsen oppfylt for at vernet tolker støysignalet som en skadelig lysbue. Da feilintegratoren stiger over grenseverdien G5, vil mikrokontrolleren sende ut et utkoblingssignal til brytermekanismen[33].

For å hindre uønskede utkoblinger på grunn av vernet ikke klarer å skille mellom støysignaler fra ulike typer belastninger og en skadelig lysbuer, så tilbakestiller feilintegratoren umiddelbart til null hvis vernet ser en "utypisk lysbue". Dette er vist på den nederste tidskurven på figur 4.7[33].

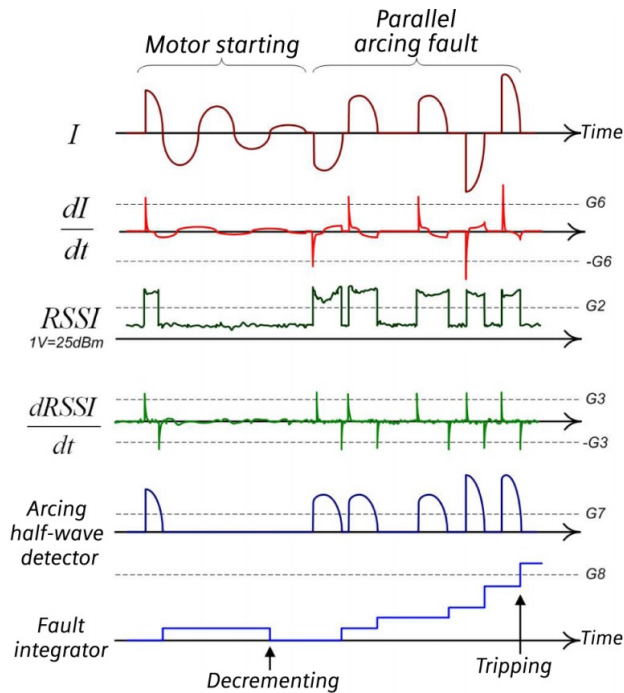


Figur 4.7: Signalbehandling til lysbuevern for å vurdere om det er en skadelig serielysbue [33]

4.1.2 Deteksjon av parallelllysue

Serie- og parallelllysuer har forskjellige karakteristikker og må derfor bli analysert separat. Figur 4.8 viser signalbehandlingen til lysbuevernet for å vurdere om det er en skadelig parallelllysue.

Kalkuleringsarbeidet til mikrokontrolleren for å detektere parallelllysue er liten i forhold til serielysue detektering. Dette er ikke fordi at kreves mindre arbeid for å detektere parallelllysue. Grunnen er at noen av signalvariablene som benyttes til å detektere serielysue kan også bli brukt til å detektere parallelllysue[33].



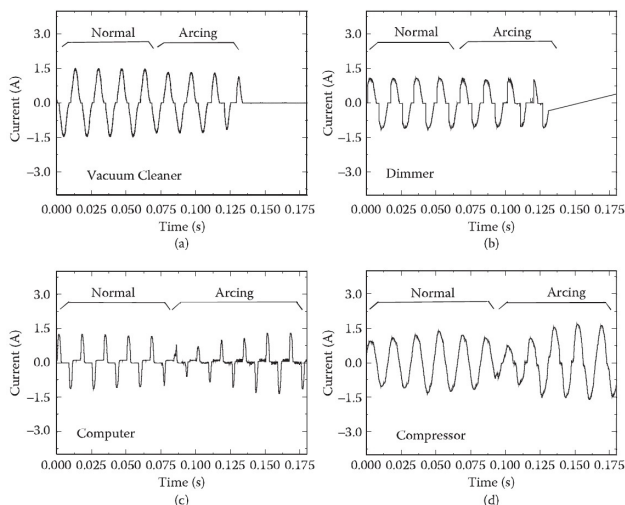
Figur 4.8: Signalbehandling til lysbuevern for å vurdere om det er en skadelig parallelllysue [33]

For å detektere en parallelllysue kalkuleres den tidsderiverte av strømmen. Den tidsderiverte verdien av strømmen må være større enn den forhåndsdefinerte verdien $G6$, for at det skal oppfattes som en parallelllysue. I tillegg er det krav om at RSSI-verdien må være større enn grenseverdien $G2$, som også er betingelse for detektering av serielysue. Dersom begge kravene blir innfridd, vil strømkurvene bli ansett som parallelllysue. Feilintegratoren vil bygges opp med en verdi som er proporsjonal med lysbuestrømmen. Når verdien overstiger forhåndsdefinerte verdien $G8$, vil et utkoblingssignal bli sendt til brytermekanismen[33].

Lysbuevernet registrerer hvor mange etterfølgende halvkurver av strømmen som oppstår. Dersom ikke halvkurvene av strømmen gjentar seg innen bestemte tidsintervall, vil feilintegratoren nullstilles. Figur 4.8 viser et eksempel med motorstart. I starten vil det ligne en parallelllysue på grunn av stor startstrøm. Etterhvert vil strømmen synke, og vil ikke ligne en parallelllysue som slukker ved strømmens nullgjennomgang og gjentennes når spenningen overstiger gjennomslagsspenningen. Feilintegratoren vil da nullstilles[33].

4.2 Uønsket utkobling av lysbuevern

Det har blitt utført mye forskning innen lysbuedeteksjon, men referanse [20] påstår at det ikke enda er funnet en enkel og pålitelig metode for å detektere lysbue. Det påstås i rapporten at mye av forskningen innen lysbue i lavspenningsinstallasjoner fokuserer på hvordan lysbuer oppstår og hvordan det kan oppstå brann på grunn av lysbue. Dette er forskning som er nyttig, men er ingen løsning på lysbuer som oppstår i boliginstallasjoner[20]. En svakhet med dagens lysbuevern er å skille mellom en brannfarlig lysbue og belastninger som kan generere strømkurver som kan ligne på en lysbue. Flere typer belastninger kan generere støy og strømkurver som kan ligne på en lysbue, men fortsatt ikke være farlig. Et eksempel er startstrømmen til halogenglødelamper på 1000 W som er styrt av en dimmer. Denne belastningen har en stor startstrøm og kan ha strømkurver som ligner på lysbuestrøm. Dette vil minne om en parallelllysue for lysbuevernet og det er viktig at vernet ikke feildetekterer. Halogenglødelamper styrt av dimmer er nok ikke relevant i boliginstallasjoner, men kan være relevant i næringsbygg og i landbruket. Figur 4.9 illustrerer flere andre eksempler på utfordringer som lysbuevernene har for å skille mellom strømkurvene til enkelte typer belastninger og en parallelllysue[32].



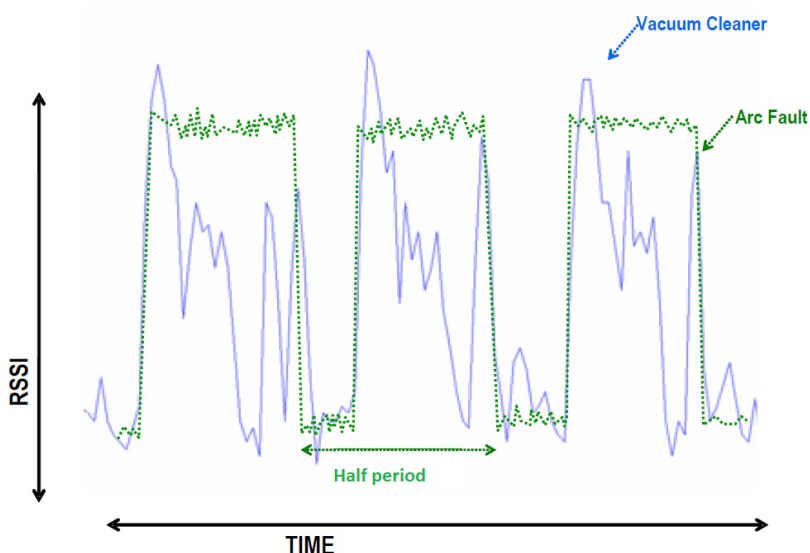
Figur 4.9: Illustrerer noen eksempler på hvor vanskelig det kan være å detektere lysbue feil med forskjellige belastninger som kan ligne lysbue[5]

Lyskilder og dimmer

Lyskilder i romtemperatur som slås på vil generere stor startstrøm de første periodene inntil det stabiliserer til normal strømforbruk. En 1000 W halogenglødelampe kan generere 100 A startstrøm de første halvperiodene[32]. Dimmer vil også påvirke startstrømmen til lyskilden inntil den stabiliserer seg til normal strømforbruk[32]. Ved tilfeller hvor dimmer skaper stor startstrøm, vil de første periodene være høyere i amplitude enn det lysbuevernet anser som en parallelllysue. For at lysbuevernet skal detektere og koble ut kretsen må det være stor startstrøm i minst 5 halvperioder før lysbuevernet skal detektere parallelllysue[32]. Lyskilder med dimmer har ofte stor startstrøm de første 2-3 halvperiodene[32].

Støvsuger

Vanligvis vil en støvsuger ha en startstrøm på ca 50 A[32]. De fleste støvsugere har kun en motor. Støvsugere genererer lite støy og er sjelden et problem fordi startstrømmen er liten og dette forhindrer forviklinger for lysbuevernet[32]. Nyere og billigere støvsugere som er på markedet har motorer som kan generere støy[32]. Støyen som blir generert av en støvsuger vil ikke vare i en halvperiode av nettfrekvensen, og den varierer mye innenfor halvperioden av nettfrekvensen[32]. Dette er illustrert med den lilla kurven på figur 4.10. Her vises at støyen som blir generert av lysbue vil vare helt til strømmen har nådd sitt nullpunkt og lysbuen slukker. Da lysbuen er slukket viser figuren at det ikke blir produsert noe støy, og når lysbuen gjenettes vil det på nytt bli generert støy[32]. Siden støvsuger ikke generer støy i hele halvperioden for strømmen, vil antageligvis feilintegratoren til lysbuevernet nullstilles.



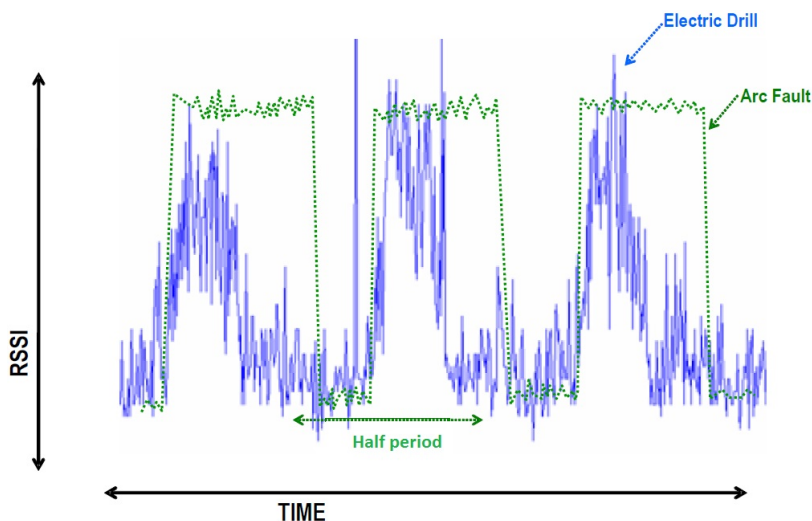
Figur 4.10: Illustrerer støy som blir generert av en støvsuger sammenlignet med en lysbue[32]

Kompressor

En kompressor er en typisk motor belastning med stor startstrøm. Kompressorer kan ha en startstrøm på opptil 150 A med en varighet på 200 til 500 ms[32]. Varigheten på den store startstrømmen er ikke lang nok til at det blir betraktet som en overstrøm for automatsikringen. Det blir generert lite støy under drift av denne komponenten[32]. Største forskjellen på strømmen til kompressor i forhold til en parallelllysue er at kompressoren ikke har den karakteristiske skulderen ved strømmens nullgjennomgang[32].

Elektrisk drill

Elektrisk drill er den belastningen som ligner mest på en farlig lysbue[32]. De små lysbueene som blir generert av en drill er veldig utfordrende for lysbuevernet, og dette gjelder spesielt lysbuevern som er i stand til å detektere lysbuer som er på under 30 A[32]. Sammenlignet med en skadelig lysbue, vil de små lysbueene som blir generert av en drill generere sterke støy signaler som kan bli fanget opp av RF forsterkeren til lysbuevernet[32]. Hovedforskjellen med lysbueene som blir generert i en elektrisk drill i forhold til en farlig lysbue, er at lysbuer som oppstår i en drill vil etableres og slukkes i en annen hastighet enn nullgjennomgangen til nettfrekvensen[32]. Den interne lysbuedannelsen i en drill oppstår i hvert gap i statoren[32]. Når hastigheten på drillen er lav, vil varigheten på lysbuen være kort og det vil ikke bli produsert støy i hele halvperioden. Dette er vist på figur 4.11. Sammenlignet med en lysbue, vil det bli dannet støy fra en elektrisk drill den første delen av halvperioden til nettfrekvensen, og deretter bli redusert. Andre utfordringer for lysbuevernet kan være sirkelsager, fresere, stikksager osv. Disse belastningene kan generere små lysbuer på grunn av slitasje på børstene til motoren.



Figur 4.11: Illustrerer støy som blir generert av en elektrisk drill sammenlignet med en lysbue[32]

5 | Teststandard for lysbuevern

Det har blitt utviklet en internasjonal teststandard for lysbuevern, IEC 62606 “General requirements for arc fault detection devices”[36]. Denne standarden er for lysbuevern som skal være i boliginstallasjoner eller andre lignende installasjoner. Vernene skal dermed betjenes av personell uten elektrobakgrunn. Denne standarden er laget for å sikre at leverandører leverer lysbuevern som fungerer tilfredsstillende hvis det oppstår en lysbue i en boliginstallasjon. Dermed reduseres risikoen for antennelse av brennbare materialer på grunn av lysbue i boliginstallasjonen. Standarden er utformet på bakgrunn av flere laboratorieforsøk, hvor hensikten var å finne ut hva som karakteriserer farlig lysbuer og ufarlige lysbuer.

Et lysbuevern skal detektere serie-, parallell- og jordfeilbue. Standarden setter krav til at lysbuevernene også kan brukes i IT-nett. Den maksimale spenningen er satt til 240 V og den maksimale strømmen er satt til 64 A. Det er ønsket i standarden at nominell strømstyrke på lysbuevernene skal følge nominell strømstyrke for automatsikringer; 10, 13, 16, 20, 25 osv. I standarden blir 2,5 A ansett som den minste strømstyrken i lysbue som er brannfarlig. Grunnen at det er valgt denne strømstyrken er et kompromiss mellom lysbuedeteksjoner og feildeteksjoner. Det er meget uheldig hvis vernet detekterer lysbue i en situasjon som ikke er en farlig lysbue. Mange feildeteksjoner unngås ved at den minste strømstyrken for farlig lysbue blir satt til 2,5 A. I standarden settes det krav til at lysbuedektoren og brytermekanismen til lysbuevernet må være fra samme leverandør eller tilknyttet samme varemerke. Lysbuevernet skal monteres etter automatsikringen.

Standarden setter en rekke krav til lysbuevernet. Flere av kravene er ikke direkte rettet mot lysbuedetektering. Kravene er blant annet hvordan vernet skal fungere mot overstrøm, responstiden til vernet, hurtige spenningsendringer, pålitelighet, håndtering av kortslutningsstrømmer, dielektriske og isolerende egenskaper, beskyttelse mot elektrisk sjokk, EMC, termisk, mekanisk og elektrisk utholdenhet.

I standarden er det 20 forskjellige tester som skal gjennomføres for å sikre at lysbuevernene fungerer tilfredsstillende. De ulike testene som skal utføres er beskrevet i kapittel 9 i standarden og en oversikt over testene er vist i figur 5.1. Tabellen er hentet fra lysbuestandarden.

Test	Subclause
- Indelibility of marking	9.3 ^a
- Reliability of screws, current-carrying parts and connections	9.4 ^a
- Reliability of terminals for external conductors	9.5 ^a
- Protection against electric shock	9.6 ^a
- Dielectric properties	9.7 ^a
- Temperature-rise	9.8
- Operating characteristics	9.9
- Mechanical and electrical endurance	9.10 ^a
- Behaviour under short-circuit conditions	9.11
- Resistance to mechanical shock and impact	9.12 ^a
- Resistance to heat	9.13 ^a
- Resistance to abnormal heat and to fire	9.14 ^a
- Verification of the trip-free mechanism	9.15
- Test of resistance to rusting	9.16
- Verification of limiting values of the non-operating current under overcurrent conditions	9.17
- Behaviour in case of surges caused by impulse voltage	9.18
- Verification of reliability	9.19
- Verification of ageing of electronic components	9.20
- Electromagnetic compatibility	9.21
- Verification of protection due to overvoltage due to a broken neutral in a three phase system	9.22
^a For AFDDs classified according to 4.1.2, these tests are already covered by the tests according to the relevant standard for RCDs or circuit breakers and need not to be repeated here.	

Figur 5.1: Oversikt over testene som må utføres på et lysbuevern for å tilfredstille kravene til IEC 62606[36]

I lysbuestandarden er det angitt grenseverdier for lysbuevernets brytetid ved deteksjon av lysbue. Dersom det oppstår en lysbue i en bolig skal vernet bryte strømmen innenfor tidene gitt i figur 5.2.

Test arc current (r.m.s. values)	2,5 A	5 A	10 A	16 A	32 A	63 A
Maximum break time	1 s	0,5 s	0,25 s	0,15 s	0,12s	0,12 s

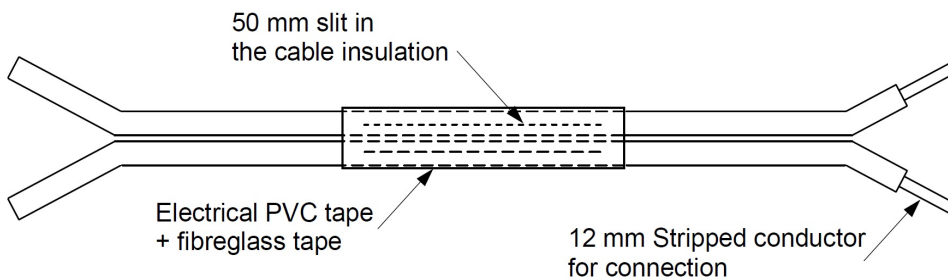
Figur 5.2: Lysbuevernets brytetid ved deteksjon av lysbue i forhold til strømstyrke[36]

5.1 Generering av lysbue i testkrets

I lysbuestandarden er det beskrevet to metoder for å lage lysbuer. Lysbuer blir enten laget med en lysbuegenerator eller kabelprøver som har et karbonisert spor i isolasjonen. De aller fleste lysbuetestene som er beskrevet i standarden blir en av disse benyttet.

5.1.1 Karbonisert kabelprøve

I flere tester i lysbuestandarden skal det dannes lysbue gjennom et karbonisert spor i isolasjonen mellom to ledere. Hvordan karbonisert spor oppstår i isolasjonen er beskrevet i kapittel 2.1. Figur 5.3 viser en kabelprøve hvor det har blitt dannet et karbonisert spor mellom isolasjonen til lederne. Dersom det blir påsatt spenning på den ene enden hvor lederne er avisolert vil det oppstå en kraftig serielysbue mellom lederne. Det antas at det er 2,5 ganger mer energi i lysbuen med karbonisert kabelprøve enn hva det er i lysbuen laget av lysbuegeneratoren[11]. I standarden er det beskrevet at kablene skal ha en minimum lengde på 20 cm og på endene skal kablene separeres med en avstand på 2,5 cm. 5 cm i fra den ene enden på lederne skal det lages et lite kutt i isolasjonen på lederne, uten at noen av kordellene på lederne blir skadet. Spalten i isolasjonen skal dekkes med dobbelt lag av sort PVC, deretter skal det samme området dekkes over med et lag med fibreglasstape.



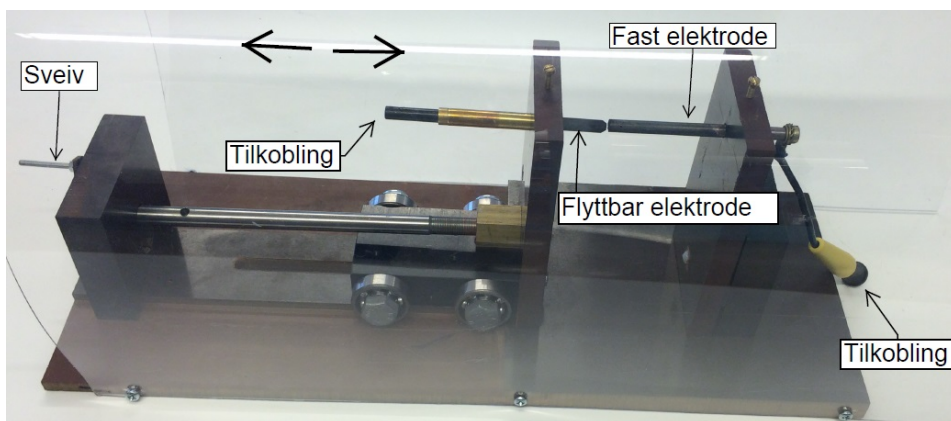
Figur 5.3: Kabelprøve hvor det dannes forhåndskarbonisert spor i isolasjonen mellom to ledere. Dersom det blir påsatt spenning på kabelprøven vil det oppstå serielysbue i kretsen[36]

For at det skal bli dannet en karbonisert spor i isolasjonen mellom lederne må man ha tilgang til et høyspenningslaboratorium. Lederne blir tilkoblet en krets med 30 mA kortslutningsstrøm og en tomgangsspenning på 7 kV. Det skal gå strøm i kretsen i 10 sekunder eller til at røykutviklingen slutter. Deretter skal kabelprøven kobles til en krets med 300 mA kortslutningsstrøm med en spenning på minst 2 kV, eller en spenning som er tilstrekkelig til å gjøre kretsen strømførende. Det skal gå strøm gjennom lederne i minst 1 minutt eller frem til røykutviklingen slutter. For å kontrollere at det er en karbonisert vei mellom isolasjonen til lederne, skal en 100 W glødelampe begynne å gløde dersom det blir påsatt nettspenning. I de testene hvor det skal benyttes karbonisert kabelprøve skal lysbuevernet bryte strømmen i kretsen etter brytertilstandene gitt i figur 5.2.

5.1.2 Lysbuegenerator

I flere av testene som er beskrevet i standarden blir det generert lysbue fra en lysbuegenerator. Figur 5.4 viser lysbuegeneratoren som har blitt benyttet til flere av forsøkene, og er den samme lysbuegeneratoren som Maren Bjørnbakk benyttet i sin masteroppgave[11]. Lysbuegeneratoren består av to elektroder, den ene elektroden kan beveges og den andre er fastmontert. Den justerbare elektroden er av materialene karbon-grafitt, og i standarden er kravet at elektroden skal være $6 \pm 0,5 \text{ mm}$ i diameter. Det blir produsert lite RF strøm fra karbon-grafitt elektrode, og det blir vanskeligere for lysbuevernet og detektere lysbue i noen situasjoner[5]. Deteksjonsprinsipp for lysbuevern og RF strøm er mer beskrevet i kapittel 4. Elektroden som er fastmontert skal være av materialet kobber. Det har vist seg at det er vanskelig å danne en kontinuerlig lysbue mellom to kobber elektroder[37], og det er muligens derfor det har blitt stilt krav i lysbuestandarden at den ene elektroden skal være av materiellet karbon-grafitt. I tillegg til at det blir produsert lite RF strøm i lysbuen. Det kan være nødvendig å rengjøre og spisse elektrodene for at testene skal kunne gjentas. Når lysbuegeneratoren blir tilkoblet en strømkrets skal elektrodene være i kontakt med hverandre. Da kretsen blir påsatt spenning og man skal generere lysbuer benyttes sveiven til å separere elektrodene fra hverandre, og det oppstår da lysbuer i gapet mellom elektrodene. Dersom avstanden mellom elektrodene blir for stor vil lysbuen slukke. Ved økende strømstyrke i kretsen, vil lysbuen mellom elektrodene bli kraftigere. Forflytningsmekanismen til den justerbare elektroden er meget finjustert. Det kan dermed genereres stabile lysbuer som er detekterbar for lysbuevernene. Lysbuevernet skal bryte strømmen etter mindre enn 2,5 ganger brytertiden gitt i figur 5.2.

Lysbuegeneratoren blir koblet i serie med en variabel motstand. Lysbuevernet er montert foran lysbuegeneratoren. Oppgaven til lysbuevernet er å bryte strømmen i kretsen dersom det blir generert stående serielysbuer i kretsen. Kretsen er forsynt med nettspenning.



Figur 5.4: Lysbuegeneratoren som har blitt benyttet i noen forsøk. Kretsen består av to elektroder, den ene er en fastmontert elektrode mens den andre elektroden er flyttbar

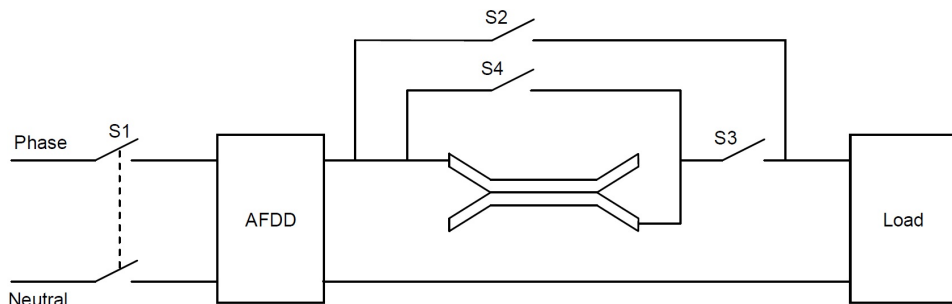
5.2 Test av lysbuevern

I kapittel 9.9 i lysbuestandarden er det beskrevet lysbuetestene som vernene må tilfredsstille. Dette er tester som kontrollerer om lysbuevernet håndterer serie-, parallell- og jordfeil-lysue. I tillegg er det tester som undersøker om lysbuevernene håndterer lysue i kretser hvor det er ulike forstyrrende laster. Videre blir det undersøkt om lysbuevernet håndterer belastninger som generere støy og har strømkurver som kan ligne på en lysue. Det er også noen tester som ser på uønsket utkobling og feildeteksjon av lysbuevernet.

I denne oppgaven har det ikke blitt fokusert på forsøk med parallell- eller jordfeil-lysue. Testene fra lysbuestandarden som er beskrevet senere i kapittelet er ikke disse testene med. Dette gjelder testene presentert i kapittel 9.9.3.1 , 9.9.3.2 og 9.9.3.3 i lysbuestandarden.

5.2.1 Serielysbue tester

Figur 5.5 viser testoppsettet som er beskrevet i lysbuestandarden som undersøker om lysbuevernet håndterer kretser hvor det oppstår serielysbue. I lysbuestandarden er det tre forskjellige tester som sjekker om lysbuevernet klarer å håndtere serielysbue i en krets. Den første testen skal verifisere korrekt operasjon dersom en serielysbue plutselig oppstår i en krets. En annen test skal verifisere korrekt operasjon dersom en belastning blir koblet til kretsen med serielysbue. Den siste testen skal verifisere korrekt operasjon dersom lysbuevernet settes inn i en krets hvor det allerede er serielysbue. Alle testene har det samme testoppsettet og det blir benyttet karbonisert kabelprøve for å lage serielysbue i kretsen.



Figur 5.5: Testkrets beskrevet i lysbuestandarden for serielysbue[36]

Test 1- Verifikasjon av korrekt operasjon av lysbuevernet dersom det plutselig oppstår en serielysbue i en krets

Testbryterne S1, S3, S4 og lysbuevernet skal være lukket frem til teststrømmen har stabilisert seg. Teststrømmen skal varieres fra den minste teststrømmen på 2,5 A og opp til lysbuevernets merkestrøm. Testbryteren S2 åpnes og deretter åpnes S4. Den eneste veien

strømmen kan gå igjennom nå er den karboniserte kabelprøven. Det er forventet at det skal oppstå en serielysbue i kretsen. Lysbueverets brytetid skal måles tre ganger og ingen av målingene skal overgå tidene som er beskrevet i figur 5.2. Tilslutt skal testen repeteres med lysbuevernets merkestrøm.

Test 2- Verifikasjon av korrekt operasjon av lysbuevernet dersom det settes inn en belastning med serielysbue i en krets

Testbryterne S3 og S4 skal være i åpen posisjon. Testbryter S1 og lysbuevernet skal være lukket posisjon. Lysbuestrømmen reguleres ved å variere den resistive belastningen og den skal reguleres til den laveste strømmen gitt i figur 5.2. Testbryteren S2 skal så åpnes og deretter skal S3 lukkes. Kablene med det karboniserte sporet i isolasjonen er nå i serie med belastningen. Det er forventet at det skal nå oppstå serielysbue i kretsen. Lysbueverets brytetid skal måles tre ganger og ingen av målingene skal overgå tidene som er beskrevet i figur 5.2. Tilslutt skal testen repeteres med lysbuevernets merkestrøm.

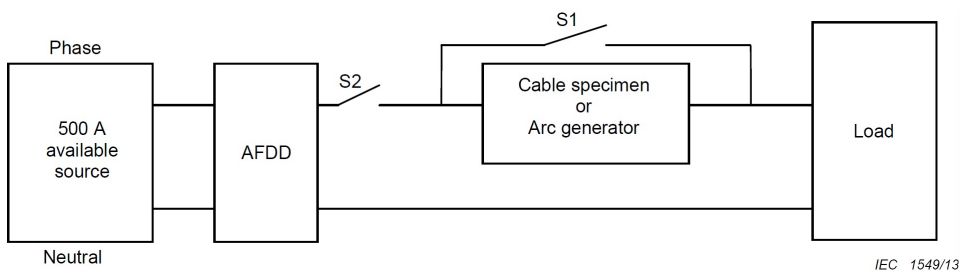
Test 3- Verifikasjon av korrekt operasjon av lysbuevernet dersom det plutselig tilføres strøm til en krets med serielysbue

Testbryterne S1-S3 og lysbuevernet skal være i lukket posisjon. Testbryter S4 skal være i åpen posisjon. Teststrømmen skal også i dette forsøket være på 2,5 A. Først skal testbryter S1 åpnes og deretter S2. Når dette er utført skal testbryter S1 lukkes igjen. Testbryter S1, S3 og lysbuevernet er dermed i lukket posisjon. Det vil nå forhåpentligvis oppstå en serielysbue i den karboniserte kabelprøven. Også i denne testen skal gjennomføres slik som de andre testene med hensyn på tid og lysbuevernets merkestrøm.

5.2.2 Feildeteksjoner ved ulike forstyrrende laster

Husholdingsapparater og verktøy kan gi forstyrrelser som ligner på skadelige lysbuer. Det er ikke ønskelig at lysbuevernet detekterer dette og vernet må klare å skille mellom forstyrrelser og skadelige lysbuer.

Det er viktig at lysbuevernet klarer å detektere lysbue i kretsen, selv om det er forstyrrelser fra belastningen. Figur 5.6 viser kretsen for en test med forstyrrende laster. For å fremprovosere lysbue i kretsen benyttes enten lysbuegenerator eller karbonisert kabelprøve som parallellkobles med bryter S1. Teststrømmen i kretsen er 5 A, vernet skal bryte strømmen i tre av tre tilfeller med lysbue og ingen tilfeller uten lysbue. Når lysbuevernet skal testes i tilfeller med lysbuer i kretsen, da skal bryter S1 være åpen.



IEC 1549/13

Figur 5.6: Krets for tester med ulike typer laster som kan gi forstyrrelser som ligner på skadelige lysbuer[36]

De ulike lastene som skal testes og er beskrevet i standarden er:

1. En støvsuger som trekker mellom 5-7 A.
2. En strømforsyning med elektronisk kobling. Den totale laststrømmen må være 2,5 A, med minimum total harmonisk forvrenging, THD. Individuelle minste andel harmoniske forstyrrelser skal ved tredjeharmoniske være 75 %, 50 % ved den femte harmoniske og 25 % ved den syvendeharmoniske. Under testen skal strømforsyningen være påslått.
3. Motor med kondensatorstart. Startstrømmen skal være 65 A.
4. En tyristor styrt lampedimmer som kontrollerer 1000 W tungsten belastning. Belastningen skal være fire 150 W pærer og fire 100 W pærer.
5. To 40 W lysrør og i tillegg en resistiv belastning på 5 A.
6. 12 V halogenlampe med transformator med total effekt på minst 300 W og i tillegg en resistiv belastning på 5 A.
7. En elektrisk drill som trekker minst 600 W.

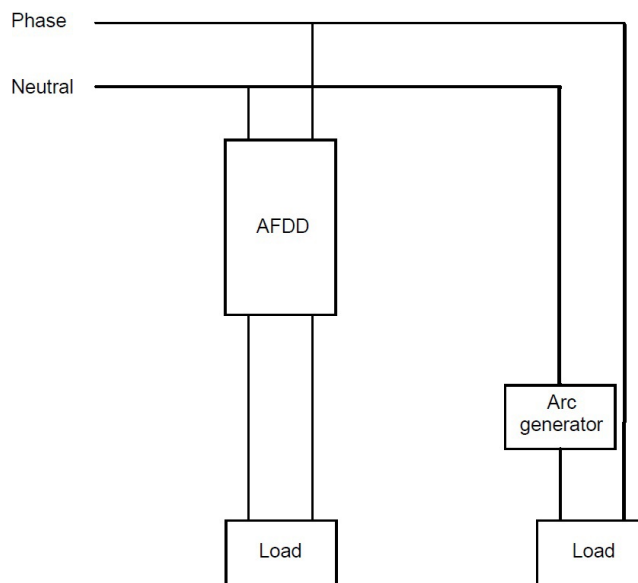
En annen type test med samme oppsett som figer 5.6, er å undersøke om lysbuevernet feildetekterer dersom belastningene genererer forstyrrelser som kan minne om støyen som kommer fra en lysbue. Eller feildetekterer på grunn av stor startstrøm. Det blir benyttet samme belastninger som er beskrevet ovenfor. I denne testen skal det ikke benyttes karbonisert kabelprøve eller lysbuegeneratoren, og det skal gå strøm igjennom belastningen i minst 5 sekunder. Det skal utføres fem repetisjoner med inn- og utkobling. Formålet med test 9.9.5.4 er at lysbuevernet ikke skal feildetektere.

5.2.3 Uønsket utkobling og feildeteksjon

Det er meget ugunstig dersom lysbuevernene ikke fungerer slik de er tiltenkt. I boliginstallasjoner er det svært viktig å unngå feildeteksjoner eller at lysbuevernene ikke klarer

å detektere lysbue som oppstår i en strømkurs. Dette blir sett som meget uheldig og det vanskeliggjøre en innføring av krav til lysbuevern. I lysbuestandarden er det beskrevet noen tester som undersøker dette.

I test 9.9.5.2 i lysbuestandarden blir det sett på to forskjellige sikringskurser i en boliginstallasjon. Sikringskursene blir forsynt fra den samme fase- og nøytrallederen som vist på figur 5.7. Der den ene sikringskursen er beskyttet med et lysbuevern, mens den andre ikke er beskyttet med lysbuevern. Begge sikringskursene har en resistiv belastning, og belastningstrømmen er satt til 5 A. I forsøket skal det genereres en serielysbue i den sikringskursen som ikke er beskyttet med lysbuevern, og det skal undersøkes om dette påvirker den andre sikringskursen. Formålet med denne testen er at lysbuevernet ikke skal detektere lysbue fra andre sikringskurser. Lysbuen i kretsen blir laget av en lysbuegenerator.

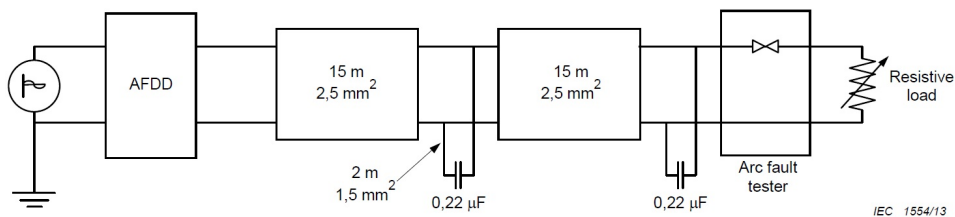


Figur 5.7: Testoppsettet for test 9.9.5.2 i lysbuestandarden. Formålet med testen er at lysbuevernet ikke skal detektere lysbue fra andre sikringskurser i en boliginstallasjon[36]

I andre typer tester beskrevet i lysbuestandarden skal det undersøkes om lysbuevernet håndterer forskjellig type kretser hvor det er vanskelig for vernet å oppdage en lysbue. Som beskrevet i kapittel 4 er det vanskeligere for lysbuevernet å detektere lysbuer som oppstår langt fra vernet. Lysbuevernene benytter RF strøm som produseres fra lysbuen som deteksjonsprinsipp for serielysbue[5]. RF strøm som sirkulerer gjennom kablene blir påvirket av impedansen i kretsen, og kabelens kapasitans og induktans påvirker størrelsen på RF strømmen[5]. Impedansen i kretsen blir påvirket av valg av type kabel, lengde og belastning[5].

I test 9.9.4.4 skal det kobles en 30 m kabel etter lysbuevernet. Det skal være en toleder kabel med et tverrsnitt på $2,5 \text{ mm}^2$. På enden av kabelen skal lages en lysbue som er i serie med belastningen. I testen kan det velges om det skal brukes lysbuegenerator eller karbonisert kabelprøve. Når det brukes karbonisert kabelprøve skal vernet løse etter tidene angitt i figur 5.2 og dersom det brukes lysbuegenerator er det krav om at lysbuevernet løser innen 2,5 ganger utkoblingstidene angitt på figur 5.2. Formålet med denne testen er at lysbuevernet skal detektere lysbuer i strømkurser som har lang utstrekning i en bolig.

Strøkapasitansene langs kablene har en stor effekt på størrelsen av RF strøm. I test 9.9.4.3 skal lysbuevernet testes i en krets med to kondensatorer. Figur 5.8 viser testoppsettet på forsøket. Etter lysbuevernet skal det kobles en 15 m kabel, og etter den skal en kondensator på $0,22 \mu\text{F}$ tilkobles. Etter den 15 m kabelen, skal det tilkobles en ny kabel med samme lengde, og på enden av kabelen skal det tilkobles en ny kondensator. Det skal undersøkes om vernet oppdager serielysbue på enden av den siste kabelen. I testen kan det velges om det skal brukes lysbuegenerator eller karbonisert kabelprøve. Når det brukes karbonisert kabelprøve skal vernet løse etter tidene angitt i figur 5.2 og dersom det brukes lysbuegenerator er det krav om at lysbuevernet løser innen 2,5 ganger utkoblingstidene angitt på figur 5.2. Formålet med testen er å undersøke om lysbuevernet håndterer kabler som har strøkapasitanser langs kabelen, og kobler bort strømmen fra kretsen dersom det oppstår serielysbue.



Figur 5.8: Testoppsettet for test 9.9.4.3 i lysbuestandarden. Formålet med testen er at lysbuevernet ikke skal detektere lysbue fra en lang kabel med kondensatorer[36]

6 | Test av lysbuevern

I kapittel 5 er det beskrevet de fleste lysbuetestene som er i lysbuestandarden, unntatt testene for parallell- og jordfeillysbue. Maren Bjørnbakk sin masteroppgave “Seriefeilvern som beskyttelse mot brann”[11] var de fleste testene hun utførte tatt fra lysbuestandarden. Det har ikke kommet flere lysbuevern ut i markedet og det er derfor blitt testet de samme lysbuevernene som Maren Bjørnbakk testet i 2015. Det er ikke interessant utføre samme testene fra lysbuestandarden en gang til med de samme lysbuevernene. Det har blitt utført noen få tester fra lysbuestandarden som ikke Maren Bjørnbakk utførte i denne oppgaven.

På NTNU finnes det ikke høyspenningsutstyr til å lage kabelprøver med karbonisert spor i isolasjonen. Lysbuevernene har ikke blitt testet med karbonisert spor i isolasjonen mellom lederne i denne masteroppgaven. Maren Bjørnbakk testet lysbuevern med karbonisert spor i isolasjonen mellom lederne i sin masteroppgave, og fikk laget kabelprøvene på et høyspenningslaboratorium til Siemens i Tyskland. Hun utførte de fleste testene fra lysbuestandarden hvor det kreves karbonisert kabelprøve. I forsøkene hvor det kreves å lage lysbue for å utføre tester, har det blitt benyttet lysbuegenerator i denne oppgaven.

I lysbuestandarden er det kun tre tester som omhandler serielysbue (kapittel 5.2.1), og i disse testene blir det benyttet karbonisert kabelprøve. Det var ønskelig å finne andre testoppsett hvor det oppstår serielysbue, og som kan oppstå i boliginstallasjoner. Dette kan være der det har oppstått svake kontaktforbindelser. Bakgrunnen for forsøkene var å teste hvorvidt lysbuevernene kan fungere tilfredsstillende med tester som ikke er med i lysbuestandarden. Alle lysbuevern som er i markedet idag innfrir standarden[11]. Det er interessant å utføre andre forsøk for å undersøke om vernene detekterer lysbuer med andre testoppsett enn testene beskrevet i lysbuestandarden. Med andre typer testoppsett kan man finne ut om lysbuevernene kun er egnet for å detektere lysbuer som er med i lysbuestandarden, eller om vernene tilfredsstillende alle typer lysbuer som kan oppstå i boliginstallasjoner.

Flere av forsøkene som har blitt gjennomført har blitt fokusert på svakhetene til lysbuevernene. Det har blitt utført flere forsøk hvor forskjellige typer belastninger har hatt lignende strømkurver og støydannelse som i kretser hvor det er en farlig lysbue. Videre har blitt sett på belastninger som gir en stor startstrøm som kan minne om strømmen til en parallelllysbue. Alle lysbuevernene har da blitt testet og det har blitt undersøkt om det blir

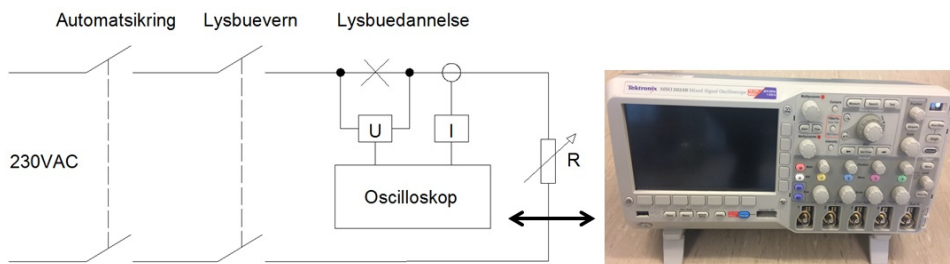
feildetektering. En del av deteksjonsprinsippet til lysbuevernene er å se på støyen som blir generert fra en lysbue. Dette er som beskrevet tidligere høyfrekvent støy og lysbuevernene benytter et bestemt frekvensområde for å finne ut om det er en skadelig lysbue. I noen av forsøkene har det blitt undersøkt om lysbuevernene detekterer lysbue dersom deler av den høyfrekvente støyen fra lysbuen forsvinner.

6.1 Laborietoppsett

Bakgrunnen for forsøkene presentert senere i kapittelet var å undersøke forhold som kan oppstå i boliginstallasjoner, hvor det kan skapes lysbuer eller forhold som gjør at lysbuevernene har vanskeligheter for å detektere lysbue. Eller situasjoner hvor det blir generert stor startstrøm slik at lysbuevernene feildetekterer. Spenningen som har blitt benyttet i forsøkene er 230 V og frekvens på 50 Hz. Parametere som har blitt endret på i de forskjellige forsøkene har vært belastningstrøm, ledertverrsnitt på ledere/kabler, forskjellige typer kontaktforbindelser, kontaktkraft på tilkoblingsklemmer, forskjellige typer belastninger osv.

6.1.1 Oppsett og målinger

Figur 6.1 viser et typisk måleoppsett for flere av forsøkene hvor lysbuevernene har blitt testet. Forsøkene skal ligne en vanlig strømkurs i en boliginstallasjon. Nettsystemet på laboratoriet som har blitt benyttet er et TN-system. I forsøkene har det blitt benyttet egen strømkurs som er beskyttet med 16 A sikring. Etter automatsikringen blir lysbuevernet tilkoblet. I flere av testene oppstår det serielysbue i en svak kontaktforbindelse etter lysbuevernet. Belastningene som har blitt benyttet i forsøkene er enten varmeovner eller vannmotstand. Dette er belastninger hvor det er enkelt å variere effekten. Det er også benyttet andre typer belastninger som er nærmere beskrevet i testoppsettene til de forskjellige type testene.



Figur 6.1: Måleoppsett for mange av forsøkene for å teste lysbuevernene

Belastningsstrømmene som har blitt valgt i forsøkene har som regel tatt utgangspunkt i at installasjonsmateriellet var beregnet på strømmer opptil 16 A. Det er i hovedsak benyttet 2,5 mm² tverrsnitt på ledningene og kablene. Ved ledningssystemer med tverrsnitt på

2,5 mm² skal det forankoblede overstrømsvernet være 16 A eller mindre, i følge kravene gitt i NEK 400 avsnitt 533.2[38] I noen av oppsettene er det også benyttet 1,5 mm² av ulike type årsaker. Det er fortsatt benyttet 16 A sikringen og det er da ikke i henhold til normene, hvor det maksimum kan være en 13 A automatsikring i følge avsnitt 533.2 i NEK 400[38]. Dette er blant annet blitt utført for å fremprovosere lysbuedannelse. I disse oppsettene er det ofte benyttet litt lavere strømstyrke enn 16 A. I forsøkene har det blitt benyttet ledninger og kabler som er hyppig brukt i boliginstallasjoner og eksempler er RK, PN og PR.

Etter lysbuevernet har det i de forskjellige type forsøkene blitt laget forskjellige typer konfigurasjoner for å lage serielysbuer i kretsen. Et eksempel er lysbuegeneratoren som er beskrevet i kapittel 5.1.2. Det er også i noen av testene ikke blitt laget lysbuer og de testene har det blitt sett på svakheter ved deteksjonsprinsippet til vernet.

For å analysere lysbuene som oppstår i testoppsettene blir det sett på strøm- og spenningskurvene da lysbuevernet detekterer lysbue i kretsen. Det blir benyttet et oscilloskop for å analysere strøm- og spenningskurvene, oscilloskopet er fra Tektronix og modellen heter MSO 2024B Mixed Signal Oscilloskop. For å overvåke strømmen blir det benyttet et tangamperemeter som kobles på en av ledningene i kretsen, mens på spenningen blir det benyttet differensialprober som kobles i parallell over det punktet der det oppstår lysbue. Figur 6.1 viser oppsettet for måling av strøm (I) og spenning (U) for testene.

6.1.2 Lysbuevernene som har blitt testet

Det har blitt testet fem forskjellige lysbuevern fra to leverandører i denne masteroppgaven, og det er de samme vernene som Maren Bjørnbakk testet i 2015. I FEBDOK er det en leverandøroversikt over leverandørene som tilbyr automatsikringer. FEBDOK er et dataprogram for dimensjonering og dokumentasjon for installasjoner i henhold til FEL og NEK 400. Det ble tatt kontakt med de leverandørene som hadde kontor i Norge, i håp om å få tak i flere lysbuevern. Ingen av disse leverandørene hadde lysbuevern som kunne testes i denne masteroppgaven. En av leverandørene sa at de jobbet med utvikling av lysbuevern og at de var i en testfase. Mens en annen leverandør opplyste at de antageligvis ikke kommer til å tilby lysbuevern før det blir krav til det i boliginstallasjoner. Flere av leverandørene det ble tatt kontakt med virket som at ikke visste at det fantes lysbuevern beregnet til boliger.

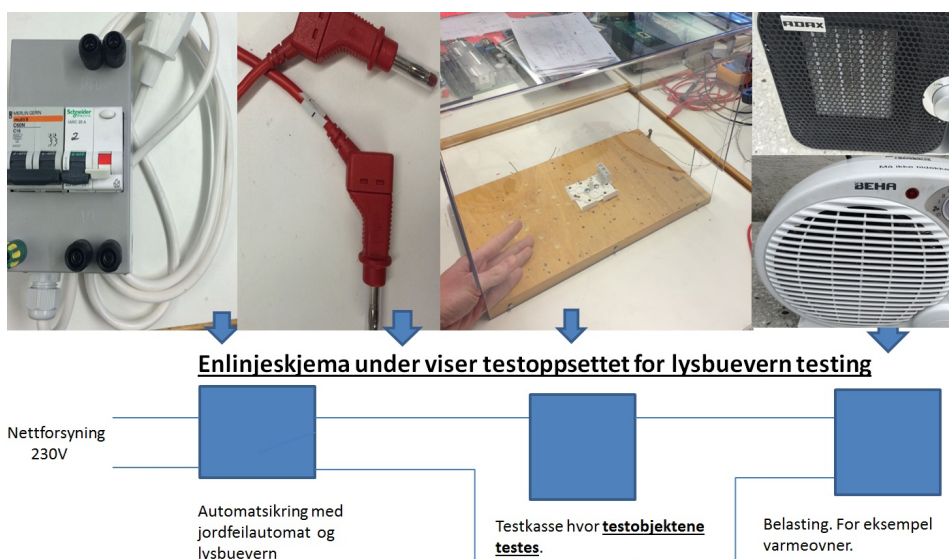
I resultatene presentert senere i kapitlet er det ikke beskrevet hvilke leverandør lysbuevernene kommer fra i de ulike forsøkene. I noen av testene senere i kapitlet kalles den ene leverandøren A og den andre kalles B. Det samme gjorde Maren Bjørnbakk, siden hun lovte den ene leverandøren at ikke navnet til leverandøren skulle være med i rapporten hennes. Man kan da undersøke lysbuevernets potensiale og begrensning, uten å favorisere den ene leverandøren foran den andre. Typiske tabeller som blir presentert i noen av forsøkene senere i kapitlet er slik som vist på tabell 6.1.

	“Utkobling” eller “ikke utkobling” fylles inn i radene
Leverandør A	
Vern 1	
Vern 2	
Vern 3	
Leverandør B	
Vern 1	
Vern 2	

Tabell 6.1: Viser leverandørene og antall lysbuevern som skal testes

6.1.3 Beskyttelseiltak

I bestemmelsene til NTNU for bruk av laboratorier er det ikke lov til å arbeide alene i laboratoriene dersom det er påsatt spenning på forsøkene. For testing av lysbuevern var de fleste forsøkene som ble utført av lengre varighet og ofte pågikk forsøkene kontinuerlig hele arbeidsdagen. Ufordringen var at det ikke var andre som arbeidet på det samme laboratoriet, og ofte var det ingen på laboratoriet en hel arbeidsuke i slutten av januar. Etter samtaler med Halsten Aastebøl som er driftsansvarlig på lavspenning, ble det gitt tillatelse til å arbeide alene med forsøkene, dersom det ble laget en risikovurdering der det kunne bekreftes at det ikke var mulig å komme i kontakt med spenningsførende deler. Deler av risikovurderingen er vist på figur 6.2.



Figur 6.2: Risikovurdering der det bekreftes at ikke kommer i kontakt med spenningsførende deler

I risikovurderingen var det beskrevet at det var plastkapsling til automatsikringen og lysbuevernet. I forsyningsiden til sikringsboksen er tilkoblet et jordet støpsel, og denne blir tilkoblet et overliggende vern via en skjøteledning. Etter lysbuevernet var det montert tilkoblinger beregnet til bananpluggen på sikringsboksen. Alle ledninger som har blitt benyttet i forsøkene har tilkoblet bananpluggen, dersom det er fare for å komme i kontakt med ledningene. Bananpluggene som ble benyttet hadde fast hylse, slik at det ikke var mulig å komme i kontakt med spenningsførende deler. Dersom det ble brukt jordfeilsautomat ble det lagt til rettet for at testoppsettet ble jordet riktig. Hvis det da oppstod jordfeil på noen av belastningene kunne vernet koble bort strømmen fra kretsen.

Testkassen hvor testobjektene skulle testes er helkapslet, og på hver side er det en liten åpning for ledningene. Figur 6.2 viser at det ikke er mulig å ta på testobjektet med hendene. Testobjektet på figuren viser koblingsboks med koblingspunkt for ledninger. Annen funksjon til testkassen er at man er skjermet for lysbuer eller glødende forbindelser. I forsøkene er det benyttet en 4-veis skjøteledning etter testkassen der belastningene kan tilkobles. Støpset til skjøteledning var klippet av, og det ble benyttet bananpluggen også her. Vannmotstanden som er på nabolaboratoriet er ofte benyttet i forsøkene og det er ført en $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ PFSP kabel mellom laboratoriene. Den avisolerte enden på kabelen er det benyttet WAGO klemmer som er berøringsikker.

Utifra disse forutsetningene som er beskrevet ovenfor ble det gitt tillatelse til å arbeide alene i laboratoriet med de forskjellige testene som ble utført. Forutsetningen var at arbeidene med forsøkene kun pågikk i vanlig arbeidstid. Det vil si fra mandag til fredag, kl 08.00-16.00. Det var også en forutsetning at man var selv på laboratoriet i tilfelle om det oppsto brantilløp. I noen av forsøkene oppsto det også mye røykdannelse og brannalarmer måtte derfor være avskrudd på laboratoriet. Et brannslukningsapparat måtte være lett tilgjengelig dersom det oppsto brann.

6.1.4 Fremprovosering av lysbue

Som det er beskrevet i en SINTEF rapport[8] er sannsynligheten for at det skal oppstå brann på grunn av lysbue eller glødende forbindelser i installasjonsmateriell temmelig lav, og grunnen til flere av brannene oppstår skyldes den store mengden av slikt utstyr i boliger og andre lignende installasjoner.

Det ble funnet ut i SINTEF rapporten[8] at sannsynligheten for at det skal oppstå brann på grunn av glødende forbindelser eller lysbue med installasjonsmateriell i løpet av noen måneder er temmelig lav. For at brann skal oppstå i installasjonsmateriell innen relativ kort tid må dette fremprovoseres. I laboratorieforsøkene som SINTEF gjennomførte med brantilløp på installasjonsmateriell, ble fremprovosert med løse kontaktforbindelser, vibrasjoner, hyppige utkoblinger av det elektriske anlegget, spenningstøt etc.

Resultatene presentert i SINTEF rapporten ble det benyttet brannlaboratorium hvor forsøkene pågikk[8]. Ved å benytte brannlaboratorium kan forsøkene pågå uavbrutt døgnet rundt, uten at det er noen tilstede underveis. Dersom det oppstår antennelse er det ikke mulig at det sprer seg og det oppstår brann. I de forsøkene SINTEF utførte tok det fortsatt lang tid for å få resultater, og noen av forsøkene hadde en varighet på ca 20 dager.

På NTNU finnes det ikke brannlaboratorium for å gjennomføre de samme forsøkene som SINTEF har gjennomført. Brannavdelingen til SINTEF har blitt solgt til SP Fire Research. Reidar Stølen i SP Fire Research ble kontaktet for å undersøke om det var mulighet for å gjennomføre noen forsøk på brannlaboratoriet deres. Det kostet penger å leie brannlaboratoriet til SP Fire Research og det var ikke økonomi til dette i denne masteroppgaven. Det måtte derfor finne andre metoder for å fremprovosere lysbue eller glødende forbindelser i installasjonsmateriell, som kunne utføres i laboratoriet på NTNU. Det måtte fremprovoseres enda raskere enn metodene SINTEF gjennomførte, siden testene ikke kunne ha lengre varighet enn normal arbeidstid og at forsøkene ikke kunne stå på over natten.

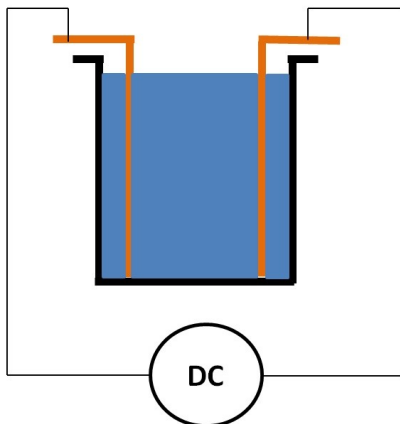
6.1.4.1 Oksidbelegg ledninger og koblingspunkt

Elektriske branner oppstår oftest i svake punkter i det elektriske anlegget. Svake punkter kan være der ledninger og kabler blir koblet sammen, eller der ledninger blir tilkoblet enten en stikkontakt, støpsel eller bryter. Koblingspunktene kan være utsatt for støv, fuktighet og skitt. Hvis det er dårlig kontakt i en kontaktforbindelse, vil motstanden øke og dette vil forårsake oppvarming av koblingspunktet.

Koblingsforbindelser med høy motstand vil over tid fremme oksidering og siging av metall[2]. Oksidbelegget på lederne og koblingspunktet vil ha en vesentlig høyere motstand enn metallet i lederen og koblingspunktet. Siden oksid leder strøm, vil det forårsake mer oppvarming av koblingspunktet.

For å få glødende forbindelser eller serielysbuer i forsøkene kreves det oksiddannelse i koblingspunkter. Oksiddannelse i koblingspunkter i elektriske anlegg er uønsket og dersom det oppstår tar oftest mange år. Siden det ikke er tid til å vente så lenge for å få oksiddannelse på ledere og koblingspunkter i denne masteroppgaven må dette fremprovoseres.

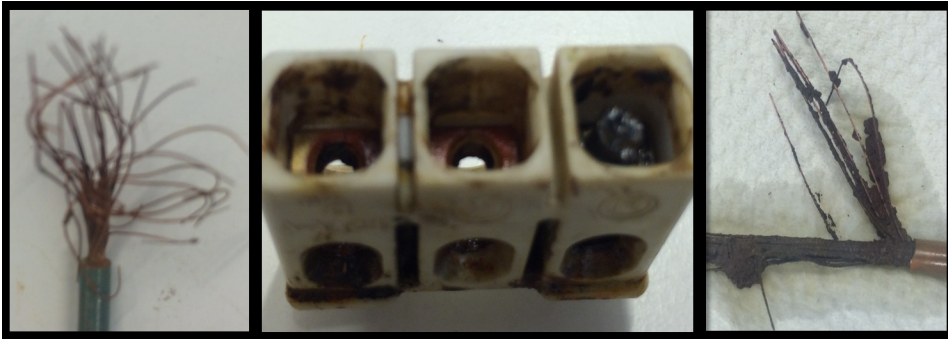
Marit-Helen G Ese [39] fra SINTEF Energi ble kontaktet for å få råd for hvordan man kan fremprovosere oksidbelegg på metall. Ese jobber som forskningsleder i avdelingen elkraftteknologi og har doktorgrad innen fagområdet fysikalsk kjemi. Det ble funnet ut at den enkleste og minst farlig prosessen for å fremprovosere oksidbelegg på metall var å benytte elektrolyseprosess. Beskrivelsene for hvordan man fremprovoserer oksidbelegg på metall ved elektrolyseprosess er hentet fra en YouTube film [40]. Prinsippet for hvordan man kan fremprovosere oksidbelegg med elektrolyseprosess er vist på figur 6.3



Figur 6.3: Fremprovosere oksidbelegg på ledere og koblingspunkter ved å benytte elektrolyse prosess

Oksiddannelsen på ledere og koblingspunkt blir dannet ved en kjemisk prosess. Elektrolyseprosessen går ut å benytte saltvann som en del av en lukket strømkrets. Det blir plassert to elektroder oppi et kar med saltvann. Elektrodene må plasseres fra hverandre i karet for å unngå kortslutning. Fra elektrodene er det tilkoblet ledninger med krokodilleklemmer, som blir tilkoblet en DC kilde. I den lukkede kretsen er det anbefalt fra YouTube filmen at det bør være en strømstyrke på ca 8-9 A og en spenning på 6-8 V. Det blir dannet en klogass i prosessen og man bør være forsiktig under denne prosessen.

Ledere, koblingspunkter, stikkontakter osv ble plassert nedi saltvannet. Installasjonsmateriellet med oksidbelegg som har blitt benyttet i forsøkene som er presentert senere, var oppi saltvannskaret i ca 2-3 arbeidsdager (18-24 timer). Elektrolyseprosessen har ikke stått på over natten. Prosessen «gnager» mye på metallet og man bør holde oppsyn underveis i prosessen. Figur 6.4 viser et koblingspunkt hvor prosessen har «gnagd for mye» på metallet. Den ene ledningen vist på figur 6.4 viser at kordellene hadde blitt sprø og den andre ledningen viser at det har blitt utviklet slamdannelse rundt kordellene på lederen. Etter å ha tatt opp koblingspunktet fra bøtten var to av skruene borte og på den siste var skruehodet borte. Etter at installasjonsmateriellet hadde vært oppi saltvannskaret i 2-3 dager var det blitt dannet rustbelegg på koblingspunktene og kordellene på lederne hadde blitt sprø. Lederen var ikke lenger like bevegelig slik den var før prosessen startet. Det virket som om det hadde blitt dannet et oksidbelegg på hele lederen. Det var kun en liten del av lederen som var oppi saltvannet. Etter at elektrolyseprosessen var ferdig, hadde kordellene på hele lederen blitt mørkere. Enden som var avisolert var som nevnt tidligere blitt sprø og hadde ofte en rustfarge. Mens resten av lederen var fargen på kordellene blitt vesentlig mørkere.



Figur 6.4: Elektrolyseprosessen som har pågått for lenge på koblingspunktet og ledninger

Tabell 6.2 viser utstyrslisten for elektrolyseprosessen for å danne oksidbelegg på installasjonsmateriell. Det har blitt benyttet et djupt kar i denne prosessen, og karet ble fylt opp med ca 5 liter vann og ca 0,5 kg salt. Fordelen med et djupt kar er at det kan benyttes lengre elektroder, og det gikk da større strøm i kretsen, forutsatt at karet var fylt med mye saltvann. I et forberedende forsøk ble det benyttet en isboks (to liter). Kun et lite område av elektrodene var nedi saltvannet og det førte til at det gikk lite strøm i kretsen. Prosessen tok lengre tid enn det andre vannkaret og resultatene ble dårligere. I tillegg var risikoen stor for at det oppsto kortslutning i kretsen ved at elektrodene gled sammen. Oksidbelegg på installasjonsmateriell har blitt benyttet i flere av forsøkene i denne masteroppgaven. Underveis i semestret måtte saltvannet i karet byttes. Saltvannet ble grumsete og de vises tydelig på figur 6.3. Etterhvert sank strømmen og spenningen i kretsen, og det tok lengre tid før det ble dannet oksidbelegg på installasjonsmaterialet. Virket som om saltvannet ledet strøm dårligere da saltvannet og elektrodene var grumsete. I tillegg luktet det veldig vondt.

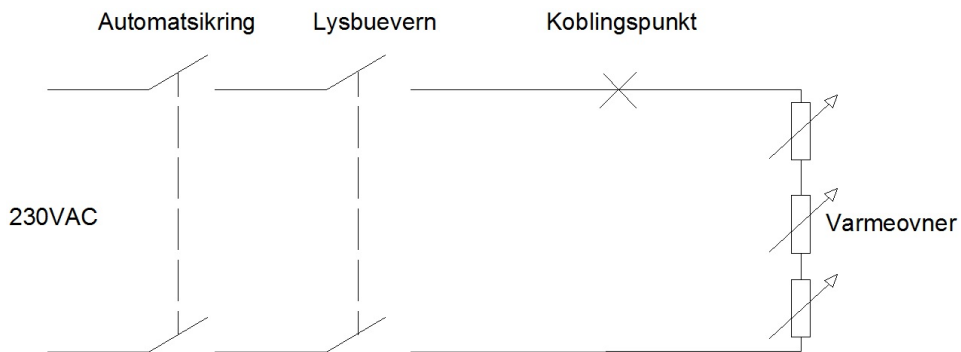
Utstyr	Mengde	Tilleggsopplysninger
Vannkar	5 liter vann	Høyde 30-40 cm
Husholdingsalt	0.5 kg	JOZO salt uten jod
Likespenningsforsyning	6-8V/8-9A	TTi EX4210R POWER SUPPLY
Elektrode	2 stk	Bør være solid og tung
Ledninger	2 stk	
Krokodilleklemmer	2 stk	

Tabell 6.2: Utstyrsliste for elektrolyseprosess for å danne oksidbelegg på ledere og koblingspunkter

6.2 Test 1- Svak kontaktforbindelse med oksidbelegg

Bakgrunnen for dette forsøket var å undersøke om det oppstår glødende forbindelser eller serielysbuer ved å ha en svak kontaktforbindelse mellom to ledere i en koblingsboks, og undersøke om lysbuevernene detekterer dersom det oppstår serielysbue i kontaktforbindelsen. For å fremskynde prosessen har det ble blitt dannet et oksidbelegg på lederne og koblingspunktet. Ca 20-25 % av kordellene på lederne ble fjernet for å fremskynde prosessen enda raskere.

Kretsen bestod av et lysbuevern montert etter en automatsikring og belastningen i kretsen var tre regulerbare varmeovner. To av varmeovnene hadde en effekt på 2000 W og den siste varmeovnene hadde en effekt på 1200 W. Alle ovnene var regulerbare. Automatsikringene som ble benyttet i forsøket var 16 A med C-karakteristikk.



Figur 6.5: Kretsen med lysbuevern hvor det blir dårlig tilskrudd kontaktforbindelse

Lederne som ble brukt til å lage den svake kontaktforbindelsen var RK 2, 5 mm². Dette er en PVC isolert leder som er brukt mye i vanlige boliginstallasjoner. Isolasjonen var fjernet fra endene på lederne og tilkoblet koblingspunktet. Koblingsboksene som har blitt benyttet i forsøkene er fra ELKO. Koblingspunktet hvor lederne er koblet sammen er tilskrudd med svak kontaktkraft. Det ble ikke benyttet momentnøkkel i alle forsøkene siden det ikke var til å oppdrive i starten av semestret. Kun det siste forsøket med dette testoppsettet ble det benyttet momentnøkkel. Momentet ble satt til 1,3 Nm og deretter ble skruen skrudd en runde tilbake, slik at det skulle bli en løsere kontaktforbindelse. Dette er en kontaktforbindelse med svak kontaktkraft, momentnøkkelen ble stilt på det svakeste momentet. Strømnivåene i forsøkene var på ca 14-16 A. Det mest ønskelige i forsøkene var høyest mulig strømstyrke, for at det skulle ta kortere tid for å få resultater fra forsøkene.

6.2.1 Resultater

I dette forsøket ble det kun utført et forsøk for hvert av lysbuevernene. Grunnen til at det ble kun utført et forsøk for hvert lysbuevern, var at forsøkene tok lang tid. Flere av forsøkene hadde en varighet på 20-25 arbeidsdager. Første forsøk ble satt opp 1.februar og det siste forsøket var ferdig 25.april. I alle forsøkene oppstod det lysbuer og alle lysbueverne detekterte lysbuene og brøt strømmen i kretsen.

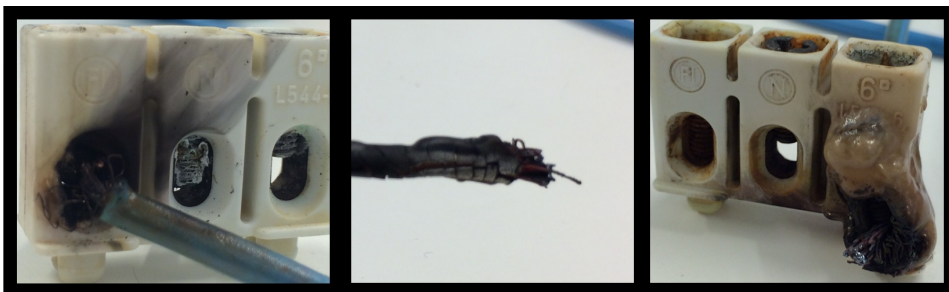
I forsøkene viste det seg at automatsikringen kunne løse på overbelastning og koble ut kretsen på et strømnivå under 15 A. Sikringsboksen til automatsikringen og lysbuevernet er kompakt og det ble utviklet mye varme. Underveis ble det bestemt å skifte 16 A sikringen til 20 A. Dette for å unngå at sikringen løser ved overbelastning. Det gikk med mye unødvendig tid da sikringene løste ved overbelastning, siden sikringen måtte kjøles ned etter at den løste før man kunne fortsette med forsøket. Da det ble benyttet 20 A sikring ble det det benyttet samme strømstyrke, 14-16 A.

Hendelseforløpet fra testene lignet på forløpet Maren Bjørnbakk[11] fikk på sine forsøk, vist på vedlegg A. Prosessen tok lang tid, og første observasjonen i forsøkene var at ledningene som var tilkoblet koblingspunktet var veldig varme. Ofte var det for varmt å ta på ledningene med hendene. Etter ca 3-4 arbeidsdager begynte det å bli tydelig at det var høy temperatur på koblingspunktet. Koblingspunktet begynte å få en brunfarge, sammenlignet med de andre koblingspunktene. Etterhvert begynte metallet på koblingspunktet å bli så varmt at plasten begynte å smelte, og det vises tydelig på figur 6.6.

Sammenlignet med vedlegg A vil forløpet ligne litt. Starten av disse forsøkene var litt annerledes siden oksidbelegget allerede er fremprovosert. Etter ca 3-4 arbeidsdager begynte isolasjonen på ledningene smelte og forkulle, og det begynte det å vokse en kobberoksidbro mellom lederne i koblingspunktet, slik at lederne ble sammenhengende. Etter enda noen dager begynte kobberoksidbroen å gløde og det kunne oppstå små gnister i koblingspunktet. Det var ikke alle forsøkene hvor det var mulig å se at det var glødende forbindelse, siden den glødende forbindelsen var inni koblingspunktet. Den glødende forbindelsen ble ikke detektert av lysbuevernet, noe som er forventet siden lysbuevernene ikke kan detektere glødende forbindelser. Temperaturen på koblingspunktet var veldig høy og flere av kordellene på lederne så sprøere ut.

Før det oppsto lysbue i koblingspunktet, var det en tendens til at flere av kordellene på lederne begynte å gløde og til slutt smelte. Da det oppsto lysbue var den kraftig og i alle forsøkene detekterte vernet lysbuen og strømmen i kretsen ble brutt. Det antas at temperaturen i kobberoksidbroen var såpass høy at forbindelsen smeltet, og det oppsto da et lite gap mellom lederne slik at det ble dannet en lysbue. Rett før lysbuen oppsto var temperaturen veldig høy i koblingspunktet og dette resulterte i at plasten rundt koblingspunktet smeltet og det oppsto røykdannelse. Dette kan ha bidratt til at det frigjøres noen gasser fra plasten til isolasjonen, og det er da lettere å danne stående lysbuer[12]. Etter å ha prøvd å

koble inn lysbuevernet engang til, oppsto det ny og kraftigere lysbue, og det tydet på at det var brudd i koblingspunktet. I tillegg er det lettere å danne ny lysbue etter en forutgående lysbue[12]. Lysbuevernet detekterte også denne lysbuen. Der hvor det hadde vært lysbuer var det perler på metallet til lederne. Etter å ha koblet bort strømmen fra kretsen og sett mer detaljert på lederne, var det tydelig at det var brudd mellom lederne.



Figur 6.6: Eksempler på koblingspunkt og ledning etter at lysbuevernet detekterte lysbue

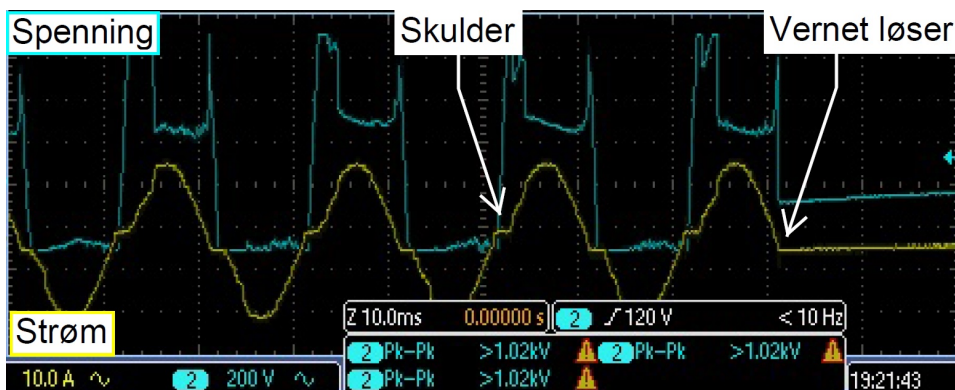
Figur 6.7 viser ledningene fra et av forsøkene etter at det hadde oppstått lysbue i den svake kontaktforbindelsen. Figuren viser at det har vært en kobberoksidbro mellom lederne i koblingspunktet. Siden kobberoksidbroen var mellom lederne og tilskrudd med skruer i koblingspunktet var det vanskelig å se den underveis i forsøket. Underveis i forsøket begynte kordellene til lederne å smelte, og det antas at kobberoksidbroen tilslutt smeltet og det oppsto brudd i kontaktforbindelsen. Det oppsto da en kraftig lysbue.



Figur 6.7: Ledningene i den dårlige kontaktforbindelsen etter at det hadde oppstått lysbue. Bildet viser tydelig at det har blitt dannet en kobberoksidbro i koblingsforbindelsen mellom lederne

Figur 6.8 viser strøm- og spenningskurvene etter at det hadde oppstått lysbue i koblingspunktet. Dette er det samme forsøket med ledningene som vist på figur 6.7. Strøm- og spenningsforløpet ble overvåket ved bruk av et oscilloskop.

Kjennetegnet med denne lysbuen var at den var kraftig og det gikk raskt fra det oppsto lysbuer til lysbuevernet koblet bort strømmen fra kretsen. Som figuren viser er den gule kurven strømmen og den blå spenningen. Strømmen har den karakteristiske skulderen ved alle nullgjennomgangene for strømmen. Da lysbuen slukker ved strømmens nullgjennomgang bygde det seg opp en kraftig spenning i bruddpunktet i koblingsforbindelsen. Oscilloskopet har målt den høyeste topp-bunn (peak-peak) verdi for spenningen, og den er på over 1,02 kV.

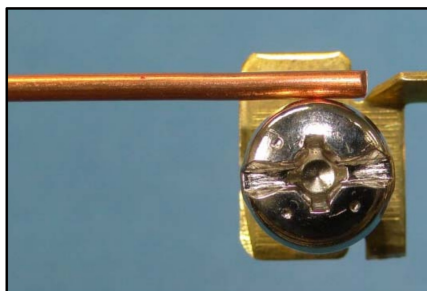


Figur 6.8: Strøm- og spenningskurvene da det oppsto lysbue og lysbuevernet koblet bort strømmen i kretsen

Det var ønskelig å utføre flere forsøk med glødende forbindelser, hvor kobberoksidbroen smelter og at det blir dannet en lysbue. Dette for å undersøke om antagelsene med at kobberoksidbroen som smeltet mellom lederne var årsaken til lysbuen i dette forsøket. Utfordringen med dette forsøket var at forsøkene hadde en lang varighet og at det ikke var tid til å utføre flere repeterende forsøk på hvert lysbuevern. Det må benyttes et annet testoppsett for å fremprovosere glødende forbindelser raskere, for å undersøke om hypotesen med at lysbuen oppsto da kobberoksidbroen smeltet og det ble dannet et gap mellom lederne stemmer.

6.3 Test 2- Glødende kontaktforbindelse mellom kobber og stål

Korinek m.fl har studert glødende forbindelser i svake kontaktforbindelser mellom forskjellige metaller[41]. I forsøkene ble det testet med flere forskjellige typer metaller som blir brukt i installasjonsmateriell. Det ble blant annet testet svake kontaktforbindelse mellom metallene kobber, messing og stål. I forsøkene som ble utført av Korinek m.fl ble det funnet ut at det ble skapt glødende forbindelser raskest mellom metallene kobber og stål. Kontaktforbindelsen var mellom en kobberleder og stålskrue. Siden forsøkene ble utført i USA var spenningen på forsøkene 120 V og strømstyrken som ble valgt var på 12 A. Belastningen som ble benyttet i forsøkene var en varmeovn, med en effektfaktor på 0,99. Kontaktforbindelsen var mellom en avisolert 14 AWG ($2,08 \text{ mm}^2$) enleder kobberleder og en nikkell belagt stålskrue som blir benyttet i stikkontakter. Fremprovosere glødende forbindelser ble utført ved å legge lederen på skruehodet uten noe kontaktkraft. Figur 6.9 viser kontaktforbindelsen mellom kobberlederen og skruehodet, som ble benyttet i Korinek m.fl sine forsøk[41].

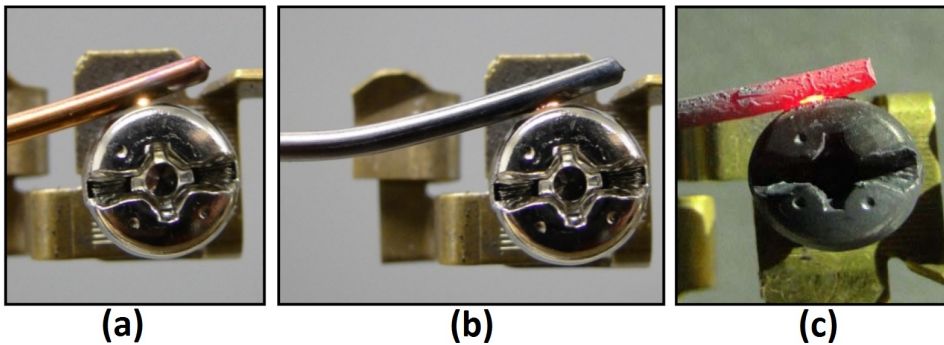


Figur 6.9: Testoppsettet som Korinek m.fl brukte for å studere glødende forbindelse mellom kobber og stål. For å fremprovosere glødende forbindelser ble utført ved å legge lederen på skruehodet uten noe kontaktkraft[41]

Denne konfigurasjonen ble valgt på bakgrunn av best mulig fotografering og analyser av glødende forbindelser[41]. Som nevnt tidligere blir lederen lagt på skruehodet uten noe kontaktkraft. Dette er ikke i samsvar med en god kontaktforbindelse i elektriske anlegg, men det er ikke utenkelig at slike kontaktforbindelser kan oppstå i elektriske anlegg hvor det er vibrering og dårlig utført arbeid fra elektriker.

I forsøkene som ble utført av Korinek m.fl ble det umiddelbart observert små lysbuer i et lite område på kontaktpunktet mellom lederen og skruehodet, og det vises på figur 6.10, bilde (a). Spenningsfallet som ble målt over den svake kontaktforbindelsen var 150 mV. Dette spenningsfallet representerer ikke bare kontaktforbindelsen, og det antas at 90 % av spenningsfallet er over kontaktforbindelsen og resten representerer spenningsfall over ledningene. Lederen er litt misfarget på dette stadiet, og det er kun ved kontaktforbindelsen

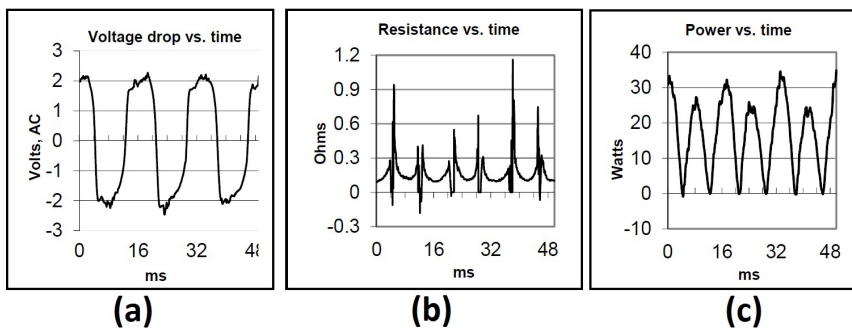
mellom lederen og skruen[41].



Figur 6.10: Resultater Korinek m.fl fikk med kontaktforbindelse mellom kobber og stål. Bildene viser at det oppstår små lysbuer i kontaktpunktet[41]

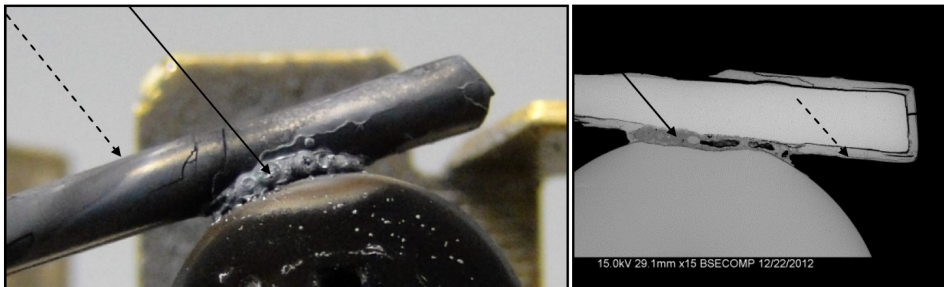
Figur 6.10, bilde (b) viser da spenningsfallet over kontaktforbindelsen er 1 V. Effekten over kontaktforbindelsen er på dette stadiet 12 W, og bilde viser at lederen har blitt mer misfarget. På dette stadiet har fargen på lederen blitt grå og lederen er ikke kun misfarget ved kontaktforbindelsen, slik som vist på bilde (a). Figur 6.10 bilde (c) viser at kobberlederen er glødende. Spenningsfallet over kontaktforbindelsen var 2,3 V da den glødende forbindelsen oppsto[41].

Figur 6.11, bilde (a) viser typiske spenningsfall kurver under et tidlig stadiet av glødende forbindelser. Da det oppstår glødende forbindelser vil det oppstå uregelmessig sprang i spenningskurven. Siden belastningen er kun resistiv vil strømmen være i fase med spenningen. Figur 6.11, bilde (b) viser resistansen ved å dividere strømmen på spenningen, og den øker hver gang strømmen og spenningen er ved nullgjennomgangen. Resistansen endres på grunn av at temperaturen synker da materialet kjøles ned ved nullgjennomgangen. Bilde (c) viser effekten over kontaktpunktet[41].



Figur 6.11: Spenningsfall, resistans og effekt over kontaktpunktet[41]

Det ble dannet metaloksidbro i kontaktflaten mellom lederen og skruen etter relativt kort tid. Oksidbroen gror på utsiden av lederen, og det er vist med pilene på figur 6.12. Som nevnt i kapittel 2.2 er oksidbroen et halvledermateriale som får en vesentlig høyere motstand enn metallet i lederen, og dette vil øke den lokale temperaturen i kontaktforbindelsen.



Figur 6.12: Dannelse av oksidbro i kontaktforbindelsen mellom lederen og skruen[41]

I forsøkene til Korinek m.fl ble det dannet oksidbro på kontaktforbindelsen mellom lederen og skruen. Med svak kontaktforbindelse, vokste oksidbroen omtrent lineært med ca. 0,02 mm per 10 time i diameter. I flere tilfeller hvor det var glødende forbindelse hendte det at ble formet et fysisk gap mellom oksidbroen og lederen, og dette stoppet strømmen å gå i kretsen. Dette skjedde syv forsøk av totalt 20. Varigheten på forsøkene var mellom 30 og 100 timer.

6.3.1 Resultater

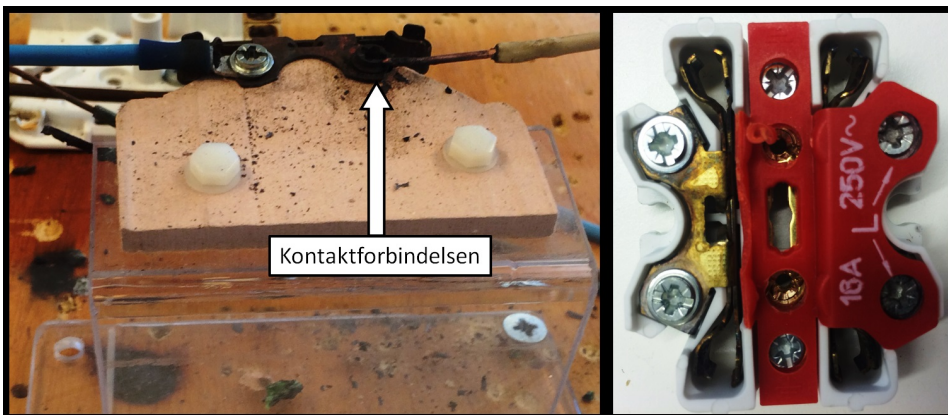
Det har blitt utført lignende forsøk som Korinek m.fl utførte, og i disse forsøkene ble lysbuevernene testet. Dette er et testoppsett som er enkelt og tar forholdsvis kort tid, og man kan da undersøke om hypotesen i Test 1 stemmer, der det ble antatt at ble dannet et fysisk gap mellom lederne i kontaktforbindelsen som forårsaket serielysbue. I tillegg er det mulig å utføre flere forsøk med glødende forbindelser og se på utviklingen av metaloksidbroen i kontaktforbindelsen.

Dersom det oppstår glødende forbindelse i kretsen vil lysbuevernet ikke detektere dette før det oppstår brudd i det punktet hvor det oppsto glødende forbindelse. Som Korinek m.fl nevner ble det etterhvert dannet et fysisk gap mellom oksidbroen og lederen. Formålet med forsøket er å undersøke om det oppstår lysbue og om lysbuevernet detekterer dette. I forsøkene ble det benyttet skruene til en ELKO stikkontakt og 2, 5 mm² PR leder.

Testoppsettet er vist på figur 6.13, og det er ikke en god kontaktforbindelse i elektriske anlegg. Sannsynligheten at en slik forbindelse oppstår i en stikkontakt er liten, men det

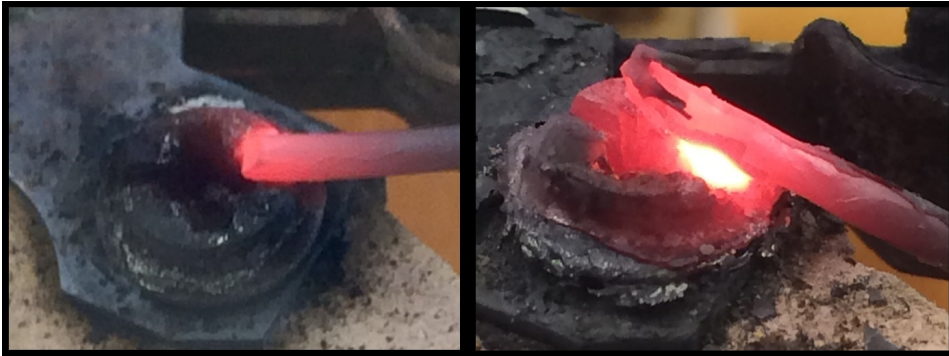
er ikke utenkelig at slike kontaktforbindelser kan oppstå elektriske anlegg. Muligens ikke med stikkontakter, men med andre kontaktforbindelser. Årsakene kan være ekstern vibring og dårlig utført arbeid fra elektrikeren. Lederen har kun kontakt med skruen som er av en annen type metall.

I forsøkene som ble utført ble alle fem lysbuevernene testet minimum to ganger. For å fremprovosere glødende forbindelser ble lederen lagt på oversiden av skruehodet uten kontaktkraft. Forsøkene som Korinek m.fl utførte tok det relativt lang tid før det oppsto glødende forbindelser. Det har derfor også i dette forsøket blitt dannet et oksidbelegg på både kobberlederen og skruen med elektrolyseprosessen. Strømstyrken ble satt til ca 14-16 A, og for å unngå at 16 A sikringen løser på overbelastning ble det i dette testoppsettet benyttet 20 A automatsikring på alle forsøkene.



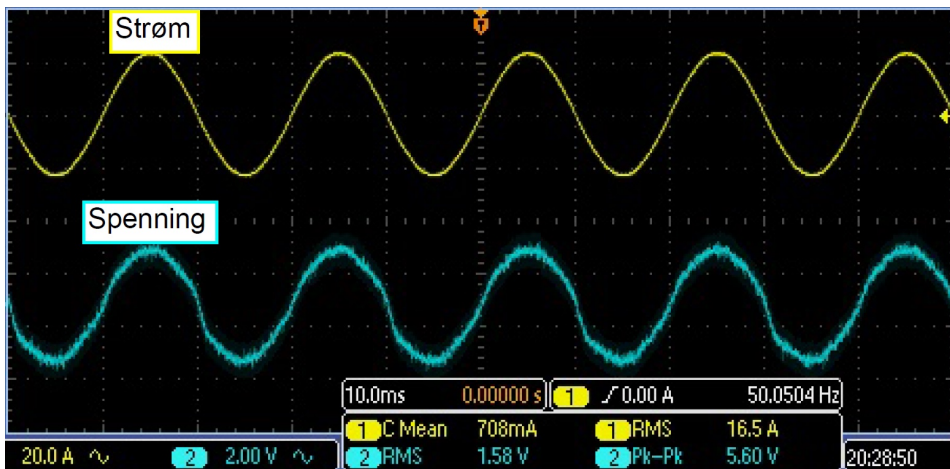
Figur 6.13: Testoppsettet med glødende forbindelser mellom kobber og stål. I forsøket har det blitt benyttet stålskrue fra en ELKO stikkontakt og PR leder. PR lederen ble lagt på oversiden av skruehodet uten kontaktkraft

I forsøkene oppsto det glødende forbindelser mellom skruen og lederen etter ca 4-10 timer. Før det oppsto glødende forbindelser ble det dannet metaloksidbro på flaten mellom skruen og lederen, slik som det er vist på Korinek m.fl sine bilder på figur 6.12. Oksidbroen har en vesentlig høyere temperatur enn kobberet og skruen. Det tok ikke lang tid før det kom røyk fra PVC isolasjonen til PR lederen, og isolasjonen forkullet og ble etterhvert sprø. Da det oppsto glødende forbindelse var det oksidbroen mellom skruen og lederen som glødet først. Figur 6.14 viser glødende forbindelser i koblingspunktet mellom skruen og kobberlederen. Bilde til høyre viser godt oksidbroen i kontaktflaten, og den har en lysere farge enn resten av den glødende forbindelsen. Ved høyere temperatur i forbindelsen vil den glødende forbindelsen være lysere. Etterhvert begynte også kobberlederen å gløde og tilslutt skruen.



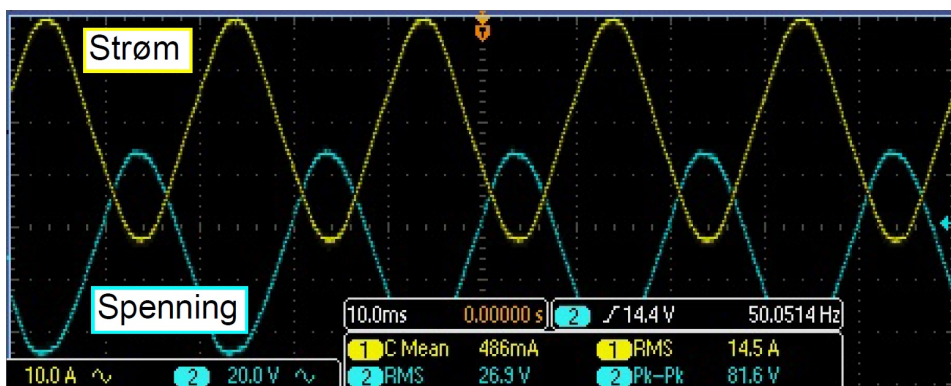
Figur 6.14: Glødende forbindelser mellom kobber og stål

Figur 6.15 viser strøm og spenningsfall i koblingspunktet i starten av et forsøk. Strømstyrken er på 16,5 A og spenningsfallet er på 1,58 V. Det er vanskelig å måle spenningsfallet rett over koblingspunktet, og litt av spenningsfallet representerer ledningene som er koblet til et annet koblingspunkt. Det er lettere å koble til spenningsproberne fra et annet koblingspunkt til oscilloskopet. Ledningene antas å være 2,0 m og har en motstand på $7,41\text{ m}\Omega$ pr meter, ved en strømstyrke på 16,5 A vil spenningsfallet på ledningene være ca 0,24 V.



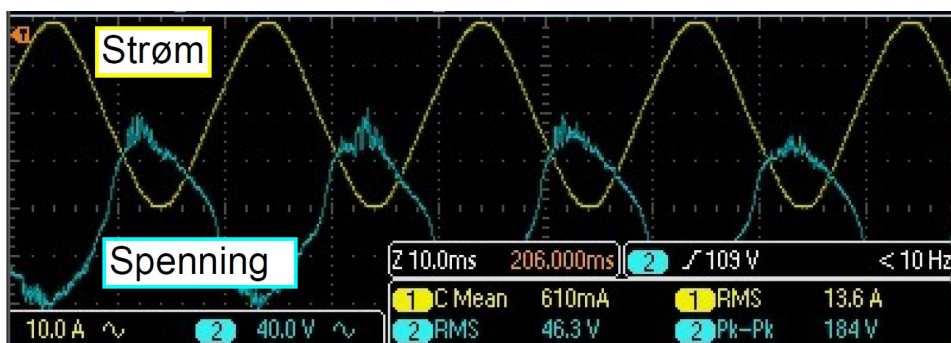
Figur 6.15: Strøm- og spenningskarakteristikk i koblingspunktet i starten av et forsøk

Figur 6.16 viser spenningsfallet over koblingspunktet rett etter at det har oppstått glødende forbindelser. Spenningsfallet over koblingspunktet er på 26,9 V, og det er litt høyere enn forsøksresultatene vist på figur 2.3. Oscilloskopbildet viser strøm og spenningskurve for den glødende forbindelsen vist på venstre bilde på figur 6.14.



Figur 6.16: Strøm og spenningsfall i koblingspunktet rett etter at det har oppstått glødende forbindelser

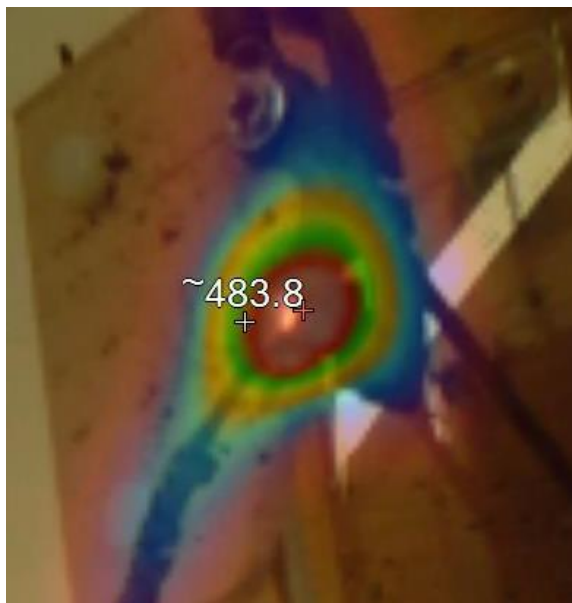
Ingen av lysbuevernene koblet ut kretsen da det var glødende forbindelser i koblingspunktet, noe som var forventet. Underveis i forsøkene ble større områder på kontaktpunktet glødende. Tilslutt ble skruen og større områder på lederen glødende, det vises tydelig på høyre bilde på figur 6.14. I forsøket som vises på det høyre bildet var det mye gnisninger i koblingspunktet. Lysbuevernet oppfattet ikke situasjon som en skadelig lysbue og koblet ikke bort strømmen fra kretsen. Figur 6.17 viser strøm- og spenningskurvene i koblingspunktet da det var mye gnisninger. Spenningskurven var hakkete da det var gnisninger i koblingspunktet. Spenningsfallet over koblingspunktet var 46,3 V.



Figur 6.17: Strøm og spenningsfall i koblingspunktet etter at det har vært glødende forbindelse lenge. Det var mye gnisninger i koblingspunktet, og det vises med hakkete spenningskurve

Figur 6.18 viser temperaturen på koblingspunktet, og den var på 483°C da det var glødende forbindelse. Temperaturen er målt på den glødende forbindelsen vist på høyre bilde på figur 6.14. Det antas at temperaturen er mye høyere i den glødende forbindelsen, siden Sletbak[17] fant ut at kobberoksid gløder ved en temperatur på ca 1200-1300 °C. Oksidbroen er det varmeste området på koblingspunktet og det område er lite, og det kan være

vanskelig å ta bilde på akkurat det punktet. Det er i tillegg en del usikkerheter ved å ta slike bilder da man ikke har erfaring innen termografering i forhold til refleksjon osv. Det ble tatt flere bilder av samme koblingspunkt, og temperatur var omtrent lik på hvert bilde. Det ble benyttet termograferingskamera fra Fluke.



Figur 6.18: Temperaturen på koblingspunktet er 483°C. Det har blitt benyttet Fluke termokamera

Oksidbroen mellom lederen og skruen i koblingspunktet ble større desto lenger det var glødende forbindelse. I alle forsøkene med glødende forbindelser detekterte lysbuevernene ved to gitte tilfeller. Fellesnevneren i begge tilfellene var ofte at oksidbroen i koblingsforbindelsen var stor. I det ene tilfellet oppsto det brudd mellom lederen og skruen, på grunn av at oksidbroen smeltet. Det ble da dannet en lysbue i koblingspunktet som var kraftig nok til at alle lysbuevernene som ble testet detekterte lysbue og koblet bort strømmen fra kretsen. Et tilfelle hvor oksidbroen mellom skruer og leder er stor er vist på det venstre bildet på figur 6.19. Oksidbroen ble igjen på skruhodet etter at det hadde oppstått brudd. Figur 6.19 viser flere bilder av metaloksidbroen på de mørke skruene.

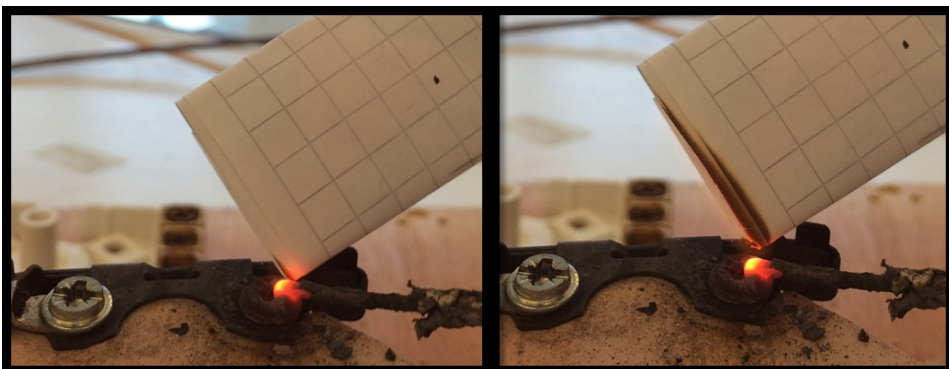
Andre tilfellet hvor lysbuevernene detekterte lysbue var etter at varmeovnene i kretsen ble skrudd på. Før varmeovnene ble skrudd på var det ikke noe belastning i kretsen. Det ble dannet lysbuer mellom lederen og oksidbroen, og dette vises på venstre bilde i figur 6.19. I flere tilfeller virket det som at det begynte med gnisinger og utviklet seg til små lysbuer før lysbuevernet detekterte og koblet bort strømmen fra kretsen. Ved flere tilfeller tok det over 10 sekunder før vernene detekterte lysbue. Lysbuevernene detekterte ikke alltid lysbue etter at varmeovnene ble skrudd på. I de tilfellene hvor ikke lysbuevernene detekterte,

avtok de små lysbuenne etter en liten tid. Det ble da glødende forbindelser igjen i koblingspunktet. En mulig årsak til at det oppsto gnisninger og små lysbuer kan være at det har blitt dannet små hulrom i kontaktflaten mellom oksidbroen og lederen.



Figur 6.19: Oksidbelegg som blir dannet i kontaktforbindelsen. Bilde til venstre viser gnisninger

Antennelse av papir ble testet ved glødende forbindelse. Arket ble ført mot den glødende forbindelsen, og umiddelbart begynte papiret å forkulle. Det tok noen få sekunder før arket ble antent og det oppsto en liten flamme. Figur 6.20 og 6.21 viser antennelse av papiret. Papiret ble fjernet fra den glødende forbindelsen og det sluttet ikke å brenne.



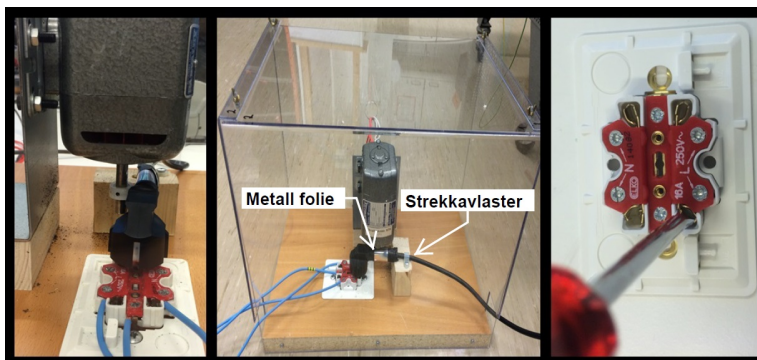
Figur 6.20: Antennelse av papir. Papiret ble ført mot den glødende forbindelsen. Det oppsto flamme etter få sekunder



Figur 6.21: Antennelse av papir. Papiret ble ført mot den glødende forbindelsen. Det oppsto flamme etter få sekunder

6.4 Test 3- Slitt stikkontakt med vibrerende støpsel

I dette forsøket har det blitt undersøkt om det oppstår glødende forbindelser eller serielysbuer i en svak kontaktforbindelse mellom et støpsel og en slitt stikkontakt. Det har blitt benyttet jordet støpsel av forskjellige typer, og disse har blitt hentet fra E-avfall sortering på elektrobygget på NTNU. Støpslene var fra skjermer eller stasjonære datamaskiner som har blitt kastet. Stikkontaktene som har blitt benyttet i forsøkene var dobbelstikk med jord fra ELKO, og er beregnet til å monteres på vegg. I dette forsøket er det lagt inn en vibrasjon på støpselet. I boliginstallasjoner kan det være bevegelse på et koblingspunkt på grunn av vibrasjoner fra annet utstyr. Typiske eksempler er vaskemaskin, tørketrommel eller kjøleskap. Vibrasjoner fremskynder prosessen som kan lede til lysbuer. For å fremskynde prosessen enda mer, har det også i dette forsøket blitt dannet et oksidbelegg på stikkontakten med elektrolyseprosessen, og stikkontakten var nedi saltvannskaret i ca 1 arbeidsdag.



Figur 6.22: Testoppsett med vibrerende støpsel. Vibrasjonen er fra akslingen på en motor. Metall til koblingspunktet på stikkontakten ble bøyd for å skape dårlig kontaktforbindelse

Figur 6.22 viser testoppsettet for en slitt stikkontakt med et vibrerende støpselet. Vibrasjonen som var på støpselet er fra en aksling på en liten DC motor. Akslingen kommer i kontakt med støpselet når den roterer. I forsøket ble det benyttet en 12 VDC motor med utgangseffekt på 50 W. Motorens effekt kunne endres, dermed lot intensiteten av vibrasjonene seg også å variere. I forsøkene som ble utført ble spenningsnivået fra DC forsyningen satt til 2 V og strømnivået varierte fra 1,6 til 2,0 A. Ved dette nivået ble det skapt varierende vibrasjoner. Ved å øke effekten ble det mindre varierende vibrasjoner på stikkontakten, og det tok da lengre tid for å få resultater. Utfordringen i de forbedrende forsøkene var at akslingen “gnagde seg inn i plasten” til støpselet. Dette ble løst ved å ha metallfolie rundt plastisolasjonen til støpselet. Det ble også festet en strekkavlaster nært støpselet for å få større og mer varierende vibrasjoner. Disse to tiltakene er vist på figur 6.22.

For å skape svak kontaktforbindelse mellom stikkontakten og støpselet, ble metallet hvor pinnene til støpselet blir plassert nedi stikkontakten bøyd med en skrutrekker. Bilde til høyre på figur 6.22 viser fremgangsmåten. Med dette oppsettet ble det liten holdekraften mellom pinnene til støpselet og stikkontakten. Hvor løst et støpselet sitter fast i en stikkontakt kan uttrykkes med holderaft, som er den minste kraften som skal til for å dra ut støpselet. Ved at pinnene sitter løst i stikkontakten, samt vibrering vil det bli dannet stor varmeutvikling. I dette forsøket ble det benyttet regulerbar vannmotstand som belastning, og strømnivået på dette forsøket ble satt til 14,5 A.

6.4.1 Resultater

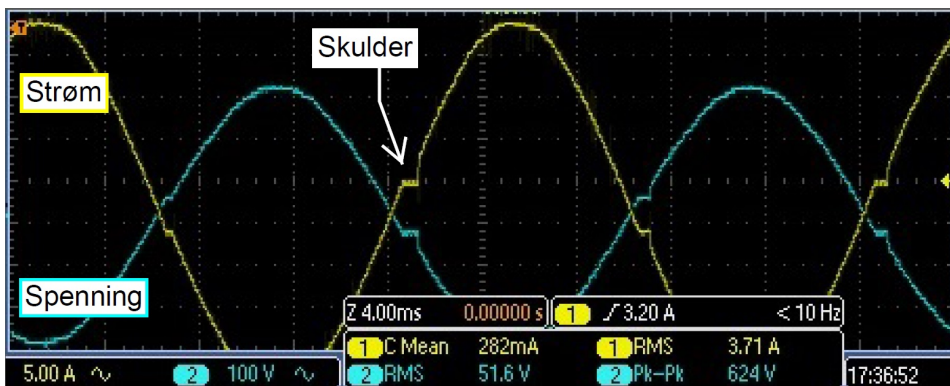
I dette forsøket ble det utført to forsøk for hver av lysbuevernene. Forsøkene hadde kortere varighet enn de to testoppsettene med svak kontaktforbindelse som ble presentert tidligere. De fleste forsøkene hadde en varighet på 0,5-2 arbeidsdager. I alle forsøkene oppstod det lysbuer og alle lysbuevernene detekterte lysbuene og brøt strømmen i kretsen.



Figur 6.23: Resultatene etter lysbuer mellom stikkontakt og støpselet

Det første tegnet var små gnisninger mellom pinnene til støpselet og metallet i stikkontakten. Underveis i forsøkene ble det stor varmeutvikling og pinnene til støpselet begynte å bli brunere. Etterhvert virket det som gnisningene utviklet seg til et mer konsentrert sted i kontaktpunktet og gnistringen ble kraftigere og hyppigere. Gnisningene varte i mange minutter på flere av forsøkene før lysbuevernene detekterte vedvarende lysbue. Det høyre bilde på figur 6.23 viser vedvarende gnisninger i stikkontakten, og det er et tydelig blått lys nedi stikkontakten. Etterhvert var det så høy temperatur i punktet mellom pinnen til støpselet og stikkontakten at det ble røykutvikling. Røyken kom fra plasten til støpselet. Plasten begynte etterhvert å smelte, og det virket som om det var så høy temperatur at plasten kokte. Tilslutt detekterte vernene en vedvarende lysbue og koblet bort strømmen fra kretsen. Ved et av forsøkene tok det relativt lang tid før lysbuevernet reagerte. I dette forsøket ble det ikke brukt avtrekksvifte og laboratoriet ble røyklagt på grunn av røykutviklingen fra plasten til støpselet. Hvis det hadde vært lett antennbare materialer ved stikkontakten antas det at det kunne oppstått brann.

Figur 6.24 viser skjermbilde fra oscilloskopet ved et av forsøkene hvor det oppsto lysbuer i stikkontakten. Skjermbilde er tatt rett før lysbuevernet detekterte lysbuen og brøt strømmen i kretsen. Lysbuestrømmens skulder ved strømmens nullgjennomgang er gjenkjennelig. Når strømmens nullgjennomgang slukker lysbuen og den gjenettes etter hver eneste nullgjennomgang. Spenningen har ikke den gjenkjennelige forhøyningen etter strømmens nullgjennomgang, slik som vist på figur 2.5. Spenningen har lignende skulder slik som strømmen, det er uvisst hvorfor det er slik. Det har blitt utført flere forsøk med lignende resultat. En mulig grunn kan være at det er vibreringen til støpselet som skaper dette resultatet.



Figur 6.24: Strøm- og spenningskurvene rett før lysbuevernet detekterte lysbue. Lysbuestrømmens betegnende skuldre ved strømmens nullgjennomgang er gjenkjennelig

6.5 Test 4- Uønsket utkobling av lysbuevern

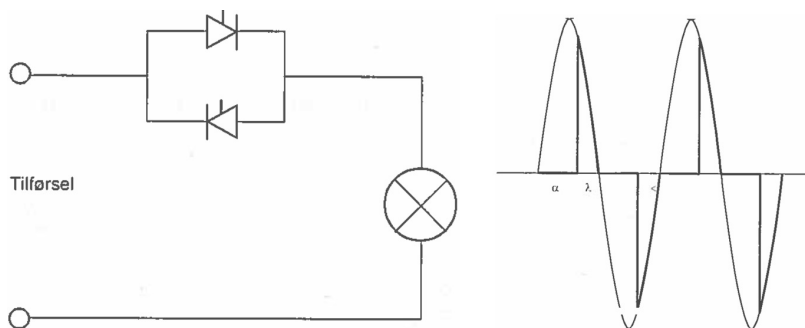
Husholdningsapparater og verktøy kan generere strømkurver som ligner på en skadelig lysbue. Det er viktig at ikke lysbuevernet detekterer slike strømkurver og vernet må derfor skille mellom strømkurver som kan ligne på lysbue og en skadelig lysbue. I lysbuestandarden finnes det en test hvor forskjellig elektriske apparater som gir forstyrrelser skal testes. Det er test 9.9.5.4 og den er mer beskrevet i kapittel 5.2.2.

For å detektere en parallelllysue kalkuleres den tidsderiverte av strømmen. Dersom den tidsderiverte av strømmen er større en forhåndsdefinert verdi og at lysbuevernet registrerer et bestemt antall etterfølgende strømkurver av lik størrelse, vil lysbuevernet betrakte det som en parallelllysue. Mer informasjon angående deteksjonsprinsippet for lysbuevern finnes i kapittel 4.1. Ulempen med deteksjonsprinsippet for parallelllysue er at flere ulike belastninger genererer stor startstrøm som kan ligne på en skadelig lysbue. Blant annet halogenglødelamper, kompressor, støvsuger, elektrisk drill osv.

Test 9.9.5.4 i lysbuestandarden er den ene belastningen som skal testes en tyristor styrt lapedimmer som kontrollerer glødelamper på 1000 W. Belastningen skal være fire 150 W lamper og fire 100 W lamper. Det er ønskelig å teste om lysbuevernene håndterer den store startstrømmen som glødelamper styrt av en dimmer gir. Motivet er å undersøke om skulderen som dimmeren gir etter strømmens nullgjennomgang og den store startstrømmen til glødelampen vil gi feildeteksjon av lysbuevernene. Bilde (b) på Figur 4.9 illustrerer strømkurvene etter en dimmer. Dersom lysbuevernet skal detektere parallelllysue må minst de fem første halvperiodene for strømmen være stor, og glødelampe med dimmer har ofte stor startstrøm de første 2-3 halvperiodene i følge referanse [32].

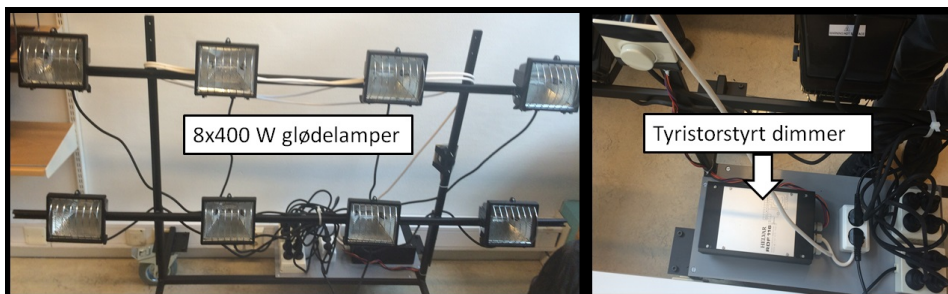
Glødelamper styrt av dimmer er lite aktuelt i boliginstallasjoner, men det kan være relevant i andre sammenhenger. Eksempler er i landbruket og næringsbygg. Nylig har NEK 400 landbruk blitt utgitt, og den skal bidra til levering av elektriske anlegg som er bedre egnet for det krevende miljøet i landbruksbygg[42].

Halogenglødelampene dimmes ved fasesnittdimming. Det vil si at strømmen brytes i en del av nettperioden. Bryteren består av to tyristorer koblet i antiparallell, slik som vist på figur 6.25. I fra nullgjennomgangen for strømmen til tennvinkelen α for tyristoren er kretsen sperret. Mens den i ledevinkelen λ er sluttet slik at strømmen går i kretsen. Dette vil gjentas for hver halvperiode for strømmen. Ved å regulere tennvinkelen α vil man også regulere strømmen som går i kretsen. Ved 50 Hz forsyningsspenning vil tyristorene koble 100 ganger i sekundet[43].



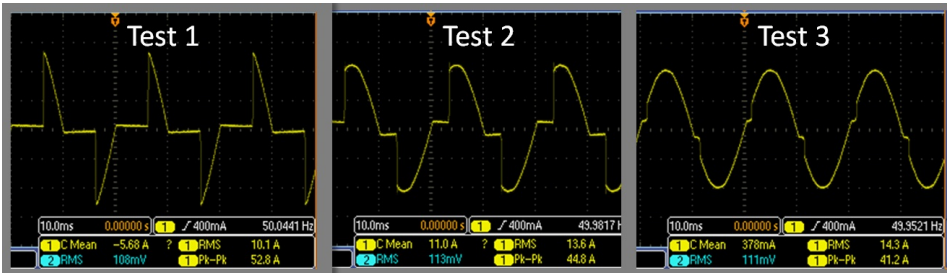
Figur 6.25: Fasesnittstyring med tyristorer koblet i antiparallell[43]

I forsøket ble det benyttet halogenglødelampe med en effekt på 400 W. I testoppsettet ble lysbuevernene testet med opptil åtte halogenglødelamper og det tilsvarer en totaleffekt på 3200 W. Dimmeren er tyristorstyrt og merke er HELVAR og type RDF116. Denne dimmeren kan styre tennvinkelen α til strømmer på opptil 16 A. Den tåler 3600 VA og $\cos \Phi$ 1.0-0.5 ind. Figur 6.26 viser halogenglødelampene og dimmeren som ble benyttet i forsøkene.



Figur 6.26: Testoppsettet med åtte halogenglødelamper som er styrt med dimmer

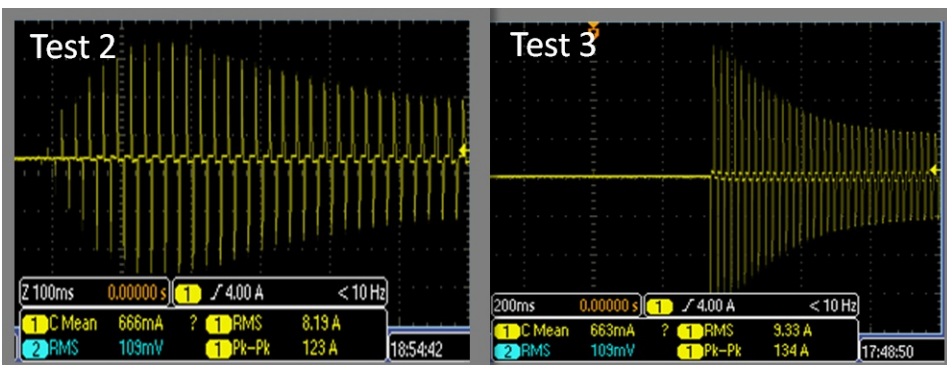
Det ble utført tre forskjellig forsøk med halogenglødelampene. Tennvinkelen α til dimmeren ble stilt forskjellig slik at strømkurvene ble forskjellig på testene. I alle testene er det en skulder ved strømmens nullgjennomgang og kan derfor minne om strømkurvene i kretser hvor det har oppstått lysbue. Figur 6.27 viser strømkurvene til de tre testene. I alle testene som er beskrevet senere i kapittelet ble dimmeren stilt da alle åtte halogenglødelampene var tilkoblet i kretsen. Bakgrunnen for test 1 var å stille dimmeren slik at topp-bunn (peak-peak) verdien på strømmen var høyest. I alle testene som ble utført ble det stilt slik at topp-bunn verdien på strømmen var på ca 53 A før lysbuevernet ble testet. I test 3 ble dimmeren stilt til maksimalt, slik at det blir liten tennvinkel α . Det ble ikke ren sinuskurvet strøm når dimmeren ble stilt til maksimalt, og det ble en liten skulder ved hver nullgjennomgang for strømmen. I test 2 er en mellomting mellom test 1 og 3. I denne testen ble dimmeren stilt slik at topp-bunn verdien på strømmen ble på ca 45 A.



Figur 6.27: Det ble utført tre ulike tester med halogenglødelamper som er styrt med dimmer. Dimmeren ble stilt med forskjellig tennvinkel α på forsøkene slik at det ble forskjellige strømkurver

6.5.1 Resultater

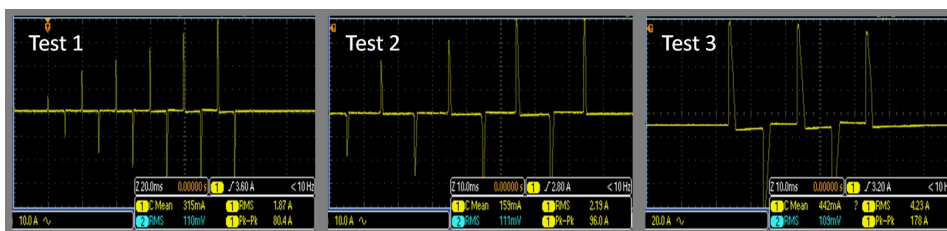
I det første forsøket ble alle halogenglødelampene med en total effekt på 3200 W testet, og hensikten var å få størst mulig startstrøm og dimmeren ble stilt til maksimalt (test 3). Dette ble utført for å undersøke om hvorvidt lysbuevernene reagerte på startstrømmen. Lysbuevernene fra leverandør B reagerte ikke på den store startstrømmen. Det ble utført fem forsøk for å konstatere at disse lysbuevernene ikke reagerte på stor startstrøm fra halogenglødelamper som er styrt fra en dimmer. Test 1 og 2 ble også utført på lysbuevernene og heller ikke da ble det feildetektering. I disse to testene ble topp-bunn verdien på startstrømmen redusert. Det ble utført flere forsøk på hver av disse testene. Figur 6.28 viser startstrømmen i test 2 og 3 da det var tilkoblet åtte halogenglødelamper i kretsen.



Figur 6.28: Startstrømmen til åtte glødelamper, der lysbuevernene fra den ene leverandøren ikke reagerte på den store startstrømmen

Deretter ble lysbuevernene fra leverandør A testet. Første forsøket var også her størst mulig startstrøm for å undersøke om lysbuevernene reagerte på halogenglødelampene. Alle

lysbuevernene fra leverandør A reagerte på den store startstrømmen fra test 3 og strømmen ble brutt i kretsen. Det ble utført flere repeterende forsøk for å konstatere at lysbuevernene reagerte på startstrømmen. Test 1 og 2 ble også utført på alle lysbuevernene og på alle forsøkene ble strømmen brutt i kretsen. Figur 6.29 viser oscilloskopbilde av at strømmen blir brutt på de tre testene som ble utført med alle åtte halogenglødelampene tilkoblet i kretsen.



Figur 6.29: Startstrømmen til åtte glødelamper. Lysbuevernene fra leverandør A reagerte på den store startstrømmen og strømmen i kretsen ble brutt på alle tre testene

Figur 6.29 viser at ved større startstrøm vil lysbuevernet bryte strømmen i kretsen raskere. I test 3 tok det fem-seks halvperioder før strømmen ble brutt i kretsen for alle lysbuevernene. I test 2 hvor det var litt lavere startstrøm tok det flere halvperioder før strømmen ble brutt i kretsen, og det tok ca 8-11 halvperioder før strømmen ble brutt i kretsen. Test 1 tok det ca 12-13 halvperioder før strømmen ble brutt.

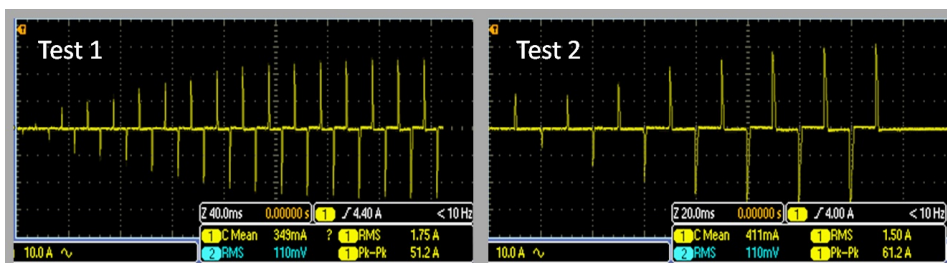
Videre var det av interesse å finne ut hvor få halogenglødelamper som kunne være tilkoblet i kretsen for at ikke lysbuevernene skulle reagere på startstrømmen. I forsøkene som er presentert videre i kapittelet er ikke lysbuevernene fra leverandør B testet fordi vernene ikke reagerte på den store startstrømmen fra alle halogenglødelampene. I første forsøket ble antall halogenglødelamper halvert til fire og det ble utført to forsøk på alle tre testene. I alle forsøkene reagerte lysbuevernene på startstrømmen fra de fire halogenglødelampene.

Fire glødelamper	Test 1	Test 2	Test 3
Leverandør A vern 1	Utkobling	Utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 2	Utkobling	Utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 3	Utkobling	Utkobling	Utkobling

Tabell 6.3: Tester om lysbuevernene reagerer på fire halogenglødelamper som er styrt av dimmer. Alle lysbuevernene fra den ene leverandøren reagerte på den høye startstrømmen på alle testene

I forsøkene som ble utført med fire halogenglødelamper reagerte lysbuevernet fortsatt like raskt som da det var tilkoblet åtte glødelamper ved test 3. I forsøkene som ble utført på test 1 og 2 viste det seg at lysbuevernet reagerte litt langsommere enn da det var tilkoblet åtte halogenglødelamper. Figur 6.30 viser startstrømmen i test 1 og 2 da det var tilkoblet fire halogenglødelamper i kretsen. I forhold til figur 6.29 viser figur 6.30 at det tok flere halv

perioder før lysbuevernet reagerte og koblet bort strømmen fra kretsen.



Figur 6.30: Startstrømmen til fire halogenglødelamper. Lysbuevernet reagerer langsommere i test 1 og 2 i forhold til da det var tilkoblet åtte glødelamper

Deretter ble det koblet bort enda en glødelampe fra kretsen og det var igjen tre halogenglødelamper. Den totale effekten i kretsen var da 1200 W. Litt større effekt enn det som er i lysbuestandarden, test 9.9.5.4, 1000 W glødelamper styrt av en dimmer. I forsøket ble det benyttet de samme testene som vist på figur 6.27 I dette forsøket viste det seg at alle lysbuevernene som ble testet ikke reagerte på test 1. Lysbuevernene reagerte fortsatt på test 2 og 3. Lysbuevernet reagerte ikke langsommere i test 2 og 3 enn da det var tilkoblet fire halogenglødelamper i kretsen.

Tre glødelamper	Test 1	Test 2	Test 3
Leverandør A vern 1	Ikke utkobling	Utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 2	Ikke utkobling	Utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 3	Ikke utkobling	Utkobling	Utkobling

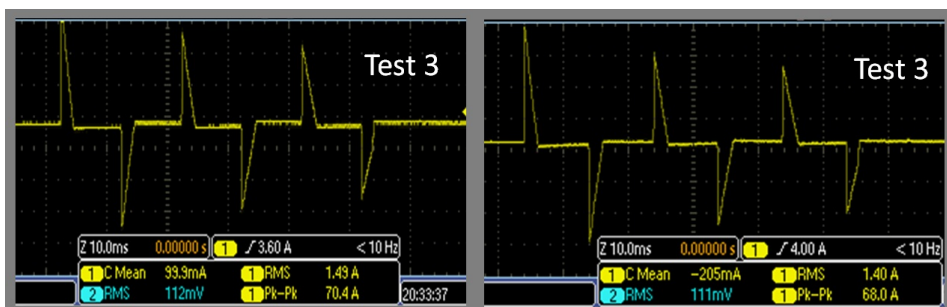
Tabell 6.4: Tester om lysbuevernene reagerer på tre halogenglødelamper som er styrt av dimmer

Det neste forsøket var med to halogenglødelamper. 200 W mindre enn det som er i test 9.9.5.4 i lysbuestandarden. I dette forsøket reagerte ikke lysbuevernene på test 1 og 2. Fortsatt reagerte alle lysbuevernene på test 3.

To glødelamper	Test 1	Test 2	Test 3
Leverandør A vern 1	Ikke utkobling	Ikke utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 2	Ikke utkobling	Ikke utkobling	Utkobling
Leverandør A vern 3	Ikke utkobling	Ikke utkobling	Utkobling

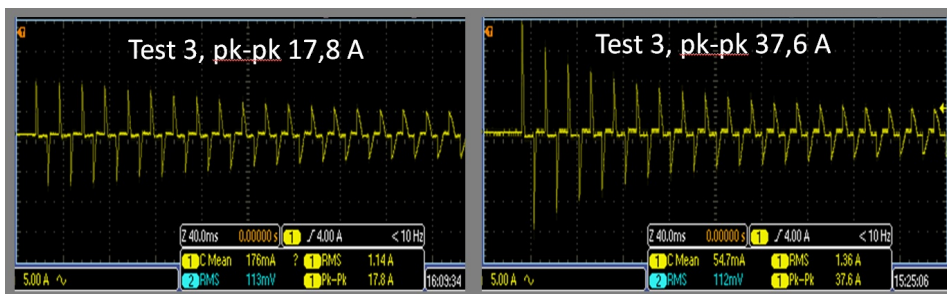
Tabell 6.5: Tester om lysbuevernene reagerer på to halogenglødelamper som er styrt av dimmer

Topp-bunn verdien av startstrømmen i test 3 var fra 65 til 70 A i forsøkene som ble utført med to halogenglødelamper. Lysbuevernene reagerte fortsatt like hurtig som da det var tilkoblet åtte halogenglødelamper i kretsen. Figur 6.31 viser to ulike forsøk med test 3 hvor lysbuevernet reagerer.



Figur 6.31: Startstrømmen til to halogenglødelamper ved to forskjellige forsøk. Lysbuevernet reagerer på startstrømmen i test 3

I det siste forsøket ble det testet om lysbuevernet reagerte med kun en halogenglødelampe med en effekt på 400 W. Det ble kun utført forsøk med test 3 med en halogenglødelampe tilkoblet i kretsen. I denne testen reagerte ikke lysbuevernene på startstrømmen, og topp-bunn verdien av strømmen i dette forsøket varierte fra ca 18 til 40 A. Figur 6.32 viser startstrømmen til en halogenglødelampe ved to forskjellige forsøk.



Figur 6.32: Startstrømmen til en glødelampe ved to forskjellige forsøk. Lysbuevernet reagerte ikke på startstrømmen i disse forsøkene

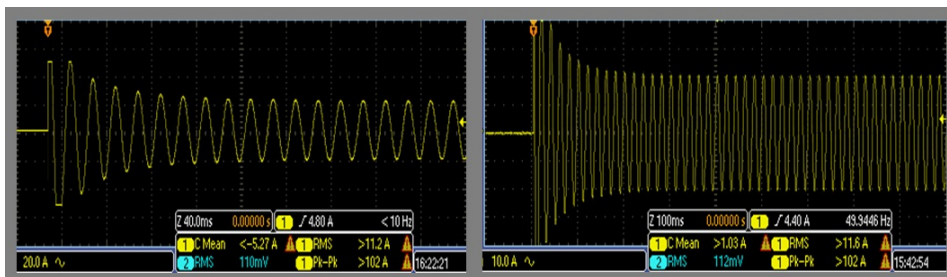
Utifra forsøkene viser det seg at lysbuevernene fra leverandør A reagerer på startstrømmen til halogenglødelampene som er styrt av en dimmer. I forsøkene er det to halogenglødelamper den minste belastningen som gir en feildeteksjon fra lysbuevernene. Det er uvisst hva som er nedre grense på startstrøm fra halogenglødelampe som skaper feildetektering for lysbuevernene. Den nedre grensen for topp-bunn verdien av startstrømmen viser seg å være på mellom 40 til 65 A. Det kan være at halogenglødelamper med en effekt på 500 W

gir stor nok startstrøm til at lysbuevernet forveksler startstrømmen med en parallelllysbue. I alle forsøkene som har blitt utført har det tatt minimum 5 halvperioder før lysbuevernet kobler bort strømmen fra kretsen. Det antas at det er en liten forsinkelse i brytermekanismen fra vernet detekterer lysbue til at strømmen er koblet bort fra kretsen. Hvis man antar denne forsinkelsen vil lysbuevernet trenge mindre enn fem repeterende halvperioder med stor startstrøm for at den skal detektere en parallelllysbue.

Som nevnt tidligere vil strømmen bli lik null ved hver halvperiode fordi lysbuen slukker og gjenetter når spenningen blir tilstrekkelig stor slik at lysbuen gjenetter. Det vil da bli skulder ved strømmens nullgjennomgang ved hver halvperiode. I forsøkene som har blitt utført med halogenglødelamper styrt av en dimmer har også en skulder ved strømmens nullgjennomgang. Det var til og med skulder ved nullgjennomgangen av strømmen da dimmeren ble stilt til maksimalt, noe som er vist på test 3 på figur 6.27. Det antas at grunnen til skulderen ved nullgjennomgangene for strømmen skyldes spenningstap på tyristorene.

I neste forsøk skal det testes hvilke påvirkning skulderen har ved strømmens nullgjennomgang for lysbuevernene. I forsøket skal det igjen benyttes åtte halogenglødelamper, men i dette forsøket skal ikke halogenglødelampene være styrt av en dimmer. Det vil da være en ren sinus strøm som har stor topp-bunn strømverdi i de første periodene etter at halogenglødelampene blir skrudd på. Tanken er å undersøke hvilke påvirkningen skulderen har ved strømmens nullgjennomgang for lysbuevernene. Det ble også i dette forsøket kun testet lysbuevernene til leverandør A, som feildetektete da det var tilkoblet halogenglødelampene som var styrt av en dimmer.

I alle forsøkene hvor det ble testet åtte halogenglødelamper uten dimmer ga ingen feildetektering for lysbuevernene. Figur 6.33 viser startstrømmen for noen av forsøkene som ble utført.



Figur 6.33: Startstrømmen til åtte halogenglødelampe uten styring fra dimmer, ved to forskjellige forsøk. Lysbuevernet reagerte ikke på startstrømmen i disse forsøkene

Som figur 6.33, tar det ikke mange periodene før strømmen er i stasjonær tilstand. Sam-

menlignet med figur 6.28 hvor halogenglødelampene er styrt av dimmer tar det lenger tid før strømmen har nådd stasjonær tilstand. Det er derfor uvisst om det er kombinasjonen av flere repeterende perioder med stor startstrøm og skulderen ved strømmens nullgjennomgang som gir feildetektering. Det kan være at lysbuevernene gir feildetektering ved flere repeterende perioder med stor startstrøm, dersom det er en ren sinusstrøm uten skulder ved nullgjennomgangene. Utfra forsøkene som har blitt utført med åtte halogenglødelamper uten dimmer ble topp-bunn verdien av startstrømmen hurtig redusert fra den første perioden av strømmen til neste. Ingen av forsøkene ga flere repeterende perioder med stor startstrøm slik som det var med halogenglødelampene som var styrt med dimmer.

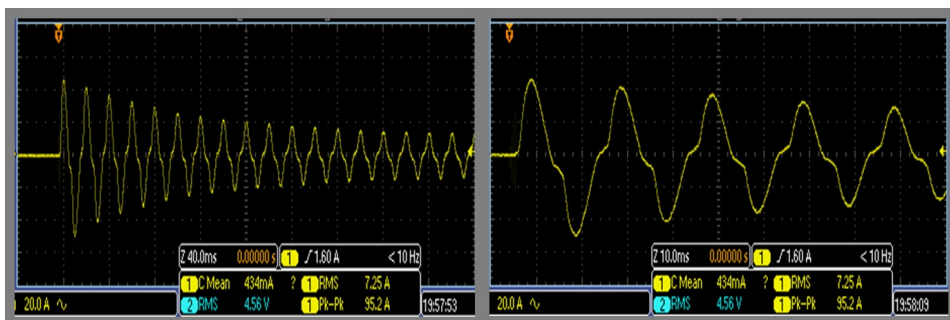
6.6 Test 5- Uønsket utkobling på grunn av støvsuger

I tidligere forsøk har det vist seg at lysbuevernene fra leverandør A detekterer feil på strømkurver som ligner på en parallelllysbue. Det antas at den store startstrøm som varte i flere perioder og skuldrene ved nullgjennomgangene for strømmen ga feildeteksjon. Støvsuger er en annen type belastning som ligner på strømkurvene til en skadelig lysbue, og figur 4.9 viser strømkurvene til en støvsuger. Vanligvis har ikke støvsugere større startstrøm enn ca 50 A, og det er for lite til å gi en feildeteksjon for lysbuevernet i følge referanse [32].

Støvsugere er også med i lysbuestandarden og den er mer beskrevet i kapittel 5.2.2. I test 9.9.5.4 skal lysbuevernet testes med en støvsuger som trekker 5-7 A. I dette forsøket var det av interesse å finne en støvsuger som krever enda større effekt for å få større startstrøm. Det fantes ikke slike støvsugere på NTNU og det er derfor benyttet to støvsugere i forsøket. Begge støvsugerne var på 1200 W. Det ble gjennomført to forskjellige forsøk; en støvsuger og begge støvsugerne tilkoblet i kretsen.

6.6.1 Resultater

I første forsøket var det en støvsuger tilkoblet i kretsen. Ingen av lysbuevernene feildetekterte da støvsugeren ble skrudd på. Det ble utført fem forsøk på hvert av lysbuevernene for å konstatere at vernene ikke ga noen feildeteksjon. Figur 6.34 viser startstrømmen til en støvsuger i et av forsøkene. Venstre bilde på figuren er forstørret 5 ganger, mens bilde til høyre er forstørret 20 ganger. Bildene viser tydelig at strømkurvene ikke er en ren sinusformet. Strømkurvene til en støvsuger ligner litt på strømkurvene til en skadelig lysbue.



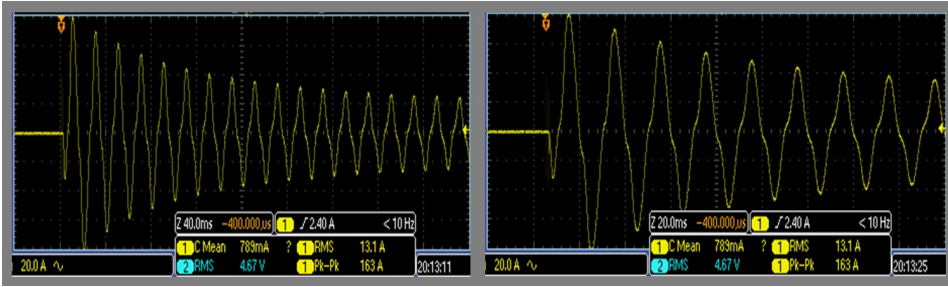
Figur 6.34: Startstrømmen til en støvsuger på 1200 W. Lysbuevernene reagerte ikke på startstrømmen i disse forsøkene. Bildene viser startstrømmen i samme forsøk

Den første topp-bunn verdien av startstrømmen i forsøkene var på 94-98 A. Den store startstrømmen ble redusert mye fra den første perioden til neste, og etter ca 10-12 perioder var strømmen i stasjonær tilstand. Det ser ikke ut som strømmen er null så lenge ved strømmens nullgjennomganger sammenlignet med glødelampe styrt av en dimmer. Glødelampe styrt av dimmer har en mer lignende lysbue strømkarakteristikk enn en støvsuger. Strømkurvene fra en støvsuger har litt annerledes skulder ved strømmens nullgjennomgang sammenlignet med en farlig lysbue. I en farlig lysbue slukker lysbuen ved nullgjennomgangen og tennes når spenningen har bygd seg opp slik at det oppstår gjentening av lysbuen.

Da lysbuevernet feildetekterte med to glødelamper med dimmer var topp-bunn verdien av startstrømmen 65-70 A. Det antas derfor at det var stor nok startstrøm for at lysbuevernene kunne ha detektert parallelllysue med støvsuger. Sammenlignet med feildeteksjonene da glødelampene ble testet er det uvisst hva som er grunnen til at ikke oppsto feildeteksjon med støvsuger. Enten er det at topp-bunn verdien av strømmen ble hurtig redusert, slik at det ikke var noen gjentakende strømkurver som var over en viss verdi for at vernet skulle tolke det som lysbue. Eller kan det være at strømmen ikke lignet nok på strømkarakteristikken til en farlig lysbue. Det kan også være en kombinasjon av nevnte antagelser.

Figur 6.35 viser startstrømmen når to støvsugere var tilkoblet kretsen. Begge ble skrudd på samtidig ved at det var en overliggende bryter i kretsen. Ingen av lysbuevernene feildetekterte da støvsugerne ble skrudd på, og ble utført fem forsøk på hvert lysbuevern for å konstatere at vernene ikke ga noen feildeteksjon.

Topp-bunn verdien av startstrømmen ble som forventet mye større, og den varierte mellom 158-166 A. Startstrømmen ble også her hurtig redusert og var i stasjonær tilstand etter ca 10-12 perioder. Sammenlignet med strømkurvene til en støvsuger tilkoblet i kretsen virker det som skulderen ved nullgjennomgangene blir mer glattet ut, og ligner mer på en sinus strøm da det var tilkoblet to støvsugere.

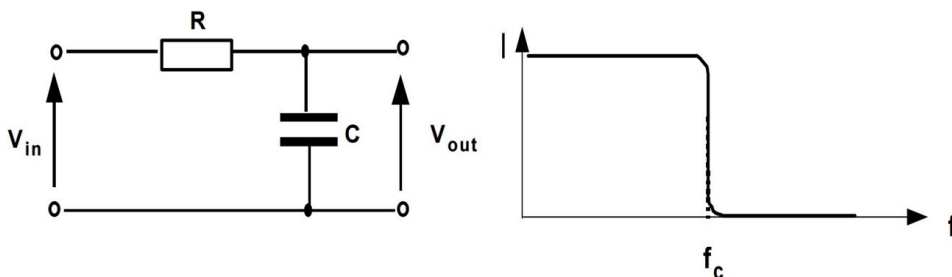


Figur 6.35: Startstrømmen til to støvsugere med en totaleffekt på 2400 W. Lysbuevernene reagerte ikke på startstrømmen i disse forsøkene. Bildene viser startstrømmen i samme forsøk

6.7 Test 6- Lavpassfilter i kretsen

Designerne av lysbuevern benytter som nevnt i kapittel 4 støy som blir generert fra lysbuer som deteksjonsprinsipp for serielysbue. For at lysbuevernet skal detektere serielysbue blir RSSI-verdien og hurtige endringer i RSSI undersøkt. RSSI blir kun generert når det går strøm i kretsen og når lysbuen slukker vil det ikke bli generert noe. Dersom RSSI blir større en forhåndsdefinert verdi vil lysbuevernet tolke støysignalet som en skadelig lysbue.

Støyen fra lysbuer kan være i frekvensområdet fra noen titalls hertz til 1 GHz [32]. Som figur 4.6 viser produserer lysbuer sterke støysignaler over et stort frekvensområde. Det er ønskelig å undersøke om lysbuevernene håndterer kretser hvor det er lavpassfilter. Et enkelt lavpassfilter består av en resistans i parallell med en kondensator. Funksjonen til et lavpassfilter er å kortslutte høye frekvenser ned til jord via kondensatoren og la lave frekvenser passere. Figur 6.36 viser kretsen til et lavpassfilter. Ved hjelp av formel 6.1 kan man beregne cut-off frekvensen f_c til filteret. Frekvenser som er høyere enn f_c vil kortsluttes til jord[44].

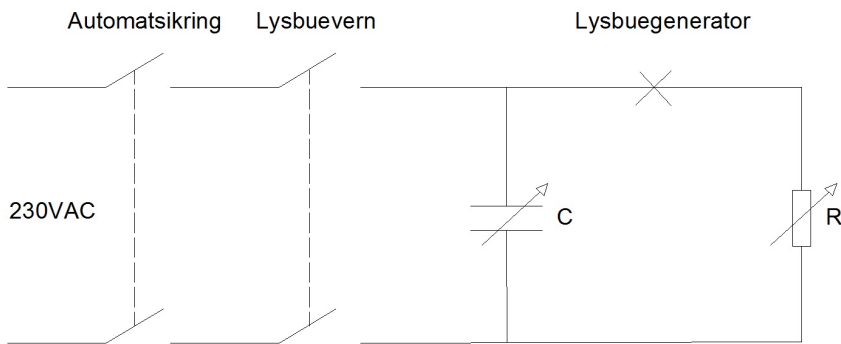


Figur 6.36: Venstre bilde viser kretsen til et lavpassfilter med kondensator koblet i parallell med en motstand. Høyre bilde viser at frekvenser som er høyere enn cut-off frekvensen f_c kortsluttes til jord [44]

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6.1)$$

Mange elektriske apparater som blir benyttet i husholdninger har lavpassfilter i strømforsyningen, og eksempler er PC, TV, stereoanlegg osv. Formålet med dette forsøket var å undersøke om det blir noe innvirkning på deteksjon av serielysbue for lysbuevernet dersom det blir satt inn et lavpassfilter i kretsen. Dersom et lavpassfilter gir innvirkning for detektering av serielysbue for lysbuevernet, er det også interessant å foreta flere forsøk med elektriske apparater som har lavpassfilter i strømforsyningen.

Figur 6.37 viser testoppsettet med lavpassfilter integrert i kretsen. Det har blitt benyttet en regulerbar kondensator i forsøket, og den kan reguleres i område fra $1 \mu F$ til $11,11 nF$. I forsøket har det blitt benyttet lysbuegenerator for å lage lysbuer i kretsen. Figur 5.4 viser lysbuegeneratoren som har blitt benyttet, den består av to elektroder, hvor den ene elektrodene står fast og den andre elektrodene kan reguleres med en sveiv. Når kretsen blir påsatt spenning skal det være kontakt mellom elektrodene. Elektrodene skal så dras fra hverandre med en liten avstand og det oppstår da en stående lysbue. Lysbuevernets oppgave er da å bryte strømmen i kretsen da en stående lysbue blir generert mellom elektrodene til lysbuegeneratoren.



Figur 6.37: Formålet med testen er å sjekke om lysbuevernet registrerer lysbue i kretsen

I de forberedende forsøkene ble det benyttet materialet karbon-grafitt til den justerbare elektrodene. I lysbuestandarden er det beskrevet at den flyttbare elektrodene skal være av materialet karbon-grafitt, mens den elektrodene som står fast skal være av kobber. Fordelen med karbon-grafitt er at det dannes kraftige lysbuer da elektrodene blir separert. Ulempen er at det produseres lite høyfrekvent støy fra lysbuen og det blir vanskelig for lysbuevernet å detektere lysbuer i noen situasjoner. Erfaringen fra de forberedende forsøkene var at det ble dannet kraftig lysbuer men at lysbuevernene ikke alltid reagerte på lysbuen. Underveis i mange av forsøkene da det var lysbue i gapet mellom elektrodene begynte karbon-grafitt

elektroden å gløde og etterhvert forkulle, uten at vernene reagerte.

Maren Bjørnbakk poengterer også i sin masteroppgave [11] at karbon-grafitt avgir lite høyfrekvent bredbåndstøy slik at lysbuevernet har vanskeligheter for å detektere lysbue. Hun poengterer at lysbuegeneratoren ikke lager lysbuer av identisk art av det som kan forventes å oppstå i en boliginstallasjon. I en grafittelektrode blir det utviklet annerledes gasser når den blir utsatt for en lysbue enn gassene som blir utviklet av en kobberlektrode. Måten lysbuen oppfører seg mellom en kobber og karbon-grafitt er også annerledes enn lysbuen mellom to kobber elektroder. Da kobberet smelter på grunn av lysbuen, vil lysbuen forflytte seg omkring på kontaktflaten og denne oppførselen vil resultere i høyfrekvent støy. En karbon-grafitt elektrode smelter ikke da materialet blir utsatt for en lysbue og vil derfor ikke produsere like mye høyfrekvent støy slik som kobberet gjør[11].

For å utføre forsøk er det viktig å vite at lysbuevernet hadde reagert dersom det hadde oppstått lysbue. I de forberedende forsøkene før lavpassfiltret ble integrert i kretsen viste det seg at lysbuer dannet fra en karbon-grafitt elektrode ikke alltid ble detektert av lysbuevernet. Derfor ble det valgt at det ikke skulle benytte materialet karbon-grafitt som den flyttbare elektroden. Dette vil redusere uvissheten om det var karbon-grafitt elektroden eller lavpassfilteret som var årsaken til at vernet ikke reagerte på lysbuen i kretsen.

I stede ble det valgt å benytte kobber som regulerbar elektrode og messing som elektroden som står fast. I de forberedende forsøkene ble forskjellige kombinasjoner av type metaller testet som elektroder på lysbuegeneratoren. Utifra forsøkene som ble utført var det lettest å danne lysbuer mellom metallene kobber og messing. Det var vanskeligere å danne en kontinuerlig lysbue mellom kobber og messing elektrodene enn karbon-grafitt og kobber elektrodene. Tiltaket som ble utført var å øke strømmen i kretsen slik at det ble dannet kraftigere lysbuer da elektrodene ble separert fra hverandre. I tillegg er det krav til at lysbuevernet kobler hurtigere ut kretsen da det er stor strøm i kretsen. Utkoblingstider i forhold til strømstyrke er vist på figur 5.2. Etter å ha byttet elektrodene var det ingen problemer med at lysbuevernene ikke koblet bort strømmen da det ble generert serielysbue i kretsen, slik som det var da karbon-grafitt elektrode ble benyttet. Først da det ble dannet lysbue mellom kobber og messing elektrodene koblet lysbuevernet hurtig ut på grunn av at det ble dannet høyfrekvent støy. I forsøkene som er representert senere i kapitlene ble det valgt en strømstyrke på 10 og 14,4 A.

Det var lettere å danne lysbuer mellom elektrodene da en av elektrodene var spiss. Det ble valgt at kobber elektroden skulle være spiss siden kobber tåler høyere temperatur enn messing[45]. Flere av rådene angående elektrodene ble gitt av Henning Taxt. Han er stipendiat på NTNU og forsker på lysbuer i effektbrytere. Utfordringen med kobber og messing elektrodene er at metallene eroderer. Etter at overflaten på enden av elektrodene hadde erodert var det vanskeligere å danne en kontinuerlig lysbue mellom elektrodene. Elektrodene måtte derfor jevnlig pusses med sandpapir.

Alle lysbuevernene ble testet etter tur og hver test ble gjentatt tre ganger for hvert vern, og elektrodene ble pusset etter hvert forsøk. Før hvert forsøk ble filteret koblet bort fra testoppsettet og det ble dannet lysbue fra lysbuegeneratoren for å konstatere at lysbuevernene reagerte. Dette ble gjort for å redusere uvissheten om det var lysbuen fra lysbuegeneratoren som ikke vernene reagerte på, eller om det lavpassfilteret som var årsaken til at vernet ikke reagerte. Etter å ha pusset kobber Elektroden noen ganger med sandpapir ble enden av elektroden mindre spiss, og det var da vanskeligere å lage lysbue fra lysbuegeneratoren som vernene reagerte på. Elektroden måtte da dreies på nytt for å få den spiss igjen.

Test 9.9.4.3 i lysbuestandard [36] skal lysbuevernene testes i en krets hvor det er tilkoblet to filtre. Det første filtret skal bli tilkoblet etter 15 m med kabel og det siste filtret skal tilkobles etter 30 m kabel. Det skal genereres lysbue etter det siste filtret for å undersøke om lysbuevernet reagerer på lysbuen. Hvert filter er på $0,22 \mu F$. Figur 5.8 viser testoppsettet til test 9.9.4.3.

6.7.1 Resultater

I det første forsøket har det blitt valgt å benytte en kondensator på $0,44 \mu F$, like stor kapasitans som den som er beskrevet i test 9.9.4.3 på lysbuestandard. Cut-off frekvensen til filteret er 22,6 kHz. Lavpassfiltret er også plassert rett ved lysbuevernet, slik som vist på figur 6.37. Det ble valgt å benytte en motstand på 16Ω i forsøket, noe som tilsvarer en strøm på 14,4 A. Det ble dannet kraftige lysbuer slik at lysbuevernene reagerte kjapt da ikke filtret var tilkoblet i kretsen.

Lysbuevernene fra leverandør A reagerte på lysbuen som ble laget av lysbuegeneratoren, og koblet bort strømmen fra kretsen. Lysbuevernene hadde ikke noen utfordringer med å detektere lysbue da det ble laget serielysbue i kretsen. I et av forsøkene ble det valgt den høyeste kapasitansen til den regulerbare kondensatoren, og den ble stilt til $11,11 \mu F$ og det tilsvarer en cut-off frekvens f_c på 895 Hz. Da det ble dannet lysbue i kretsen koblet alle vernene fra leverandør A bort strømmen fra kretsen. Utifra forsøkene som ble utført kan man konstatere at lysbuevernene fra leverandør A fungerer tilfredsstillende også i kretser hvor det er tilkoblet lavpassfilter.

Det ble annerledes resultater med lysbuevernene fra leverandør B. Vernene reagerte ikke på serielysbue på det første forsøket da kondensatoren var stilt til $0,44 \mu F$. Det ble utført flere repeterende forsøk for å konstatere at ikke lysbuevernene reagerte da det ble dannet serielysbue i en krets med lavpassfilter. I kontaktpunktet mellom elektrodene kunne det observeres at elektrodene skiftet farge og ble sort underveis i forsøkene. Elektrodene ble deformerte i det lille området lysbuen foregikk. Den spisse elektroden ble sort og “gnagde seg etterhvert inn” i den andre elektroden. I hvert forsøk pågikk lysbuen i flere titalls sekunder uten at lysbuevernene fra leverandør B reagerte. Tilslutt var det vanskelig å lage nye lysbuer siden den spisse elektroden hadde “gnagd seg inn” i den andre elektroden.

Elektrodene bar tydelig preg av varmeutvikling i kontaktpunktet. Elektrodene måtte pus-ses med sandpapir før neste forsøk kunne gjennomføres.

Figur 6.38 viser et av forsøkene hvor det ene lysbuevernet fra leverandør B ikke reagerte på lysbuen mellom elektrodene. Figuren viser strøm- og spenningsforløp da det oppstod lysbuer mellom elektrodene. Spenningen har den gjenkjennelige forhøyningen etter strøm-mens nullgjennomgang da lysbuen slukker. Da spenningen har bygd seg opp og lysbuen gjentenner så går spenningen ned til null igjen. På figuren gjentar dette seg 8-10 perioder uten at lysbuevernet reagerer. Den høyeste topp-bunn verdien av spenningen i dette forsø- ket er målt til 3,52 kV.



Figur 6.38: Lysbuevernet reagerer ikke på lysbuer da det er koblet inn en kondensator i parallell med belastningen

I de neste forsøkene ble kapasitansen redusert, og det vil medføre til at cut-off frekvensen til lavpassfiltret øker. Tabell 6.6 viser forskjellige størrelser som ble valgt. Formålet med forsøket var å undersøke om lysbuevernene fra leverandør B detekterer lysbuer dersom cut-off frekvensen til filtret øker. Det ble funnet ut at da kondensatoren var stilt inn på $0,23 \mu F$ reagerte lysbuevernene fra leverandør B på lysbuen som ble dannet mellom elektrodene, og det tilsvarer en cut-off frekvens på 43,24 kHz. Det ble utført flere repeterende forsøk på vernene og i flere av forsøkene tok det lengre tid før vernene reagerte på lysbuen enn uten filtret. Da kondensatoren ble stilt på $0,22 \mu F$ reagerte vernene like hurtig som da det ikke var tilkoblet kondensator i kretsen.

14,4 A/ 16 Ohm	0,44 μF	0,3 μF	0,25 μF	0,24 μF	0,23 μF
Leverandør A					
Vern 1	UK	-	-	-	-
Vern 2	UK	-	-	-	-
Vern 3	UK	-	-	-	-
Leverandør B					
Vern 1	Ikke UK	Ikke UK	Ikke UK	Ikke UK	UK
Vern 2	Ikke UK	Ikke UK	Ikke UK	Ikke UK	UK

Tabell 6.6: Tester om lysbuevernene registrerer lysbue i kretsen da det er et lavpassfilter i kretsen. Vernene fra den ene leverandøren registrerte lysbue i alle forsøkene, mens den andre leverandøren registrerte ikke lysbue ved flere tilfeller

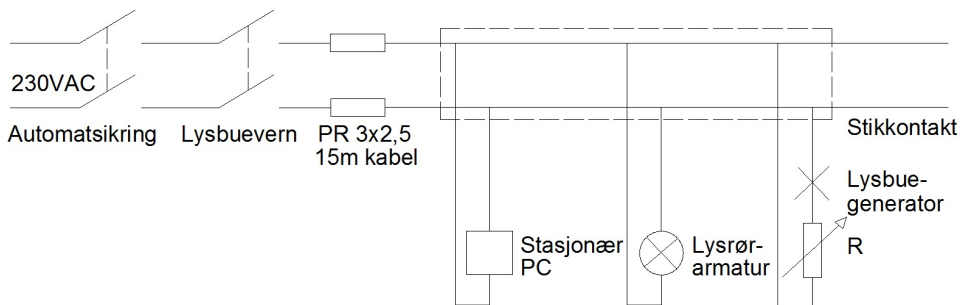
Utifra forsøkene kan det konstateres at vernene fra leverandør B benytter seg av et stort frekvensområde for detektering av serielysbue. Dersom et filter med cut-off frekvens f_c 41,44 kHz eller lavere blir plassert i kretsen vil dette være med å hindre at vernet vil detektere serielysbue i kretsen.

6.8 Test 7- Elektriske apparater med lavpassfilter

Mange vanlige elektriske apparater som blir benyttet daglig i mange husholdninger har lavpassfilter i strømforsyningen, og dette gjelder blant annet PC, TV, stereoanlegg osv. Formålet med dette forsøket var å undersøke om helt vanlige elektriske apparater har innvirkning på lysbuevernet, dersom det oppstår serielysbue i kretsen. Figur 6.39 viser oppsettet på forsøket.

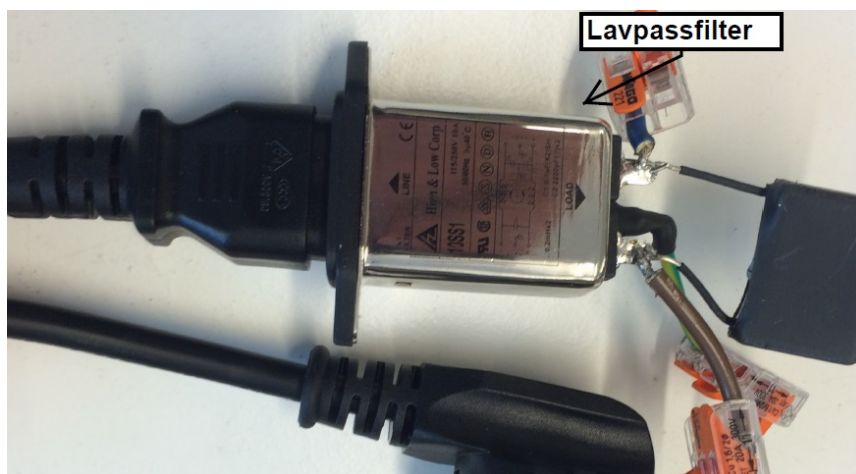
Hensikten med forsøket var at det skulle ligne en helt vanlig sikringskurs i en boliginstallasjon med vanlige belastninger. Strømkursen er beskyttet med 16 A automatsikring etterfulgt med lysbuevern. Etter vernene var det tilkoblet en 15 meter kabel, PR 3x2,5 mm², og på enden av kablen var det koblet en stikkontakt. De elektriske apparatene som ble testet ble tilkoblet stikkontakten. Det ble benyttet den samme lysbuegeneratoren etterfulgt med en variabel motstand slik som ble gjort på forsøkene i kapittel 6.7. Også i disse forsøkene ble det benyttet kobber og messing elektrode på lysbuegeneratoren.

RF strøm som blir produsert av serielysbue blir påvirket av kablene i kretsen[5]. Kabelens kapasitans og induktans påvirker størrelsen på RF strøm, spesielt strø kapasitansen langs kablen har en stor effekt[5]. Impedansen i kretsen er avhengig av valg av type kabel, lengde og belastning[5]. Lysbuevernene kan bli påvirket av både kablen i kretsen og andre elektriske apparater som er tilkoblet kursen. Det ble også testet med en annen type kabel i et av forsøkene, og det ble valgt en PR 2x1,5 mm² med en lengde på 8 meter. I den siste forsøksserien ble stikkontakten koblet rett etter lysbuevernet.



Figur 6.39: Formålet med testen er å sjekke om lysbuevernet registrerer lysbue når det er andre ordinære belastninger i en kurs hvor det har oppstått serielysbue

I det første forsøket har det blitt valgt å benytte strømforsyningen til en stasjonær PC som belastning og den variable motstanden etter lysbuegeneratoren. Den variable motstanden ble stilt til 23Ω . Strømforsyningen er fra en eldre stasjonær PC, og er hentet fra E-avfall sorteringen på elektrobygget på NTNU. Merke til strømforsyningen er CHIEFTEC og modellen heter HPC-340-201 ATX121V. I dette forsøket har det blitt gjort en forenkling, lavpassfiltret er plassert rett etter tilkoblingen til strømforsyningen og alt annet fra forsyningen fjernet unntatt lavpassfilteret, og det er vist på figur 6.40.

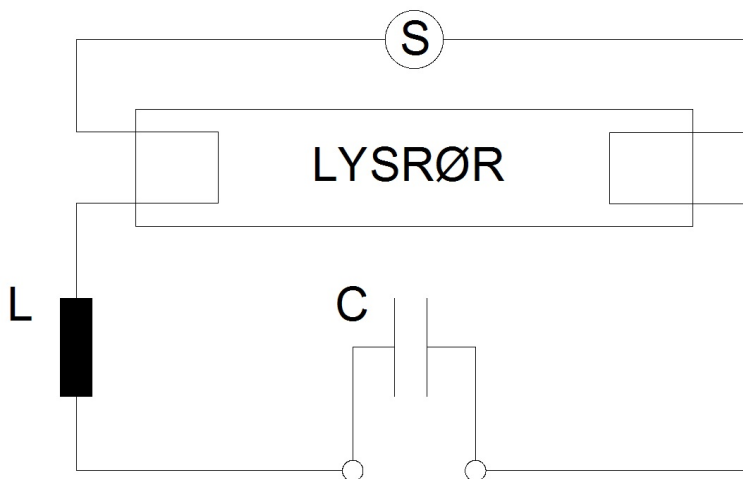


Figur 6.40: Lavpassfilteret til strømforsyningen til en helt ordinær stasjonær PC

I det andre forsøket har det blitt tilkoblet en lysrørarmatur i kretsen. Strømforsyningen til den stasjonære PC ble frakoblet fra stikkontakten. Lysrørarmaturen som ble benyttet i forsøket har konvensjonell forkoblingsutstyr. Figur 6.41 viser lysrørkoblingen. Dette har

vært den mest vanlige forkoblingen til lysrør inntil elektronisk forkobling tok over markedet. Lysrørarmaturer blir benyttet en del i boliger, hvis den blir brukt er den ofte benyttet i kjøkkenet og badet, både i tak og under overskap[46]. I tillegg blir den ofte benyttet i boder og garasjer. Lysrørarmatur blir mest brukt i offentlige bygg som skoler, kontorer og forretninger[46]. Som nevnt tidligere er elektronisk forkobling mest brukt i nye installasjoner, men det antas at det fortsatt er mange eldre installasjoner som har lysrørarmatur med konvensjonell forkobling.

Som figur 6.41 viser er lysrøret koblet i serie med en spole, som har til oppgave å gi tilstrekkelig høy spenning til tenning av lysrøret og den fungerer som strømbegrenser under drift[43]. Denne koblingen kalles induktiv kobling eller L-kobling[43]. Med kun spole tilkoblet i kretsen vil dette medføre til en lavere effektfaktor for lysrørarmaturen, og dette vil føre til at lysrørarmaturen krever større strøm[43]. Dette kan også medføre til flere unødvendige sikringskurser i anlegget. Det er derfor nødvendig med en kondensator over nettklemmene for å kompensere og dermed få en høyere effektfaktor for lysrørarmaturen[43].



Figur 6.41: Koblingsskjema for lysrør med konvensjonell forkobling

Lysrørarmaturen kan også virke som et filter på strømkursen, da den har konvensjonell forkoblingsutstyr med fasekompensering. I forsøkene ble det også her benyttet lysbuegeneratoren og den variable motstanden ble stilt til 23Ω . I forsøket med lysrørarmatur ble det utført to forsøksserier, 15 meter PR $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ kabel mellom lysbuevernet og stikkkontakten og lysrørarmaturen koblet rett etter lysbuevernet.

6.8.1 Resultater

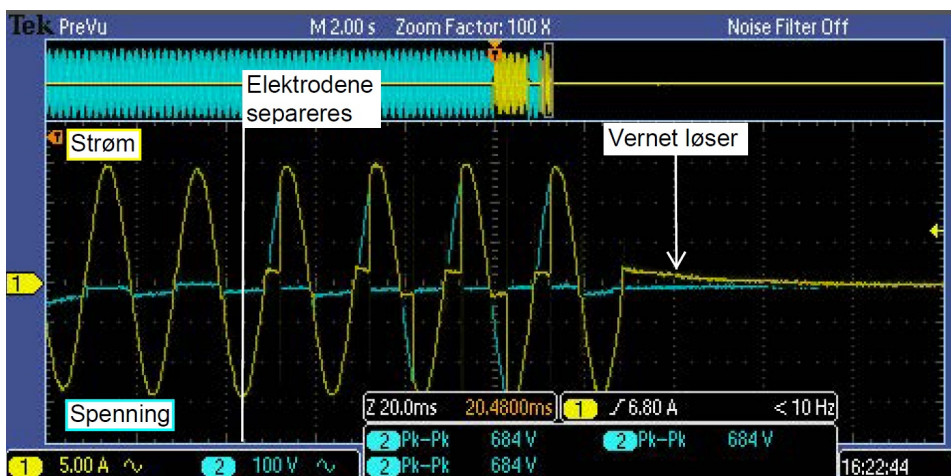
Forsøkene med strømforsyning til PC tilkoblet i kretsen resulterte til at flere av lysbuevernene ikke detekterte lysbue, da det ble laget lysbuer mellom elektrodene på lysbuegeneratoren. Det ble utført flere repeterende forsøk på vernene som ikke reagerte på lysbue for å konstatere at de ikke oppdaget lysbuen i strømkursen.

Alle lysbuevernene fra leverandør A reagerte på lysbuen som ble laget av lysbuegeneratoren og koblet bort strømmen fra kretsen. Lysbuevernene hadde ingen problemer med å detektere lysbuer i det antatt verste tilfellet hvor det var 15 meter kabel mellom lysbuegeneratoren og vernet. Lysbuevernene fra leverandør B hadde derimot problemer med å registrere lysbuer. Da strømforsyningen til den stasjonære PC var tilkoblet stikkkontakten koblet ikke lysbuevernene fra leverandør B bort strømmen da det oppsto lysbuer mellom elektrodene. Lysbuevernene ga ikke utkobling i noen av oppsettene med ulike typer kabler og heller ikke da strømforsyningen var tilkoblet rett etter lysbuevernene. Det var også leverandør B som ikke registrerte lysbuer i forsøkene i kapittel 6.7. Tabell 6.7 viser resultatene hvor det er en stasjonær PC tilkoblet i kretsen og ulike typer kabler mellom lysbuevernet og stikkkontakten.

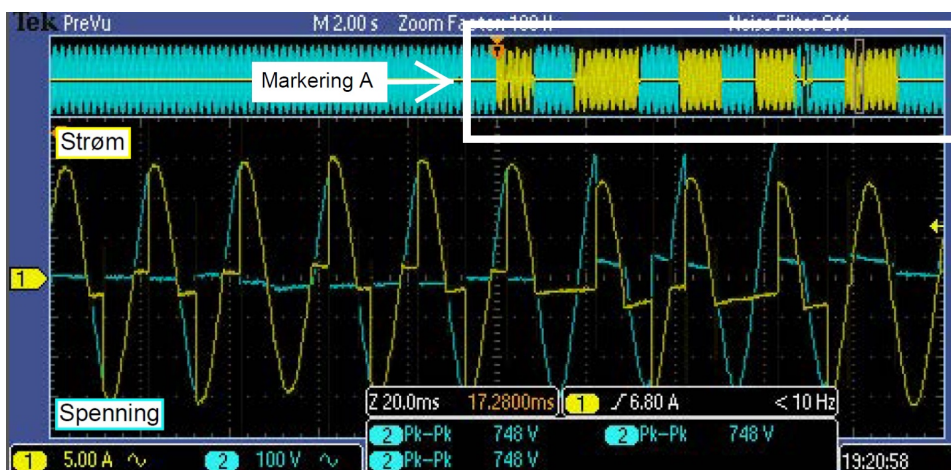
10,0 A/ 23 Ohm	15 m kabel+PC	8 m kabel+PC	Kun PC
Leverandør A			
Vern 1	Utkobling	Utkobling	Utkobling
Vern 2	Utkobling	Utkobling	Utkobling
Vern 3	Utkobling	Utkobling	Utkobling
Leverandør B			
Vern 1	Ikke utkobling	Ikke utkobling	Ikke utkobling
Vern 2	Ikke utkobling	Ikke utkobling	Ikke utkobling

Tabell 6.7: Tester om lysbuevernene registrerer lysbue i kursen da det er en stasjonær PC tilkoblet i kretsen. Vernene fra den ene leverandøren registrerte lysbue i alle forsøkene, mens den andre leverandøren registrerte ikke lysbue ved noen av tilfellene

Figur 6.42 viser strøm- og spenningsforløpet i det antatt vanskeligste tilfellet hvor det ene lysbuevernet fra leverandør A kobler bort strømmen fra kretsen hurtig. Oscilloskopbilde viser tilfelle hvor det var 15 meter kabel mellom lysbuevernet og stikkkontakten. Før markeringen "Elektrodene separeres" på figuren er elektrodene ført sammen og det flyter strøm i kretsen, og det vises med en ren sinus strøm. Da elektrodene er ført sammen er det minimalt med spenningsfall over elektrodene. Deretter separeres elektrodene fra hverandre og det oppstår da en lysbue mellom elektrodene. På figuren vises det med den karakteristiske skulderen ved nullgjennomgangen for strømmen, og da lysbuen slukker bygger det seg opp en spenning mellom elektrodene. Dette gjentar seg 4 perioder og deretter kobler lysbuevernet bort strømmen fra kretsen.



Figur 6.42: Lysbuevernet fra leverandør A reagerer på lysbue og kobler bort strømmen fra kretsen



Figur 6.43: Lysbuevernet fra leverandør B reagerer ikke på lysbue og kobler ikke bort strømmen fra kretsen

Figur 6.43 viser et av forsøkene hvor lysbuevernene fra leverandør B ikke reagerer på lysbue som oppsto mellom elektrodene på lysbuegeneratoren. Oscilloskopbilde viser at lysbuen hadde en varighet på ca 8-10 perioder for strømmen uten at lysbuevernene reagerer. Sammenlignet med forsøket vist på figur 6.42 trengte lysbuevernet fra leverandør A 4 perioder for å detektere lysbue og bryte strømmen i kretsen. I flere av forsøkene med lysbuevernene fra leverandør B, hadde lysbuen en varighet på minst 20 perioder uten at lysbuevernene detekterte lysbue. Varigheten på lysbuen er ikke så lenge mellom kobber og

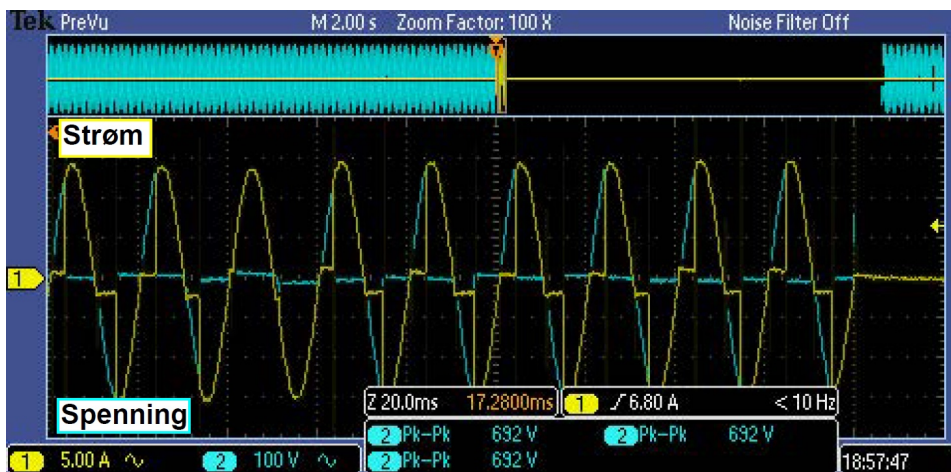
messing elektrodene, og da lysbuen slukket måtte avstanden mellom elektrodene justeres for å få dannet en ny lysbue. “Markering A” på figuren viser at elektrodene jevnlig blir justert for å få dannet nye lysbuer. Da det er kun blå kurver viser det at elektrodene er separert og det er stort spenningsfall over elektrodene. Lysbuene oppstår i de gule kurvene. Hvert forsøk hadde en varighet på minst 30 sekunder, før overflaten på enden av elektrodene hadde erodert slik at det var vanskelig å danne nye lysbuer. Forsøket ble også her gjentatt tre ganger for å konstatere at lysbuevernene fra leverandør B ikke reagerte på lysbue da det var tilkoblet en stasjonær PC på strømkursen.

Forsøkene med lysrørarmatur tilkoblet i kretsen resulterte også til at flere av lysbuevernene ikke detekterte lysbue, da det ble laget lysbuer mellom elektrodene på lysbuegeneratoren. Lysbuevernene fra leverandør A koblet bort strømmen også i dette tilfellet da det oppsto serielysbue i kretsen. Lysbuevernene fra leverandør B slet også her med å detektere lysbuer. Sammenlignet med resultatene fra tabell 6.7 med strømforsyning, klarte det ene vernet fra leverandør B å detektere lysbue da lysrørarmaturen var tilkoblet rett etter lysbuevernet. Da det var kabel mellom lysbuevernet og stikkkontakten derimot, reagerte ikke det samme lysbuevernet da det ble laget lysbuer mellom elektrodene. Tabell 6.8 viser resultatene da det var tilkoblet lysrørarmatur i kretsen med de to forskjellige forsøksriene.

10,0 A/ 23 Ohm	15 m kabel+lysrørarmatur	Kun lysrørarmatur
Leverandør A		
Vern 1	Utkobling	Utkobling
Vern 2	Utkobling	Utkobling
Vern 3	Utkobling	Utkobling
Leverandør B		
Vern 1	Ikke utkobling	Utkobling
Vern 2	Ikke utkobling	Ikke utkobling

Tabell 6.8: Tester om lysbuevernene registrerer lysbue i strømkursen da det er tilkoblet lysrørarmatur. Vernene fra den ene leverandøren registrerte lysbue i alle forsøkene, mens den andre leverandøren registrerte ikke lysbue ved de fleste tilfellene

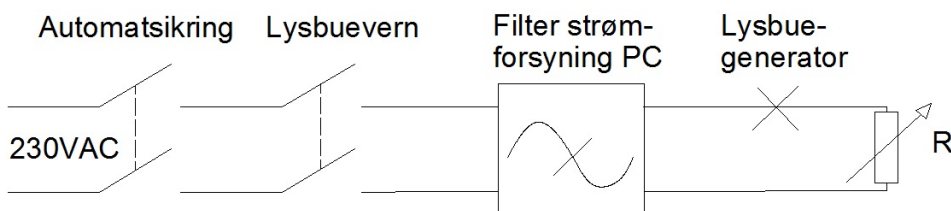
Figur 6.44 viser strøm- og spenningsforløp fra da lysbuevernet fra leverandør B detekterer lysbue i kretsen. Hendelsen er da lysrørarmaturen er koblet etter lysbuevernet. Figuren viser at lysbuen har en varighet på 8-10 perioder før lysbuevernet detekterer og kobler bort strømmen fra kretsen. Tidligere erfaringer fra andre forsøk i denne oppgaven, hadde ofte lysbuen en varighet på 4-5 perioder før lysbuevernet kobler bort strømmen fra kretsen. Utifra oscilloskopbilde virker det som lysbuevernet er påvirket av lysrørarmaturen, men greier å reagere da det ble lagd lysbue i strømkursen.



Figur 6.44: Lysbuevernet reagerer på lysbue og kobler bort strømmen fra kretsen

Figur 3.2 viser ulike typer apparater som har vært involvert i boligbranner i Norge i tidsrommet 2009-2014. 2 % av alle bolig brannene skyldes audio, video og data. Dette tilsvarer i gjennomsnitt to branner i året. Audio, video og data er elektriske apparater som har strømforsyning hvor det er lavpassfilter. I statistikkdataene til DSB er det ikke beskrevet hva som var brannårsaken. Hvis man antar at 37 % av boligbrannene hadde serielysbue som brannårsak slik som vist på figur 3.1, tilsvarer det at underkant av fire branner var årsaken serielysbue i apparatene audio, video og data i tidsrommet 2009-2014.

Hvis antagelsene med statistikkdataene stemmer er det ikke mange branner som skyldes serielysbue i audio, video og data apparater. Siden det ikke skulle så mange omkoblinger til for å undersøke om lysbuevernene kunne detekttere lysbuer som oppsto etter filteret til PC forsyningen, ble dette utført. Figur 6.45 viser oppsettet på forsøket.



Figur 6.45: Formålet med forsøket er å undersøke om lysbuevernet registrerte serielysbue inni apparatet. Det antas at serielysbuen oppsto etter filteret til strømforsyningen

Hensikten var å undersøke om lysbuevernene håndterte serielysbue som hadde oppstått inni apparatet og etter lavpassfilteret i strømforsyningen. Merkeskiltet til strømforsynin-

gen står det at nominell strøm til forsyningen er 5 A. Det ble likevel valgt en strømstyrke på 10 A. Dette ble gjort fordi det var vanskeligere å lage lysbuer med kobber og messing elektrodene da det var såpass lav strømstyrke som 5 A. Filteret til strømforsyningen var det merket at maksimal strømstyrke var 10 A.

Tabell 6.9 viser resultatene fra forsøket. Lysbuevernene fra leverandør B reagerte heller ikke på lysbuene i dette forsøket, noe som var forventet etter resultatene fra de andre forsøkene. Det ene lysbuevernet fra leverandør A derimot reagerte heller ikke på lysbuene som var laget etter filteret til strømforsyningen. I alle andre forsøkene hadde alle vernene fra leverandør A reagert da det oppsto lysbuer i kretsen med filter. Det ble utført flere repeterende forsøk for å konstatere at vern 1 fra leverandør A ikke koblet ut strømmen fra kretsen da det ble laget lysbuer i kretsen.

10,0 A/ 23 Ohm	Strømforsyning PC
Leverandør A	
Vern 1	Ikke utkobling
Vern 2	Utkobling
Vern 3	Utkobling
Leverandør B	
Vern 1	Ikke utkobling
Vern 2	Ikke utkobling

Tabell 6.9: Undersøker om lysbuevernene registrerer lysbue etter filteret i strømforsyningen til PC. Formålet er å sjekke om vernene håndterer lysbue inni et elektrisk apparat

7 | Diskusjon

7.1 Lysbuevern og deteksjonsprinsipp

Det finnes flere typer seriefeilvern ute i markedet, og vernene baserer seg på ulike deteksjonsprinsipper. Deteksjonsprinsippene kan være at vernene detekterer enten lysbue, varmegang eller ionedeteksjon[11]. I Maren Bjørnbakk sin masteroppgave testet hun to ulike typer seriefeilvern med forskjellig deteksjonsprinsipp, varmeutvikling og lysbue. Bjørnbakk fant ut i sin masteroppgave at vernene hadde både fordeler og ulemper[11]. Fordelen med å detektere varmeutvikling er at vernet vil reagere på glødende forbindelser, noe som ikke lysbuevern håndterer før det blir brudd i punktet hvor det er glødende forbindelse[2]. Ved å benytte seriefeilvern som detekterer varmeutvikling, må det kobles en sensor på alle koblingspunkter i en boliginstallasjon[11][10]. I denne oppgaven var det ønskelig å teste kun lysbuevernet, og foreta andre type forsøk med lysbuevernet enn det Bjørnbakk gjennomførte. Mange av forsøkene Bjørnbakk gjennomførte var fra lysbuestandard. En klar fordel med lysbuevernet er at det kreves kun en enhet på strømkursen og den vil beskytte mot alle lysbuer som kan oppstå i en strømkursen, også utenfor koblingspunktene.

Designerne av lysbuevern benytter RF strøm fra lysbuer som deteksjonsprinsipp for serie-lysue [5]. Det blir generert støy når det er lysbue i kretsen og ved hver nullgjennomgang for strømmen, vil det ikke bli generert støy[5]. For parallelllysue vil vernet undersøke strømmen[33]. For at lysbuevernet skal detektere en parallelllysue må strømmen være over en forhåndsdefinert verdi i minst 5 halvperioder[33][32]. Mer detaljert beskrivelse angående deteksjonsprinsipp er beskrevet i kapittel 4. For at lysbuevernene skal innfri lysbuestandarden må den detektere serie-, parallell- og jordfeillysue[36].

Det er flere utfordringer knyttet til deteksjonsprinsippet for lysbuevern, og det er blant annet å skille mellom belastninger som produserer RF strøm under normale forhold og en farlig lysbue [5]. Noen belastninger produserer små lysbuer og gnisninger, eksempler er lysbryter, børstene til en motor eller lysstoffrør[5]. Dersom lysbuevernet feildetekterer, vil den tro at det er en serielysue i kretsen. I tillegg har lysbuevernet utfordringer i forhold til metoden for detektering av parallelllysue[32], der den ser på strømverdien. Lysbue-

vernet skiller en parallelllysbue og belastning med stor startstrøm med varigheten på den store startstrømmen og strømkarakteristikken[32]. Utfordrende belastninger for lysbuevernet kan være halogenglødelampe, kompressor og støvsuger[32].

De lysbuevernene som har blitt testet i denne oppgaven har enten en bredde på 18 mm (1 modul) eller 36 mm (2 modul). Disse vernene skal kobles etter automatsikringene på strømkursen. Altså i samme sikringsskap. Dersom det skal bli krav om lysbuevern i nye elektriske anlegg i boliger eller der anlegg skal modifiseres, kan det være vanskelig å få plass til disse vernene i sikringsskapet. Dersom det blir benyttet lysbuevernene som har en bredde på 36 mm, er det tvilsomt om det faktisk er plass til det i sikringsskapet. Hvis det skal bli et krav om lysbuevern i boliginstallasjoner bør vernene endres fra dagens fysiske design.

En mulighet kan være at det blir utviklet et lysbuevern som kan monteres etter hovedsikringen i sikringsskapet. Det blir da montert kun ett lysbuevern i sikringsskapet, slik som det er med overspenningsvern. Lysbuevernet vil da beskytte mot alle lysbuer som kan oppstå i hele boliginstallasjonen. Fordelen med denne løsningen er at det er større sannsynlighet at det blir plass til lysbuevern i de fleste sikringsskap og en billigere løsning for boligeierne. Ulempen med løsningen er forsyningssikkerheten. Det er uheldig dersom det oppstår feildetektering og strømmen i hele boliginstallasjonen kobles bort. I tillegg er det en svakhet med deteksjonsprinsippet til lysbuevernet i forhold til større strømmer. Ved økende strømmer i kretsen vil det bli produsert lite RF strømmer fra lysbuen[5]. Figur 4.3 viser at dersom det blir større strømmer enn 30 A, vil RF strømmen synke betraktelig og det blir vanskeligere for lysbuevernet å detektere serielysbue. Med dagens lysbuevernteologi kan det være vanskelig å ha kun ett lysbuevern i sikringsskapet som beskytter mot alle lysbuer i boliginstallasjonen, siden hovedsikringen pleier å være over 30 A.

En annen mulighet er å integrere lysbuevernet inn i automatsikringen. Siden det ble krav om strømstyrt jordfeilvern i NEK 400:2006 (411.3.3)[38], har vernleverandørene klart å kombinere overstrøms- og jordfeilvern i samme enhet, såkalte jordfeilautomater[24]. Det kan være at leverandørene klarer å integrere lysbuevern også. Dermed er det overbelastning-, kortslutning-, jordfeil- og lysbuevern i en felles enhet. Alle strømkurser i en boliginstallasjon vil da ha lysbuevern. Med dagens teknologi har lysbuevernene to sensorer, analoge komponenter og en mikrokontroller[34]. En utfordringen for leverandørene kan være å klare å integrere lysbuevern funksjonen inn i automatsikringen og opprettholde den fysiske størrelsen på enheten, som er to moduler.

Utifra forsøkene utført i denne masteroppgaven har noen av lysbuevernene feildetektert og antatt at det har oppstått en parallelllysbue i kretsen. I de testene ble det foretatt forsøk med belastninger som gir stor startstrøm. Forberedende forsøkene som ble utført i denne oppgaven ble det utført andre type forsøk. I de forsøkene ble det utført forsøk med belastninger som genererer støy som minner om serielysbue. Belastningene som er beskrevet i kapittel 5.2.2 har blitt testet. Det har blitt valgt å ikke presentere disse resultatene i denne mas-

teroppgaven, siden Maren Bjørnbakk utførte de samme forsøkene i 2015[11]. Hun utførte også flere andre forsøk der flere typer belastninger ble testet samtidig. Ingen av forsøkene som ble utført av Bjørnbakk eller de forberedende forsøkene ga feildeteksjon. I en telefonsamtale med Bjørnbakk, nevnte hun at strykejern også kan gi feildeteksjon, på grunn av at lysbuevernet antok at var en lysbue. Det er antatt at feildeteksjonen var på grunn av at strykejernet har en termostat. Strykejern og andre belastninger med termostat ble testet og ingen av disse belastningene ga feildeteksjon. Med de forsøkene som Bjørnbakk og de forberedende forsøkene, kan det antas at lysbuevernene sjelden gir feildeteksjon på grunn av at vernene antar at det er serielysbue.

En mulighet for å redusere antall feildeteksjoner for lysbuevern kan være å utelatte parallelllysbue deteksjonsfunksjonen til vernet. DSB brannstatistikk viser at 3 % av boligbrannene med elektrisk årsak er forårsaket av parallelllysbue[1]. Med de gode vernene som selges idag, vil automatsikringen detektere mange av tilfellene der det har oppstått parallelllysbue. Siden strømnivået til en parallelllysbue er på grensesjiktet mellom der det er uklart om automatsikringen løser elektromagnetisk eller termisk, kan det ta lenger tid før automatsikringen løser. Dette kan være et argument for å beholde parallelllysbue-funksjonen til lysbuevernet. Argument for å fjerne denne funksjonen er at de fleste tilfeller hvor det oppsto brann forårsaket av lysbue, var det serielysbue som var årsaken til brannen. Dersom lysbuevernet gir mange feildeteksjoner vil dette føre til at omdømme til produktet blir svekket og at folk mister tilliten til produktet. Det er viktig at lysbuevernet ikke gir feildeteksjoner og er god på deteksjon av serielysbue, som forårsaker flest branner.

7.2 Testoppsett med svake kontaktforbindelser

Målet med flere av testoppsettene i denne oppgaven var å finne tilfeller som kan oppstå i en boliginstallasjon, hvor det oppstår serielysbue. Sannsynligheten for at det skal oppstå brann i installasjonsmateriell er lav. Årsaken til at det likevel oppstår mange branner hvert år på grunn av installasjonsmateriell, er den store mengden av slikt utstyr[8]. I lysbuestandarden er det tre forskjellige forsøk som simulerer serielysbue. Målet med disse tre testene er å undersøke om lysbuevernene håndterer om det plutselig oppstår en serielysbue i kretsen, korrekt operasjon dersom det settes inn en belastning med serielysbue eller at det tilføres strøm til en krets med serielysbue. I alle disse forsøkene blir det benyttet en karbonisert kabelprøve. Figur 5.3 viser kabelprøven og figur 5.5 viser testoppsettet for de tre forsøkene beskrevet i lysbuestandarden.

Alle lysbuevernene som selges idag er testet i henhold til de tre serielysbuetestene som er beskrevet i lysbuestandarden. Det er derfor liten sannsynlighet at noen av vernene som testes vil feile under noen av disse testene. I tillegg utførte Maren Bjørnbakk de tre testene fra lysbuestandarden i hennes masteroppgave uten av lysbuevernene feilet [11]. Det er ønskelig å benytte andre typer testoppsett som simulerer serielysbue i en boliginstallasjon. Med andre typer testoppsett kan man finne ut om lysbuevernene kun er egnet for å detek-

tere lysbuer som er med i lysbuestandarden eller om vernene tilfredsstillende alle typer feil som kan oppstå i en boliginstallasjon.

Babrauskas mener at svake kontaktforbindelser er den årsaken som forårsaker flest branner som skyldes elektrisitet, mens lysbue på tvers av et karbonisert spor i isolasjonen mellom to ledere er den andre enkeltårsaken som forårsaker flest branner [4]. I lysbuestandarden er det ingen tester som simulerer svak kontaktforbindelse. Det er kun forsøk med karbonisert spor i isolasjonen. Fordelen med de tre forsøkene som simulerer serielysbue med karbonisert spor i isolasjonen, er at forsøkene er enkle og pålitelig. Forsøkene kan gjentas uten at det er noen feilkilder i testoppsettet. Største feilkilden, den karboniserte kabelprøven testes før den skal benyttes i testoppsettet. For å kontrollere at det er karbonisert spor mellom isolasjonen til lederne, skal en 100 W glødelampe begynne å gløde dersom det blir påsatt spenning. En annen fordel med seriefeiltestene fra lysbuestandarden er at varigheten på alle de tre forsøkene er kort. Varigheten på hvert forsøk antas å være noen få sekunder.

Det er vanskeligere å finne et enkel og pålitelig testoppsett som skal simulere en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon. Oftest tar det mange år før det oppstår seriefeil i en svak kontaktforbindelse, og årsaken kan det være at kontaktforbindelsen er svakt tilskrudd, deler av lederne er skadet, det er høy strømbelastning i strømkursen osv. I denne masteroppgaven har det ikke blitt funnet en enkel og pålitelig testoppsett som simulerer en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon. Dette måtte fremprovoseres med å danne oksidbelegg på kontaktforbindelsen, ca 20-25 % av kordellene på lederen var fjernet, høy strømbelastning og at kontaktforbindelsen var svakt tilskrudd. Ved å utføre dette, tok det fortsatt lang tid før det oppsto lysbue i kretsen. Flere av forsøkene som ble utført med svak kontaktforbindelse hadde en varighet på ca 20-25 dager. I forhold til serielysbue forsøkene beskrevet i lysbuestandarden, er dette forsøk som aldri kunne ha vært i en teststandard. Mest på grunn av varigheten og de feilkildene som er i testoppsettet.

Svak kontaktforbindelse forårsaker økt motstand, og dette vil forårsake oppvarming av koblingspunktet. Det oppstår da en såkalt progressiv feil[2]. Høy motstand bygger seg opp over tid, og dette vil føre til lokal oppvarming på koblingspunktet, noe som fremmer oksidering og siging av metallet. Oksidbelegget leder også strøm, og har en vesentlig høyere motstand enn kobberlederen[2]. Dette vil resultere i enda høyere temperatur på koblingspunktet. Oksidbelegget på kobberlederne og koblingspunktet er fremprovosert i de forsøkene som har blitt utført i denne oppgaven. Det ble dannet oksidbelegg på installasjonsmateriellet ved en elektrolyseprosess, der installasjonsmateriellet ble plassert nedi et kar med saltvann, som var en del av en lukket strømkrets. Det ble da dannet oksidbelegg på installasjonsmateriellet etter kun få arbeidsdager. Dette var en enkel metode for å få dannet oksidbelegg på installasjonsmateriellet, og denne prosessen krevde kun saltvann, vannkar og 2 elektroder som tilkobles en DC-kilde. Mer detaljert beskrivelser angående denne prosessen er beskrevet i kapittel 6.1.4. Denne metoden kunne utføres alene uten ha store kunnskaper innen kjemi. Marit-Helen Ese fra SINTEF Energi, mente at det heller ikke var noe stor fare med elektrolyseprosessen. Det blir dannet en klogass i denne prosessen, men Ese mente at konsentrasjonen av gassen ikke var noe farligere enn å være i et

offentlig svømmebasseng med klorvann.

Metodene som ble benyttet for å fremprovosere lysbue i kontaktforbindelsen i denne masteroppgaven antas til å være den enkleste og mest effektive metoden for å teste alle lysbuevernene, innenfor den tiden som var til rådighet. Sannsynligheten at alle disse påvirkningene inntreffer samtidig er liten i en boliginstallasjon. Likevel var motivet å undersøke om lysbuevernene detekterer lysbuer fra en svak kontaktforbindelse. Laboratoriet som ble benyttet i forsøkene var det kun lov til å utføre forsøk fra mandag til fredag, klokken 08.00-16.00. Man måtte alltid være tilstede under forsøkene på grunn av antennesefare.

Realisme i forhold til virkeligheten i forsøkene med svak kontaktforbindelse, kan være hvordan den svake kontaktforbindelsen ble fremprovosert. Uansett var målet i denne oppgaven å danne seriefeil i forsøkene med svak kontaktforbindelse. Noen forsøk hadde en varighet på ca 5 dager, mens de lengste forsøkene hadde 20-25 dager. Det kan være forskjell i forsøkene i forhold til oksidbelegget som ble dannet på installasjonsmateriellet, antall kordeller som ble fjernet på lederen og hvor løst kontaktforbindelsen ble tilskrudd. På de fleste forsøkene ble ikke kontaktforbindelsen tilskrudd med momentnøkkel. Kontaktforbindelsen var derfor ikke tilskrudd med samme moment på de forskjellige forsøkene. Det blir ikke da helt de samme forutsetningene på forsøkene, men det er usannsynlig at det blir brukt momentnøkkel i reelle anlegg.

SINTEF NBL AS har også utført flere laboratorieforsøk som simulerer svake kontaktforbindelser som kan oppstå i en boliginstallasjon[8]. De benyttet seg av et brannlaboratorium, der testene kunne pågå døgnet rundt uten at det behøvde å være personell til stede. Formålet til SINTEF var å undersøke brannfare på installasjonsmaterieil. De testet ikke seriefeilvern, slik som det har blitt utført i denne oppgaven. Forsøkene som SINTEF gjennomførte var av lengre varighet, og flere av forsøkene hadde en varighet på opptil 20 dager. De måtte også fremprovosere for å få raskere resultater, og det ble gjort ved å ha løs kontaktforbindelse, høy strømbelastning, vibrasjoner, hyppige inn- og utkoblinger, spenningsstøt osv. SINTEF utførte ca 15 forskjellige tester, og i testene som ble utført med installasjonsmaterialet var fremprovosert forskjellig. SINTEF utførte mer realistisk forsøk med feil som kan oppstå i installasjonsmaterialet til boliger, enn testene som har blitt utført i denne oppgaven. I forsøkene til SINTEF ble det installasjonsmateriellet koblet på realistiske veggkonstruksjoner med isolasjon og brennbar veggkledning. All det elektriske arbeidet antas at ble utført forskriftsmessig i de forskjellige forsøkene.

Det er antatt at den metoden som var mest effektiv til å få lysbuer i kontaktforbindelsen i denne oppgaven var å danne oksidbelegg på lederen og koblingspunktet før forsøkene startet. Oksidbelegg ble dannet underveis på installasjonsmateriellet i forsøkene til SINTEF, da det var stor varmeutvikling i koblingspunktet. Forsøkene som SINTEF utførte var heller ikke enkle og pålitelig. Det er usannsynlig at det blir de samme forutsetninger på hvert forsøk, og derfor er de uegnet å ha i lysbuestandarden. Mulig grunn til at det ikke finnes tester i lysbuestandarden som simulerer svak kontaktforbindelse er at det er vanskelig å

finne en test som er enkel og pålitelig. Varigheten på testen er også en vesentlig faktor for at den skal være med i lysbuestandarden. I de forskjellige testene med serielysbue på lysbuestandarden skal lysbuevernene testes fire ganger. Dersom det skulle ha blitt gjennomført med det samme testoppsettet som benyttet i denne oppgaven, da hadde et forsøk for et lysbuevern tatt 2 måneder. Forutsatt at testene står på ca 35-40 timer i uka og at det ikke blir gjennomført noen parallelle forsøk med flere lysbuevern fra samme leverandør.

7.3 Svake kontaktforbindelser

Første forsøk skulle simulere en svak kontaktforbindelse i en boliginstallasjon. To ledere ble koblet sammen i et koblingspunkt. Dette forsøket kan simulere alle typer kontaktforbindelser i en boliginstallasjon. Annet eksempel på testoppsett kunne ha vært kontaktforbindelsen mellom en leder og en stikkontakt. For å fremprovosere serielysbue i testoppsettet ble det dannet oksidbelegg, mange av kordellene på lederne ble fjernet, høy strømsstyrke og kontaktforbindelsen ble svakt tilskrudd.

Etter 3-4 dager var det tydelig at motstanden på koblingspunktet hadde økt betraktelig. Dette forårsaket oppvarming av koblingspunktet og isolasjonen til lederne begynte å smelte og forkulle. Etterhvert begynte det å vokse en kobberoksidbro mellom lederne i koblingspunktet og lederne ble sammenhengende. Figur 6.7 viser et eksempel på kobberoksidbro som har blitt dannet mellom lederne. Kobberoksidbroen var ikke enkel å se i forsøkene siden den var inni koblingspunktet. I forhold til ettersyn av elektriske anlegg kan det være vanskelig å utføre visuelt ettersyn av anlegg, i forhold til å se etter svake kontaktforbindelser, siden ofte oksidbroen er skjult i kontaktforbindelsen. Slike ettersyn er muligens ikke relevant i boliginstallasjoner, men kan være relevant ved ettersyn i elektriske anlegg i industrien. Det hjelper ikke å bare etterskru alle kontaktforbindelser, siden oksidbroen fortsatt vil være der. Siden det blir utviklet mye varme i svake kontaktforbindelser bør det benyttes et termograferingskamera.

I alle fem forsøkene som ble utført med dette testoppsettet oppsto det serielysbue i koblingspunktet, og alle lysbuevernene detekterte serielysbue og koblet bort strømmen fra kretsen. Det antas at grunnen til at det oppsto lysbue i koblingspunktet var at kobberoksidbroen smeltet, og det ble da dannet et fysisk gap i kontaktforbindelsen. For at kobberoksidbroen skal smelte må det være en meget høy temperatur i koblingspunktet. Dersom smeltemperaturen til kobberoksidbroen som Sletbak m.fl målte, stemmer, var temperaturen 1200-1300 °C på koblingspunktet [17]. Rett før det oppsto serielysbue i koblingspunktet, smeltet isolasjonen rundt koblingspunktet og dette vises på figur 6.6. Det antas at lufta inneholdt ioniserte gasser fra den smeltede plastikkisolasjonen til koblingspunktet da det oppsto serielysbue, og det kan ha bidratt til at det oppsto en kraftig og vedvarende lysbue. Ionisert luft er en av grunnene som Babrauskas mener er årsakene til at det oppstår lysbue i elektriske anlegg. Dette er mer beskrevet i kapittel 2.1.2.

Utifra dette forsøket kan det virke som om hypotesen til Stensaas stemmer[2]. Han mener at det er sannsynligheten at brannene i DSB brannstatistikk som har fått serielysbue som brannårsak, egentlig er forårsaket av glødende forbindelser. Det var glødende forbindelse i koblingspunktet før kobberoksidbroen smeltet. Det er utført for få forsøk i denne masteroppgaven for å konstatere antagelsene om at kobberoksidbroen som smeltet var årsaken til lysbuen. Det må utføres grundigere og mer detaljerte forsøk. Flere forsøk med svak kontaktforbindelse mellom to ledere var det ikke tid til i denne oppgaven, det var derfor av interesse å undersøke glødende forbindelser med en annen type testoppsett. Det måtte finnes et annet testoppsett hvor det var enkelt å se kontaktforbindelsen. Det kunne ikke være en kontaktforbindelse som skjulte kobberoksidbroen, og varigheten på forsøkene måtte reduseres for å få tid til å gjennomføre flere forsøk på alle lysbuevernene.

Det ble valgt å benytte et testoppsett som Korinek m.fl også har benyttet for å undersøke glødende forbindelser[41]. Korinek m.fl fant ut det var lettest å danne glødende forbindelser mellom metallene stål og kobber. Det ble benyttet en stålskrue og kobberleder i dette forsøket, og konfigurasjonen vises på figur 6.9. Fremprovosere glødende forbindelse ble utført ved å legge kobberlederen på skruehodet uten noe kontaktkraft. I tillegg ble det dannet oksidbelegg på skruen og kobberlederen med elektrolyseprosessen. Strømstyrken ble satt til 14-16 A på forsøkene. Fordelen med dette testoppsettet var at det var enkelt å se på metalloksidbroen som ble dannet mellom skruen og kobberlederen. Figur 6.14 viser noen tilfeller hvor koblingsforbindelsen var glødende. I alle forsøkene begynte oksidbroen å gløde først, etterhvert begynte også kobberlederen og skruen å gløde. Varmeste punktet på kontaktforbindelsen var oksidbroen. Oksidbroen hadde alltid en lysere farge da den glødet, enn kobberlederen og skruen. Underveis i forsøkene ble oksidbroen mellom kobberlederen og skruen større.

Lysbuevernene detekterte ikke glødende forbindelse, noe som var forventet. Med svak kontaktforbindelse mellom skrue og kobberleder tok det kortere tid for å få resultater, og noen av forsøkene hadde ikke lenger varighet enn 4 timer. Det var to forskjellige situasjoner hvor lysbuevernene detekterte serielysbue. Første tilfellet var ved den samme situasjonen som ved det første forsøket, oksidbroen i koblingspunktet smeltet. Oksidbroen mellom kobberlederen og skruen var alltid stor da den smeltet. Da oksidbroen smeltet, oppsto det et fysisk gap mellom skruen og lederen, og det ble dannet en serielysbue. Lysbuen var kraftig og vedvarende slik at lysbuevernene detekterte og koblet bort strømmen fra kretsen. Andre tilfellet hvor lysbuevernet detekterte lysbue, var da belastningen ble skrudd på. Også i dette tilfellet var det dannet en stor oksidbro mellom kobberlederen og skruen da lysbuevernet detekterte lysbue. Da belastningen ble skrudd på, oppsto det små gnisninger i kontaktforbindelsen. Dette utviklet seg til små lysbuer før lysbuevernet detekterte og koblet bort strømmen. Ved flere tilfeller tok det over 10 sekunder før vernet detekterte lysbue. Figur 6.19 viser et tilfelle der belastningen ble skrudd på, og det oppsto lysbue mellom skruen og kobberlederen. Dersom lysbuevernet ikke reagerte på de små lysbuene, avtok disse etterhvert og det ble igjen glødende forbindelse i koblingspunktet. En mulig grunn til at det oppsto gnisninger og små lysbuer kan være at det har blitt dannet små hulrom i kontaktflaten mellom oksidbroen og lederen underveis i forsøkene.

Det ble prøvd å antenne en papirbit da det var glødende forbindelse i kontaktforbindelsen, og papirbiten ble antent hurtig. Det tok kun noen få sekunder før papirbiten var antent og det var en flamme. Er da deteksjonsprinsippet for detektering av seriefeil godt nok i boliginstallasjoner, siden glødende forbindelser antenner papir? Maren Bjørnbakk utførte flere forsøk med antennelse av forskjellige typer isolasjonsmaterialer[11]. Hun fant ut at isolasjonsmaterialene ikke lot seg antenne uten at en lysbue var tilstede, og konkluderte med at brann kun utvikler seg som følge av glødende kontaktforbindelser, dersom forholdene ligger til rette for det. Det betyr at materialer som antenner og forbrennes lett må være tilstede. Alle kontaktforbindelser som er i en boliginstallasjon, vil være tildekket av et isolasjonsmateriale. PVC er det mest vanlige isolasjonsmaterialet som blir benyttet i lavspenningsledninger og kabler[2]. I tillegg blir PVC benyttet i andre elektriske produkter, slik som støpsler, stikkontakter, brytere, koblingsbokser osv[2]. Bjørnbakk nevner at sannsynligheten for antennelse som følge av glødende kontaktforbindelse vurderes til å være liten, siden isolasjonsmaterialene avgir flammehemmende gasser[11]. Flammehemmende gassene vil blande seg med antennebare gasser, og vil føre til for lav tetthet av de antennebare gassene, slik at det ikke kan oppstå antennelse på grunn av glødende forbindelser[11].

Hun nevner videre at det må en gnist eller lysbue til for at de antennelige gassene som er blandet med flammehemmende gasser antenner isolasjonsmaterialer [11]. Dersom dette stemmer, kan det virke som om det er tilstrekkelig med seriefeilvern som detekterer lysbue. Utifra de forsøkene som har blitt utført i denne oppgaven, detekterer vernene lysbue etter at oksidbroen i den glødende forbindelsen har smeltet. I tillegg hvis det elektriske anlegget er utført forskriftsmessig, er det liten sannsynlighet at det er noe lett antennebare materialer i nærheten av noen koblingsforbindelser i boliginstallasjonen. Dersom det oppstår glødende forbindelse i et koblingspunkt i boliginstallasjon vil ikke isolasjonsmaterialet bli antent. Hvis den glødende forbindelser utvikler seg og kobberoksidbroen tilslutt smelter og det oppstår lysbue i koblingspunktet, vil det være sannsynlig at lysbuevernet detekterer lysbuen og koble bort strømmen fra kretsen.

Det ble også utført et annet forsøk med svak kontaktforbindelse, og skulle simulere en svak kontaktforbindelse mellom et støpsele og en stikkontakt i en boliginstallasjon. Figur 6.22 viser testoppsettet. Det oppsto ikke glødende forbindelser i dette forsøket, slik som det gjorde i de to andre forsøkene. I dette forsøket ble det skapt en svak kontaktforbindelse ved at metallet hvor pinnene til støpselet blir plassert nedi stikkontakten ble bøyd med en skrutebrett. Det ble også i dette forsøket dannet et oksidbelegg på stikkontakten med elektrolyseprosessen. For å fremskynde prosessen raskere ble det tilført en vibrasjon på støpselet. Det ble utført flere forsøk uten vibrasjon med dette testoppsettet. Det tok alt for lang tid for å få resultater, og det ble bestemt og ikke utføre flere slike forsøk. I en boliginstallasjon er det uansett ikke unaturlig at det er vibrasjon fra annet utstyr.

I disse forsøkene oppsto det ikke kobberoksidbro, slik som de to andre forsøkene. Allikevel oppsto det stor varmeutvikling også i dette forsøket. Varmeutviklingen kom da det

oppsto gnisninger mellom pinnene til støpselet og metallet til stikkkontakten. Figur 6.23 viser noen av resultatene i forsøket. Da det oppsto lysbuer i kontaktforbindelsen begynte pinnene til støpselet å bli svidd og plastikken til støpselet begynte å ryke. I flere av forsøkene var det gnisninger eller lysbuer i lang tid før lysbuevernene detekterte og koblet bort strømmen fra kretsen. I alle forsøkene som ble utført detektere vernene lysbue.

Testoppsettet var nok ikke helt realistisk i forhold til vanlig boliginstallasjoner. Vibrasjonen som ble tilført støpselet var kraftig og varierende. Ved å gjøre det slik, var det relativt enkelt å skape lysbuer i kretsen og forsøkene tok ikke så lang tid. Det antas at det kan forekomme vibrasjoner mellom støpsel og en stikkontakt i en boliginstallasjon. Bård Almås fra serviceavdelingen på NTNU, mener at spesielt i eldre stikkontakter blir holdekraften mellom pinnene til støpselet og metallet til stikkkontakten svekket. Hvis holdekraften i stikkkontakten blir svekket, er det enkelt å lage vibrasjoner. Dersom det blir skapt mye bevegelser fra annet elektrisk utstyr vil det skape vibrasjoner, slik som på testoppsettet. Typiske eksempler er tørketrommel og vaskemaskin. Siden disse elektriske apparatene ikke blir benyttet hele tiden, kan det ta mange år før det oppstår lysbuer mellom støpselet og stikkkontakten.

7.4 Uønsket utkobling

Lysbuevernene har en svakhet med deteksjonsmetoden for parallelllys buer. Det er flere elektriske apparater og verktøy som kan generere stor startstrøm, slik at vernet antar at det er parallelllys bue og vil koble bort strømmen fra kretsen. I denne oppgaven har det blitt utført to forskjellige forsøk med uønsket utkobling av lysbuevern grunnet stor startstrøm fra belastningen. Støvsuger og halogenglødelampe ble testet. Ingen av lysbuevernene feildetektet da støvsugeren ble testet. Mulig grunn kan være at topp-bunn verdien av strømmen ble hurtig redusert fra den første perioden av strømmen til neste. Eller at strømkaraktistikken som støvsugeren ga ikke lignet nok på en lysbue. Eksempler på strømkaraktistikke til en støvsuger er vist på figur 6.34. Halogenglødelampe derimot, ga feildetektering med alle lysbuevernene fra leverandør A.

Utifra forsøkene viser det seg at lysbuevernene reagerer på to halogenglødelamper på totalt 800 W, som var styrt av en tyristor dimmer. Da halogenglødelampene er styrt av en dimmer vil strømmen brytes i en bestemt del av nettperioden, og den vil ligne på strømkaraktistikken til en lysbue. I test 9.9.5.4 fra lysbuestandard kreves det at lysbuevernene ikke skal reagere på glødelamper med en totaleffekt på 1000 W, som er styrt av en dimmer. Dette er mer beskrevet i kapittel 5.2.2. Den høyeste topp-bunn verdien av startstrømmen med de to glødelampene var målt til ca 65-70 A i forsøkene. Det ble også foretatt forsøk med halogenglødelamper som ikke er styrt av dimmer. I de forsøkene ble den store startstrømmen hurtig redusert fra den ene perioden til neste. De forsøkene ga ingen feildeteksjon. I det forsøket ble åtte glødelamper med en totaleffekt på 3200 W testet.

Det antas at grunnen til at lysbuevernene feildetekterte da belastningen var to glødelamper styrt av en dimmer, var på grunn av at strømmen hadde en lignende strømkarakteristikk som en lysbue, og at det var flere repeterende perioder med stor startstrøm. Mange belastninger blir topp-bunn verdien av strømmen hurtig redusert fra den første perioden av strømmen til neste. Dette kan ha vært årsaken til at støvsuger og halogenglødelampe styrt av en vanlig av/på bryter, ikke ga feildeteksjon.

Støvsuger og halogenglødelamper ble valgt på grunn av stor startstrøm og fordi at strømmen hadde en lignende strømkarakteristikk som en lysbue. Forsøkene med halogenglødelampe er lite relevant i forhold til en vanlig boliginstallasjon. Det er lite sannsynlig at noen boligeiere har to halogenglødelamper med så stor effekt, som er styrt av dimmer i sin bolig. Formålet med forsøkene var å undersøke begrensningene til vernet. I flere forskningsartikler og lærebøker blir det nevnt at belastninger som halogenglødelampe, støvsuger, kompressor, PC, motorer, verktøy osv er krevende belastninger for lysbuevernet [33][5][27][28][32]. Planen var å foreta flere forsøk med krevende belastninger i denne masteroppgaven, for å undersøke om lysbuevernene feildetekterte med andre typer belastninger som gir stor startstrøm. Dersom andre typer belastninger ga feildeteksjon, kunne strøm- og spenningskarakteristikken blitt undersøkt nærmere. Det kunne da ta trekkes flere konklusjoner på hvorfor lysbuevernet ga feildeteksjon. Utifra forsøkene med halogenglødelampen er det uvisst om det er kombinasjonen av flere repeterende perioder med stor startstrøm og skulderen ved strømmens nullgjennomgang som gir feildeteksjon. Det kan være at lysbuevernene gir feildetektering ved flere repeterende perioder med stor startstrøm, dersom det er en ren sinusstrøm uten skulder ved nullgjennomgangene. Det ble imidlertid ikke tid til å gjennomføre flere forsøk. Planen var å teste enfase kompressor beregnet til verktøy og lufttrykksarbeid. Kompressorer kan gi en startstrøm på opptil 150 A med en varighet på 200-500 ms[32].

Halogenglødelamper styrt av dimmer kan være relevant i andre elektriske installasjoner, og eksempler kan være i landbruket og næringsbygg. Det har vært mange branner i landbruket forårsaket av elektrisitet[47][48]. Landbrukets Brannvernkomite (LBK) utførte i 2010 en spørreundersøkelse angående branntilløp på norske gårdsbruk[47]. Det viste seg at det er gjennomsnittlig 1107 branntilløp i året på norske gårdsbruk[47]. Hele 68 % av disse brannene skyldes elektriske installasjoner og elektrisk utstyr[47]. Referanse [48] mener mange av brannene skyldes overspenningsskader og avtrekksvifter fra fjøs. Det har ikke blitt funnet en detaljert brannstatistikk over brannårsakene i landbruk i denne masteroppgaven, slik som det er for boligbranner.

Det har nylig blitt utgitt en ny norm som spesialiserer seg på elektriske installasjoner i låver og driftsbygg i landbruket[42]. I referanse [49] er det beskrevet at "Utarbeidelse av NEK 400 landbruk kom i stand etter en henvendelse fra LBK. Tallmateriale fra LBK og andre kilder tyder på at elektriske anlegg og elektrisk utstyr i mange tilfeller er årsak til brann. LBK er derfor opptatt av å gjennomføre tiltak som kan redusere branner i landbruket"[49]. Videre er det beskrevet "NEK 400 landbruk skal bidra til levering av elektriske anlegg som er bedre egnet for krevende miljø i landbruksbygg. Målet er å bedre driftssikkerhet,

redusere livsløpskostnader samt redusere sannsynligheten for at branner oppstår”[49].

Det antas at mange av brannene i landbruket var årsaken serielysbue i det elektriske anlegget. I elektriske anlegg i landbruket antas det at er enklere å danne karbonisert spor i isolasjonen mellom ledere enn i boliginstallasjoner. Dette kan oppstå på grunn av fukt og forurensninger på overflaten av isolasjonen[12]. Over tid kan dette forårsake lekkasje-strømmer og forkullet spor i isolasjonen[12]. I tillegg antas det at det oppstår oftere svake kontaktforbindelser i landbruket, siden det elektriske anlegget blir utsatt for et mer krevende miljø enn boliginstallasjoner. Det kan være at kontaktforbindelsene blir mer utsatt for vibrasjonen fra annet elektrisk utstyr. Elektriske utstyret kan være pumper, kompressorer, motorer osv. Derfor er det minst like relevant at seriefeilvern blir innført som krav i elektriske installasjoner i landbruket. Det vil bli en enda større utfordring for lysbuevern, siden flere belastninger i landbruksbygg gir stor startstrøm. Eksempler er kompressorer og motorer. Det antas også at noe av belysningen i landbruksbygg er halogenglødelamper som er styrt av en dimmer. Det hadde vært meget uheldig dersom lysbuevernet feildetekterte og koblet bort strømmen fra kritiske strømkurser i landbruket. Dette kan være strømkursene til det elektriske utstyret til mat- og drikkemaskinene til dyr. Et mulig tiltak kan være at lysbuevernene kun detekterer serielysbuer, dersom ikke det er mulig å forbedre detekteringsmetoden for parallelllysbue.

7.5 Lavpassfilter i kretsen

For å detektere serielysbue benytter lysbuevernet støy som blir generert fra lysbuen som deteksjonsprinsipp. Det oppstår støy fra lysbuen over et stort frekvensområde, og det kan være fra 10-30 Hz til 1 GHz. Det er flere frekvensområder hvor det blir generert mye støy av annet elektrisk utstyr. Det er viktig at lysbuevernet benytter et frekvensområde hvor det blir generert lite støy fra annet utstyr. Det var ønskelig å undersøke om lysbuevernet håndterte å detektere serielysbue, dersom det ble tilkoblet et lavpassfilter i kretsen. Funksjonen til et lavpassfilter er å kortslutte høye frekvenser ned til jord via en kondensator. Frekvenser som er høyere enn cut-off frekvensen f_c til filteret vil kortsluttes til jord. I en boliginstallasjon er det mye elektrisk utstyr som har lavpassfilter. Det gjelder spesielt strømforsyningen til elektriske utstyr, og noen eksempler er PC, TV, stereoanlegg, radio osv.

Første forsøket som ble utført var å undersøke om lysbuevernene reagerer på serielysbue, dersom det blir tilkoblet et lavpassfilter i kretsen. I dette forsøket ble det tilkoblet en regulert kondensator. Begge lysbuevernene fra leverandør B reagerte ikke på serielysbuen som lysbuegeneratoren lagde i kretsen, da lavpassfilteret var tilkoblet. Det ble funnet ut at dersom det blir tilkoblet et lavpassfilter med cut-off frekvens som er 41,44 kHz eller lavere, vil det hindre at vernet detekterer serielysbue i kretsen.

Dette er lite relevant funn, dersom cut-off frekvensen til lavpassfilteret til elektrisk utstyr

har en høyere cut-off frekvens enn 41,44 kHz. Det ble derfor utført flere forsøk med lavpassfilter i kretsen. I disse forsøkene ble lavpassfilteret til elektrisk utstyr tilkoblet kretsen. Figur 6.39 viser testoppsettet på forsøket. I et forsøk ble en PC forsyning tilkoblet kretsen og i et annet forsøk ble en lysrørarmatur med konvensjonell forkobling tilkoblet kretsen. I disse forsøkene greide ikke lysbuevernet å detektere serielysbue i kretsen.

De fleste boligeiere har elektrisk utstyr med lavpassfilter i sine hjem. Dette gjelder spesielt i sikringskursene som går til stuen og kjøkkenet. Det er i disse rommene det oppstår hyppigst branner i boliger[11]. I tillegg kan det være at boligeierne har lysrørarmatur i boden og garasjen, samt under overskapene på kjøkkenet og badet. I forsøket ble det testet en eldre lysrørarmatur, som har kondensator tilkoblet den konvensjonelle forkoblingsutstyret. Det antas at det finnes mange slike lysrørarmaturer fortsatt i mange hjem i Norge. Dersom man antar at alle strømkursene i en bolig er beskyttet med lysbuevern, kan det være fare for at flere av lysbuevernene i hjemmet ikke beskytter for serielysbue dersom det er tilkoblet slikt utstyr på strømkursen. Det er kun utført forsøk med PC forsyning og lysrørarmatur. Siden det ikke er utført flere forsøk med annet elektrisk utstyr, kan det ikke konkluderes med at alt elektrisk utstyr med lavpassfilter eller kondensator gir utslag.

7.6 Forslag til videre arbeid

Flere av laboratorieforsøkene utført i denne oppgaven skulle simulere seriefeil i en boliginstallasjon. Første forsøket var med en svak kontaktforbindelse mellom to ledere i et koblingspunkt, mens det andre forsøket var med kontaktforbindelsen mellom en skrue og en kobberleder. Det bør finnes enklere og mer pålitelig testoppsett. Det bør finnes testoppsett som kan simulere en svakforbindelse, der varigheten på forsøket er kort. Slik at det er mulig å utføre fire forsøk raskt, slik som det er med forsøkene på lysbuestandarden som skal simulere en serielysbue.

SINTEF utførte mer realistiske forsøk med feil som kan oppstå i installasjonsmateriellet til boliger. I forsøkene til SINTEF ble installasjonsmateriellet koblet på realistiske veggkonstruksjoner med isolasjon og brennbar veggkledning. All det elektriske arbeidet antas ble utført forskriftsmessig. Formålet med SINTEF sine forsøk var å undersøke antennelse på installasjonsmaterieill og testet ikke lysbuevern. Et alternativ er å undersøke om lysbuevernet håndterer serielysbuer som kan oppstå i en boliginstallasjon. Det bør videre utføres forsøk der lett antennbare materialer er i nærheten der det oppsto lysbue. Kan da undersøke om lysbuevernet har noe hensikt, eller om det uansett oppstår antennelse og brann. Dersom disse forsøkene skal gjennomføres må man ha tilgang til et brannlaboratorium.

Flere elektriske apparater som gir stor startstrøm bør testes, for å undersøke om det er flere elektriske apparater gir uønsket feildetektering. Det kan da ta trekkes flere konklusjoner på hvorfor lysbuevernet gir feildeteksjon. Utifra forsøkene med halogenglødelampen er det uvisst om det er kombinasjonen av flere repeterende perioder med stor startstrøm og

skulderen ved strømmens nullgjennomgang som gir feildeteksjon. Det kan være at lysbuevernene gir feildetektering ved flere repeterende perioder med stor startstrøm, dersom det er en ren sinusstrøm uten skulder ved nullgjennomgangene. Eksempler på elektrisk utstyr som kan testes er kompressorer, elektrisk drill, sirkelsag, freser, stikksag, varmpumper og ulike andre typer motorer som blir brukt i en boliginstallasjon.

Det ble også funnet ut at dersom det var tilkoblet et lavpassfilter i kretsen, da klarte ikke lysbuevernet å detektere serielysbue. I forsøkene som ble utført ble en PC forsyning og lysrørarmatur tilkoblet i kretsen. Det kan være at annet elektrisk utstyr ødelegger for serielysbue deteksjonen for lysbuevernet. En mulighet er å utføre flere forsøk der det er tilkoblet kjøleskap, fryser, TV, stereoanlegg, radioer, DVD/blueray spiller osv i kretsen.

En annen mulighet er å utføre en spektrumanalyse av serielysbue, og man kan da undersøke hvilke frekvensområder forskjellige strømforsyninger kortslutter frekvensene. Det finnes noen få oscilloskop på NTNU som det er mulig å gjennomføre slike analyser over det store frekvensområdet til støysignalene fra en lysbue. Det ble prøvd å gjennomføre en spektrumanalyse i denne oppgaven, men det ble for knapt med tid til det. Formålet var å utføre en spektrumanalyse av en serielysbue fra lysbuegeneratoren i en krets. Deretter foreta spektrumanalyse av strømforsyningen til PC og lysrørarmaturen. Fra oscilloskopet blir det generert en CSV-fil med tallverdier for støysignal styrke i forhold til tiden. Denne filen må bearbeides i MATLAB. Der blir det foretatt en fourier transform, og da er det mulig å få kurver som vist på figur 4.2. Vedlegg B er MATLAB koden som ble laget.

I induktive belastninger vil effektfaktoren bli redusert og det vi medføre til at skulderen ved nullgjennomgangen for strømmen vil bli redusert, noen eksempler er vist på figur 2.7. En mulighet er å finne belastninger som blir brukt i boliger med en lav effektfaktor og undersøke om lysbuevernet håndterer at skulderen ved nullgjennomgangen blir redusert. I lysbuestandarden er det beskrevet mer om effektfaktoren i testene til lysbuevernene.

8 | Konklusjon

Denne rapporten presenterer laboratorieforsøk hvor det er testet flere lysbuevern fra to forskjellige leverandører. Noen av testene som er utført i denne oppgaven er hentet fra lysbuestandarden IEC 62606. Det har også blitt foretatt flere andre forsøk som ikke er beskrevet i lysbuestandarden. Med andre typer forsøk skulle det undersøkes om lysbuevernene kun er egnet for å detektere serielysbuer fra testoppsettene til lysbuestandarden, eller om lysbuevernene fungerer mot alle typer serielysbuer som kan oppstå i en boliginstallasjon. Det er også utført andre type forsøk som utfordrer svakhetene til deteksjonsprinsippet til lysbuevernet. Resultatene fra forsøkene gav følgende konklusjoner:

- Seriefeil i en svak kontaktforbindelse i elektriske anlegg starter ofte med motstandsoppvarming, der det blir utviklet mye varme over tid og det blir dannet en oksidbro i kontaktforbindelsen. I forsøkene i denne oppgaven oppsto det serielysbue i kontaktforbindelsen da oksidbroen smeltet, og da den smeltet oppsto et fysisk gap i kontaktforbindelsen. I alle forsøkene med svak kontaktforbindelse detekterte lysbuevernene serielysbue og koblet bort strømmen fra kretsen.
- Da lysbuevernet detekterer parallelllysbue, registrerer vernet at strømmen er over en forhåndsdefinert verdi i flere perioder. Det ble utført forsøk med halogenlødelyslysbue styrt av en dimmer. Lysbuevernene fra den ene leverandøren feildetektet da denne belastningen ble skrudd på, og grunnen var at belastningen ga flere perioder med stor startstrøm og den lignet på strømkarakteristikken til en parallelllysbue.
- Det er utfordringer med måten lysbuevernet detekterer serielysbue, der den ser på høyfrekvent støy generert fra serielysbuen. Lysbuevernene fra den ene leverandøren detekterte ikke serielysbue i kretsen da det ble tilkoblet et lavpassfilter. Det ble utført to forsøk der ikke lysbuevernet detekterte serielysbue da det var tilkoblet enten en PC forsyning eller lysrørarmatur med konvensjonelt forkoblingsutstyr i kretsen.
- Lysbuevernet fra samme leverandøren detekterte ikke serielysbue, dersom det var tilkoblet et lavpassfilter med cut-off frekvens på ca 41,44 kHz eller lavere i kretsen.

Ingen av lysbuevernene som ble testet innfridde i alle forsøkene som ble utført i denne masteroppgaven.

Bibliografi

- [1] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Statistikk database for brannårsaker 2009-2014,, 2016. URL http://stat.dsb.no/Database/DSB/1_Brann/4_Arsaker/2_Fom2009/2_Fom2009.asp (25.02.2016).
- [2] J.P Stensaas. Branner på grunn av elektrisk installasjonsmaterieill, sintef nbl as, isbn: 82-14-02466-8. Report, 2007. URL <http://www.dsb.no/Global/Elsikkerhet/Dokumenter/Branner%20-%20elektrisk%20installasjonsmeterieill.pdf> (11.05.16).
- [3] Babrauskas V. Curriculum vitae, 2016. URL <https://www.doctorfire.com/VBabrauskas.pdf> (10.05.16).
- [4] Babrauskas V. Research on electrical fires: The state of the art. *Fire Science and Technology Inc. FIRE SAFETY SCIENCE-PROCEEDINGS OF THE NINTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM*, pp 3-18, 2008.
- [5] Paul G. Slade. *Electrical Contacts : Principles and Applications, Second Edition*. Electrical Contacts. Taylor and Francis, Hoboken, 2nd ed. edition, 2013. ISBN 1-4398-8131-6.
- [6] Seehusen J. Serielysbuer; siemens, lysbuer er en viktig brannårsak, sintef: Varmgang er viktigere. *Teknisk Ukeblad*, 2014. URL <http://www.tu.no/artikler/siemens-lysbuer-er-en-viktig-brannarsak-sintef-varmgang-er-viktiger> 232270 (10.05.16).
- [7] Mostue B A. Brannskadeutviklingen i norge- tiltak for å redusere brannskadene sintef nbl as. Report, 2008. URL http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/FoU/NBL_0A08111.pdf (10.05.16).
- [8] K Stensaas, J.P; Nygaard. Brann på grunn av elektriske feil i installasjonsmaterieill og lavtemperatur varmpåvirkning fra belysning, sintef nbl as. 2008. URL http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/FoU/NBL_F08120.pdf (11.05.16).
- [9] National Fire Protection Association. Nfpa 70 national electrical code isbn: 978.145590680-2, 2014. URL <http://www.nfpa.org/>

codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=70(10.05.16).

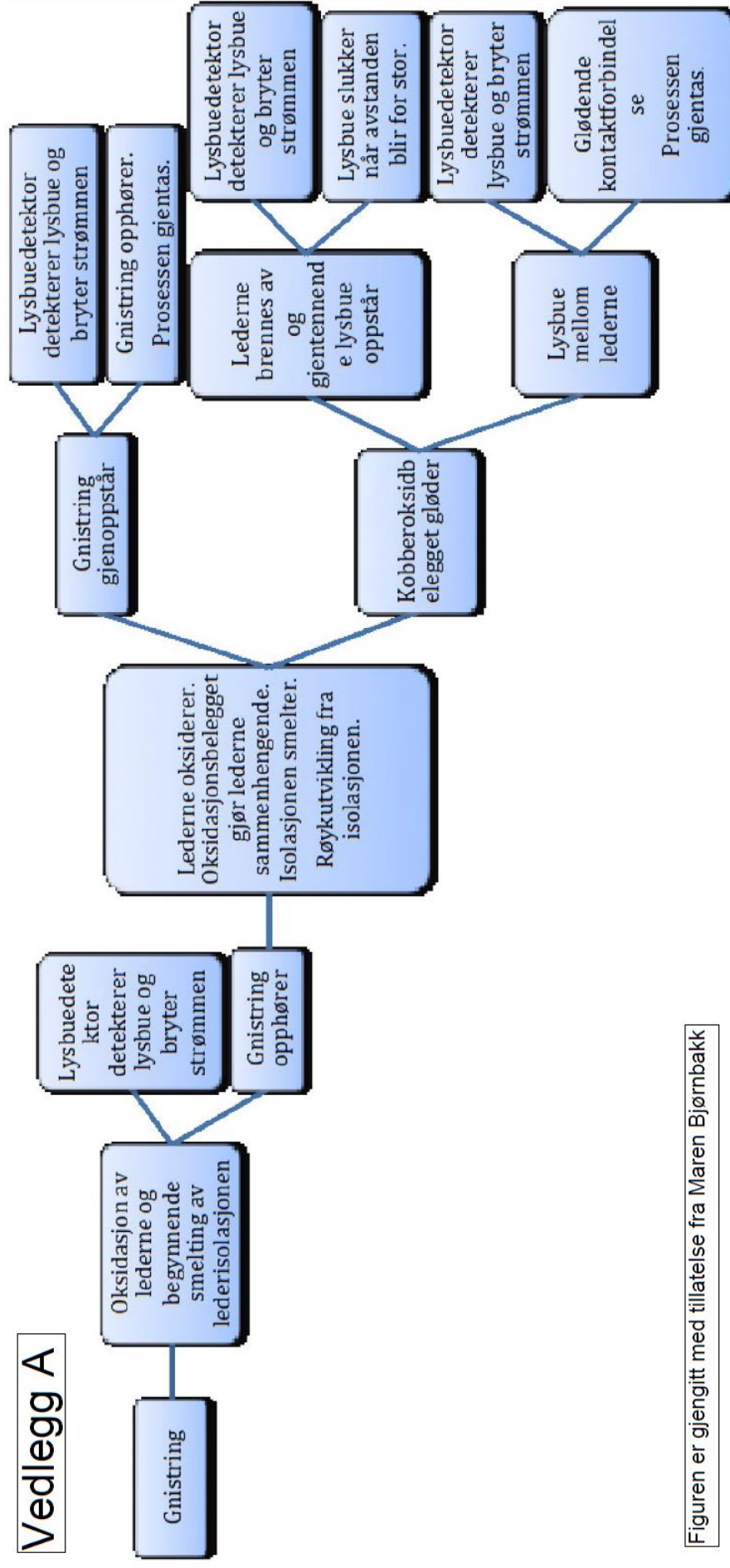
- [10] Carl Olav Larsson. *Seriefeilvern i elektriske installasjoner*. Masteroppgave, 2012.
- [11] Maren Bjornbakk. *Seriefeilvern som beskyttelse mot brann*. Masteroppgave, 2015.
- [12] Babrauskas V. How do electrical wiring faults lead to structure ignitions. *Fire and Materials 2001 Conf., Interscience Communications Ltd., London*, 2001.
- [13] Store norske leksikon. Elektrisk lysbue,, 2016. URL https://snl.no/elektrisk_lys_bue(15.02.16).
- [14] Babrauskas V. *Ignitation Handbook: Principles and Applications to Fire Safety Engineering*. 2003. ISBN 978-0972811132.
- [15] Ildstad E. *TET4160 High Voltage Insulation Materials*. 2014.
- [16] D Benfer, M. Gottuk. Electrical receptacles- overheating, arcing, and melting. *Hughes Associates Inc., International association for fire safety science*, 2014.
- [17] J. Sletbak, R. Kristensen, H. Sundklakk, G. Navik, and M. Runde. Glowing contact areas in loose copper wire connections. In *Electrical Contacts, 1991. Proceedings of the Thirty-Seventh IEEE Holm Conference on*, pages 244–248. doi: 10.1109/HOLM.1991.170830.
- [18] J Aronstein. Fire due to overheating of aluminium wired branch circuit connections. *Wright Malta Corp., Ballston Spa NY*, 1983.
- [19] Yokoi Y. Nagata M Isaka K. Mitsushashi, N. Concerning the history of deterioration in insulated electric wires and fire hazards. *Japanese Assn. for Fire Science and Engrg*, 31, No. 1, 11-19, 1981.
- [20] D. Li, Z. Song, J. Wang, Y. Geng, H. Chen, L. Yu, and B. Liu. A method for residential series arc fault detection and identification. In *Electrical Contacts, 2009 Proceedings of the 55th IEEE Holm Conference on*, pages 8–14. doi: 10.1109/HOLM.2009.5284428.
- [21] P. Muller, S. Tenbohlen, R. Maier, and M. Anheuser. Characteristics of series and parallel low current arc faults in the time and frequency domain. In *Electrical Contacts (HOLM), 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on*, pages 1–7. ISBN 1062-6808. doi: 10.1109/HOLM.2010.5619539.
- [22] Justis-og beredskapsdepartementet. Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg, 1999. URL <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060>(06.05.2016).
- [23] Store norske leksikon. Automatsikring, 2016. URL <https://snl.no/automatsikring>(06.04.2016).
- [24] H Hansen E. *Elektroinstallasjoner*. Classica forlag AS, 2010. ISBN 82-7610-010-4.

-
- [25] FEBDOK. Dataprogram for dimensjonering og dokumentasjon for installasjoner i henhold til fel og nek 400. beregnet for installatører, rådgivere, ingeniører og skoler. 1991.
- [26] W. S. Moon, J. C. Kim, A. Jo, S. B. Bang, and W. S. Koh. Ignition characteristics of residential series arc faults in 220-v hiv wires. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(3):2054–2059, 2015. ISSN 0093-9994. doi: 10.1109/TIA.2014.2382756.
- [27] G. D. Gregory, Wong Kon, and R. F. Dvorak. More about arc-fault circuit interrupters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40(4):1006–1011, 2004. ISSN 0093-9994. doi: 10.1109/TIA.2004.831287.
- [28] Jianhua Wang Yuan Wu, Zhengxiang Song. A method for parallel arc fault detection and identification. *School of Electrical Engineering, Xi an Jiaotong University State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment Xi an, P.R.China*, 2013.
- [29] B Nyrud. Brann med elektrisk årsak i boliger, direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2010. URL [http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/2010/Tema/Tema-BrannElektrisk.pdf\(08.05.2016\)](http://www.dsb.no/Global/Publikasjoner/2010/Tema/Tema-BrannElektrisk.pdf(08.05.2016)).
- [30] Magne Runde. *Current interruption in power grids*. NTNU, 2013.
- [31] Store norske leksikon. Krypestrøm,, 2016. URL [https://snl.no/krypestr%C3%B8m\(15.02.2016\)](https://snl.no/krypestr%C3%B8m(15.02.2016)).
- [32] C. E. Restrepo. Arc fault detection and discrimination methods. In *Electrical contacts - 2007, the 53rd iee holm conference on*, pages 115–122. doi: 10.1109/HOLM.2007.4318203.
- [33] Siemens AG. 5sm6 afd unit. technical manual, siemens ag infrastructure and cities sector low and medium voltage division, 2012. URL [https://www.low-medium-voltage.siemens.pl/docs/docs_lmv/04_ds_Technologyprimer5SM6AFDD_EN_3002.pdf\(10.05.16\)](https://www.low-medium-voltage.siemens.pl/docs/docs_lmv/04_ds_Technologyprimer5SM6AFDD_EN_3002.pdf(10.05.16)).
- [34] S. K. Yang, Y. S. Kim, I. G. Kim, T. Choi, and J. Lee. A study on arc detection using rssi (received signal strength indication). In *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2015 18th International Conference on*, pages 608–611. doi: 10.1109/ICEMS.2015.7385107.
- [35] Schneider Electric. Lysbuevern, 2016. URL [http://ecatalogue.schneider-electric.no/ProductGroup.aspx?groupid=319167&navid=85637&navoption=6#\(25.04.16\)](http://ecatalogue.schneider-electric.no/ProductGroup.aspx?groupid=319167&navid=85637&navoption=6#(25.04.16)).
- [36] International Electrotechnique Commission. Iec 62606, general requirements for arc fault detection devices, 2013.
- [37] J. J. Shea and X. Zhou. Rf currents produced from ac arcs with asymmetrical electrodes. In *Electrical Contacts (HOLM), 2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on*, pages 1–11. ISBN 1062-6808. doi: 10.1109/HOLM.2010.5619543.

-
- [38] Norsk elektroteknisk norm. Nek 400:2014, elektriske lavspenningsinstallasjoner. isbn: 978-82-91974-44-6, 2014.
- [39] Marit Helen G Ese. Personlig kontakt angående oksidbelegg på metall, 2016.
- [40] ukjent forfatter YouTube. How to make copper oxide (cuo) using electrolysis,, 2016. URL <https://www.youtube.com/watch?v=APVkJfUo51g> (29.01.2016).
- [41] Korinek C W; Korinek T C; Lopez H F. Pre and post-flashover characteristics of an electrically overheated poor connection between copper and steel. *Fire and Materials, San Francisco, CA*, 2013.
- [42] Norsk elektroteknisk norm. Nek 400 landbruk – tryggere elektriske anlegg i driftsbygninger og veksthus. isbn: 9788291974477. 2016.
- [43] Hansen E H Bjorset H, H. *LYSTEKNIKK, lys og belysning*. 2006.
- [44] T Domain. Lecture 3 filtering, university of hertfordshire. URL http://www.elin.ttu.ee/~olev/lect_filt.pdf (10.04.2016).
- [45] Garelick steel. Melting points of common metals, 2016. URL http://www.garelicksteel.com/pdfs/Melting_Points_of_Common_Metals.pdf (22.04.16).
- [46] Olsen S. Åpen installasjon: materiell og utstyr, nasjonal digital læringsarena, elektrofag vg1,, 2016. URL <http://ndla.no/nb/node/3976> (02.04.2016).
- [47] Haram S. Norsk brannvernforening, kraftig økning i branner i gårdhus, 2011. URL <http://www.brannvernforeningen.no/Nyheter/Arkiv/2011/Kraftig-okning-i-branner-i-gardshus> (15.05.16).
- [48] Oulie P A. Landbrukets brannvernkomite, Økt innsats gir positive resultater på landbruksbranner, 2016. URL <http://www.lbk.no/Nyheter/Okt-innsats-gir-positive-resultater-pa-landbruksbranner> (15.05.16).
- [49] Standard. Høring - nek 400 landbruk – tryggere elektriske anlegg i driftsbygninger og veksthus, 2015. URL <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/elektro/lavspenningsinstallasjoner/horing-nek-400-landbruk-tryggere-elektriske-anlegg-i-driftsbygninger> (16.05.16).

Vedlegg

Vedlegg A



Figuren er gjengitt med tillatelse fra Maren Bjørnbakk

Vedlegg B

`% Spektrum analyse av lysbue, Fourier transform.`

```
clear all;
close all;
clc;
Fs = 250000000;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;                % Sampling period
L = 25000000;           % Length of signal
% t = (0:L-1)*T;         % Time vector
%
% S = 0.7*sin(2*pi*50*t) + sin(2*pi*120*t);
%
% X = S + 2*randn(size(t));

fid = fopen('fft3.CSV'); % filen fra oscilloskopet
mydata = textscan(fid, '%f %f %f %f %f %*[\n]', 'delimiter',
',');

fclose(fid);

plot(mydata{1,4},mydata{1,5});
title('Lysbuestrøm')
xlabel('Tid [s]')
ylabel('Strøm [A]')

fourier = fft(mydata{1,5});

P2 = abs(fourier/L);
P1 = P2(1:L/2+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);

f = Fs*(0:(L/2))/L;
plot(f,P1)

title('FFT')
xlabel('f (Hz)')
ylabel('aa')

semilogy(f,P1)
```