

Induktionsladdning av hybriddrivna fartyg

En framtida lösning för kustfartyg

Sam Andersson

2018-05-03

Program: Sjöingenjörsprogrammet

Ämne: Självständigt arbete

Nivå: 15hp

Kurskod: 1SJ51I

Linnéuniversitetet

Sjöfartshögskolan i Kalmar

| | |
|----------------------|---|
| Utbildningsprogram: | Sjöingenjörsprogrammet |
| Arbetets omfattning: | Självständigt arbete om 15hp |
| Titel: | Induktionsladdning av hybriddrivna fartyg |
| Författare: | Sam Andersson |
| Handledare: | Joakim Heimdahl |

Abstrakt

Projektet syftar till att bredda kunskapen om induktionsladdning och belysa de för- och nackdelar tekniken bär med sig på utrustning och kringliggande system.

Med nya strikta krav på sänkta CO₂ utsläpp väljer många redare att konvertera dieseldrivna färjor till hybrid eller helbatteridrift. För att tidseffektivisera hamnuppehållen krävs nya innovativa metoder för energiöverföring. Induktionsladdning av fartyg har provats på det norska fartyget MS Folgefonn med lyckat resultat.

Utmaningarna med att upprätta en fungerande laddstation med sändarenhet och mottagarenhet på ett fartyg, som på grund av väderförhållanden inte hålls helt stagnerad, har varit komplicerade.

Belastningen på det lokala elnätet har också försvårat processen med en energiöverföring i den magnituden, på så mycket som 1 MW effekt.

Nyckelord: Induktionsladdning, CO₂, Utsläpp

Linnaeus University

Kalmar Maritime Academy

Degree course: Marine Engineering
Level: Diploma Thesis, 15 ETC
Title: Induction charging of hybrid-powered vessels
Author: Sam Andersson
Supervisor: Joakim Heimdahl

Abstract

This project aims to broaden the knowledge of induction charging and highlight the pros and cons regarding the equipment and surrounding systems.

With new strict requirements for reduced CO₂ emissions, many ship owners choose to convert diesel-powered ferries to hybrid or full battery operation. In order to optimize berth time, new innovative methods of energy transfer are needed. Induction charging of ships has been tested on the Norwegian ship MS Folgefonn with successful results.

The challenges of establishing a functional charging station with transmitter and receiver unit on a ship that, due to weather conditions are not kept completely stagnant, has been complicated.

The load on the local power grid has also complicated the process of energy transfer in the magnitude of as much as 1 MW.

Keywords: Induction, Charging, CO₂, Emissions

Innehållsförteckning

| | |
|---|----|
| 1. Inledning | 1 |
| 1.1 Syfte..... | 2 |
| 1.2 Frågeställning | 2 |
| 1.3 Avgränsningar | 2 |
| 2. Metod..... | 3 |
| 3. Teori | 5 |
| 3.1 Elektromagnetisk induktion..... | 5 |
| 3.2 Faradays lag | 5 |
| 3.3 Lenz Lag..... | 6 |
| 3.4 Induktans och induktion..... | 6 |
| 3.5 Självinduktion | 6 |
| 3.6 Induktor | 7 |
| 3.7 Transformator..... | 7 |
| 3.8 Likriktare | 8 |
| 3.9 Induktionsladdning..... | 10 |
| 3.10 Förlustfaktorer | 11 |
| 3.11 Kabelladdning 3-fas..... | 11 |
| 4. Resultat | 13 |
| 4.1 Nollutsläppvisioner | 13 |
| 4.2 Effektkrav | 13 |
| 4.3 Koppling..... | 14 |
| 4.4 Laddplattornas utformning | 14 |
| 4.5 Systemöversikt | 16 |
| 4.6 För- och nackdelar induktionsladdning | 17 |
| 5. Diskussion | 19 |
| Källor och referenser | 21 |

1. Inledning

Induktionsladdning finns idag för mobiltelefoner, bilar, tåg och nu även för fartyg. Induktionsladdning är en relativt ny metod för energiöverföring jämfört med den konventionella kabelladdningen. Fördelarna är många, ett exempel är nedgrävda induktionsladdplattor på bilparkeringar för att enkelt bara parkera bilen och så laddar den. Det forskas oerhört mycket om induktionsladdning och nya användningsområden hittas hela tiden, men Wärtsilä och Cavotec är först med att testa denna teknik på fartyg (Wärtsilä, 2017).

I Norge har man provat detta på ett 85 meter långt fartyg vid namn MF Folgefonn. MF Folgefonn trafikerar Jektevik - Hodnanes - Nord Huglo och är för tillfället det enda fartyget i världen med trådlös induktionsladdning. I Norge har regeringen uppmanat sjöfartsindustrin att utveckla utsläppsfri färjetrafik framförallt över fjordarna som binder samman landsvägarna. Resultatet av framgångsrika teknologiska förevisningar förväntas många färjor konvertera till helt batteridrivet maskineri (Guidi, G, et al, 2017).

Generellt kör färjor på fasta turlistor, vilket reducerar tillgänglig tid för uppladdning av batterierna. Utnyttjandet av den begränsade tiden är synnerligen viktigt, därför krävs snabba och pålitliga uppkopplingar.

Detta medför stora utmaningar, inte minst på det lokala elnätet vid färjornas tilläggningsplatser. Vägfärjorna trafikerar ofta avlägsna ytterområden med ytterst begränsade energitillgångar. För att förhindra oönskade spänningsdippar och störningar på elnätet kan en teknik för att lagra energin temporärt för att sedan med full effekt ladda ur och över till mottagaren vara nödvändig.

I Sverige transporterar Trafikverkets Färjerederierna årligen 21 miljoner passagerare och 11 miljoner fordon. Färjerederiet har ungefär 70 stycken olika vägfärjor, dessa trafikerar ca 41 olika leder runt om i Sverige (Trafikverket, 2018).

Norge har betydligt fler vägfärjor, kring landets numrerade vägar finns det ca 95 färjor som ägs både statligt och kommunalt (Wikipedia, 2018).

Likheterna med dessa färjor är stora, så man kan därför anta att tekniken för hybriddrift och induktionsladdning även är applicerbar i Sverige med vissa modifikationer.

Induktionsladdning var 1995 relativt nytt och outforskat ämne, men sedan dess har det växt till en industri som omsätter miljarder kronor varje år (Covic, G.A. & Boys, J.T, 2017).

Med hybriddrift så menas det att en farkost använder två eller fler kraftkällor för att driva fordonet framåt. I denna rapport är det elhybrid som avses. Det innebär att fartyget/fartygen i fråga drivs av en förbränningsmotor med separat eller samverkande elmotor.

1.1 Syfte

Mitt syfte med denna uppsats är att bredda kunskapen om trådlös induktionsladdning samt belysa eventuella fördelar och nackdelar med tekniken.

1.2 Frågeställning

Vilka fördelar skulle denna teknik medföra samt vad gör induktionsladdningen till ett bättre alternativ än konventionell ”kabelladdning”?

Hur fungerar trådlös laddning från ett tekniskt perspektiv, hur kan man ladda batteri trådlöst?

1.3 Avgränsningar

Denna undersökning redogör inte för specifika fall utan behandlar färjetrafiken generellt. Ekonomiska uträkningar ingår inte i undersökningen, det vill säga att en livscykelkostnadsanalys inte kommer att genomföras då inköpspriser och produktionskostnader är ytterst oklara på grund av det tidiga stadiet tekniken befinner sig i.

2. Metod

Materialet i rapporten hämtades från vetenskapliga artiklar publicerade i tidskrifter som IEEE, läroböcker i ellära och elteknik, tidigare studenters examensarbeten, men också hemsidor med relevant fakta.

Sökord: wireless, charging, induction, energy, transfer och IPT (Inductive Power Transfer)
Kontakt upprättades med Wärtsilä men utbytet av någon form av information uteblev helt, varpå annat tillvägagångssätt för informationshämtning var oundvikligt.

Teorin utformades för att hjälpa läsaren förstå hur induktionsladdning fungerar samt hur den uppstod. Otaliga mängder faktabaserade hemsidor ligger även till grund för informationsinhämtningen till teoridelen, där stor vikt lades på trovärdigheten till källan. Med den grundläggande kunskapen om trådlös energiöverföring, så avses tankesättet appliceras på det inriktade användningsområdet för studien det vill säga trådlös laddning av färjor.

SINTEF Energy Research har tillsammans med Wärtsilä sammanställt en artikel, *Wireless charging for ships* (publicerad av IEEE, 5 september 2017).

Denna artikel har för mig varit till stor hjälp och försett mig med otroligt viktig data för att detta arbete skall kunnat fortlöpa.

Samtlig insamlad data har mynnat ut i denna rapport som grundligt men enkelt beskriver induktionsladdning och diskussionen kring applicerbarheten även på svenska färjor.

3. Teori

3.1 Elektromagnetisk induktion

Elektromagnetisk induktion upptäcktes av den brittiske fysikern Michael Faraday (1792-1867) som publicerade upptäckten 1831. Faradays demonstration bestod av två galvaniskt skilda kretsar där båda var lindade runt samma järnkärna. Faraday trodde att elektromagnetiska vågor skulle förflyttas i järnkärnan och vidare i kretsen på andra sidan. När kretsen sluts visas en kort spänningstransient på motsatta sidan, samma när kretsen bryts. Spänningen som mättes med galvanometern inducerades på grund av förändringen av magnetfältet som skapades i lindningen runt järnkärnan (Electronics Tutorials, 2018).

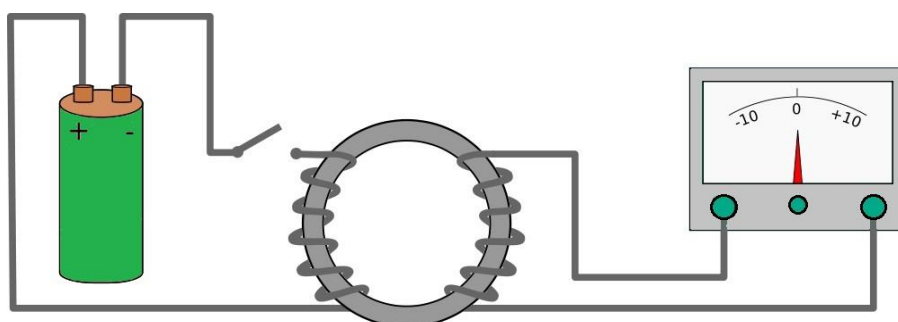


Fig 1. Faradays uppkoppling.

3.2 Faradays lag

Faradays lag är uppkallad efter den brittiska fysikern Michael Faraday. Faradays lag lyder att den inducerade spänningens storlek är proportionell mot magnetflödets förändringshastighet (Wikipedia, 2018). Inducerad spänning innebär att en elektrisk ström alstras i en elektrisk ledare när denna rör sig genom ett magnetfält eller om ett omgivande magnetfält ändras. Förenklat kan man uttrycka att ju snabbare magnetfältet ändras, desto högre spänning uppkommer i ledaren.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

(Ekvation 1.1)

Där: ε = EMK, Volt [V]

$d\Phi$ = Magnetiskt flöde, Weber [w]

dt = Tid [s]

(Khan Academy, 2018)

3.3 Lenz Lag

Lenz lag är uppkallad efter den ryska fysikern vid namn Heinrich Freidrich Emil Lenz (1804-1865) (Encyclopædia Britannica, 2018). Lenz lag säger att den inducerade spänningen får en sådan riktning att den ström den skulle driva motverkar rörelsen (Electronics Tutorials, 2018).

3.4 Induktans och induktion

När en metallisk ledare mekaniskt förflyttas i ett magnetfält uppträder mellan ledarens ändar en polspänning. Man säger att spänning har inducerats i ledaren och kallar polspänningen för inducerad spänning/EMK och detta fenomen kallas för induktion.

Ansluts ledarens ändar till en belastning (till exempel en resistor) så flyter en så kallad induktionsström genom resistorn. Strömriktningen bestäms av att induktionsströmmen genom sin magnetiska verkan motverkar orsaken till sin uppkomst. (Lenz lag)

Samtliga generatorer och transformatorer bygger sin funktion på denna princip (Jacobson, S. & Osbeck M, 2000).

Förhållandet mellan strömstyrkan och det magnetiska flödet kallas induktans och mäts i SI-enheten Henry [H] (Electronics Tutorials, 2018).

3.5 Självinduktion

En krets med spänningskälla, brytare och en spole spänningssätts, då kommer strömmen skapa ett magnetfält i spolen. Det ökande magnetfältet i spolen inducerar en spänning som motverkar ökningen. När strömmen i kretsen minskar så minskar magnetfältet, då induceras en spänning som motverkar minskningen.

Detta kallas självinduktion och kan leda till att elektriska apparater tar skada eller att överslag sker (NDT Resource Center, 2018).

3.6 Induktor

I växelströmskretsar används ofta induktiva komponenter, till exempel en spole. Spolen är i princip uppbyggda av isolerade ledningstrådar lindade som en spiral runt en järnkärna.

Induktansspolar används som filter för växel- och likström samt för att lagra energi i sitt magnetfält under kortare perioder. Teoretiskt kan en spole lagra energin oändligt länge, men på grund av inre resistanser omvandlas energin till värme och går förlorad. (Ohms lag).

Induktansen i spolen beror på lindningsvarv samt vilket material som används i kärnan.

Spolens resistans ökar med ökad frekvens enligt formeln:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

(Ekvation 1.2)

Där: X_L = Induktiv reaktans i Ohm[Ω]

f = frekvens i Hertz [Hz]

L = induktansen i Henry[H].

(Electronics Tutorials, 2018) (Jacobson, S. & Osbeck M, 2000)

3.7 Transformator

Transformatorer är nyckelkomponenter i nästintill alla elektroniska system. Transformatorer omvandlar med hjälp av elektromagnetisk induktion energi mellan olika spänning och strömstyrkor.

Transformatorer är uppbyggda med en primärsida och en sekundärsida. Grundprincipen bygger på att det är två lindningar runt en gemensam järnkärna.

Antalet lindningar på primär och sekundärsidan bestämmer förhållandet mellan inspanning och utspänningen enligt sambandet:

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p}$$



(Ekvation 1.3)

Där: U_s = Spänning sekundärsidan

U_p = Spänningen på primärsidan

N_s = Lindningsvarv sekundärsidan

N_p = Lindningsvarv primärsidan

Figur 2. Schematisk symbol transformator

För strömmarna i lindningarna gäller det inverterade förhållandet enligt sambandet nedan:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

(Ekvation 1.4)

Där: I_s = Strömmen sekundärsidan

I_p = Strömmen primärsidan

N_p = Lindningsvarv primärsidan

N_s = Lindningsvarv sekundärsidan

Kvoten I_s/I_p kallas för transformatorns strömomsättning (Electronics tutorials, 2018)

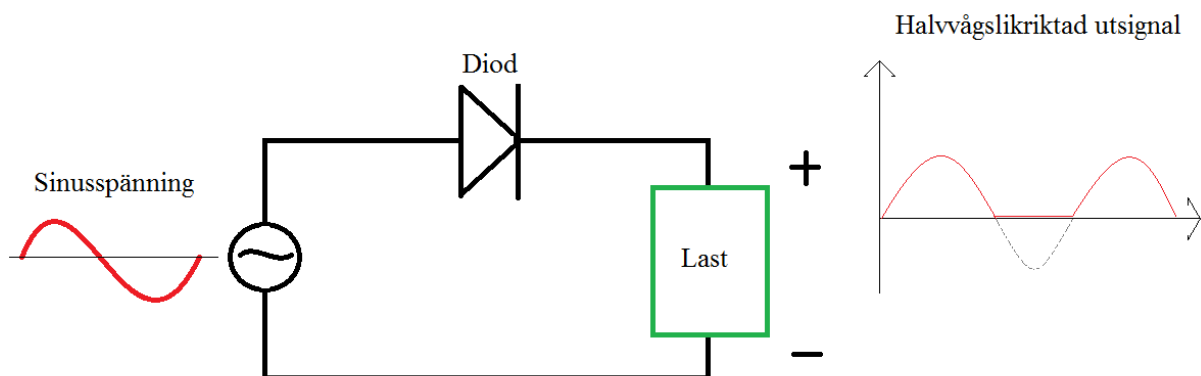
(Jacobson, S. & Osbeck M, 2000).

3.8 Likriktare

Likriktning används för att omvandla växelström till likström och detta sker med en likriktare. Likriktaren består av i huvudsak dioder, vars uppgift är att blockera strömmens väg i backriktningen.

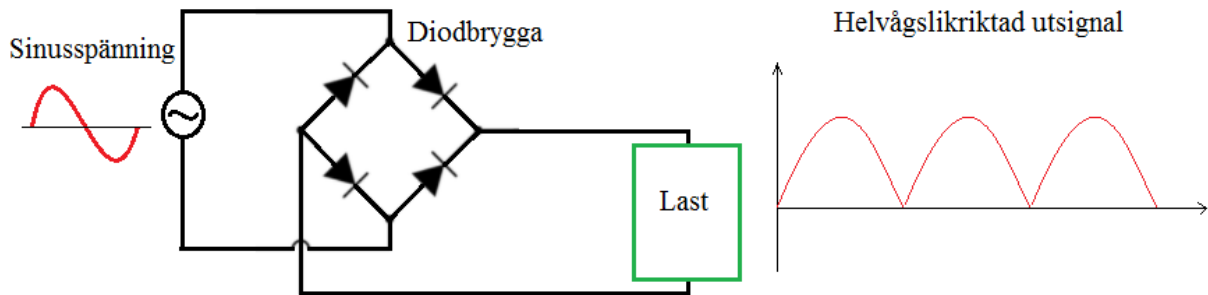
Beroende på hur många dioder man använder har man en halv- eller halvågslikriktare.

Halvågslikriktare föreställs i figur 3.



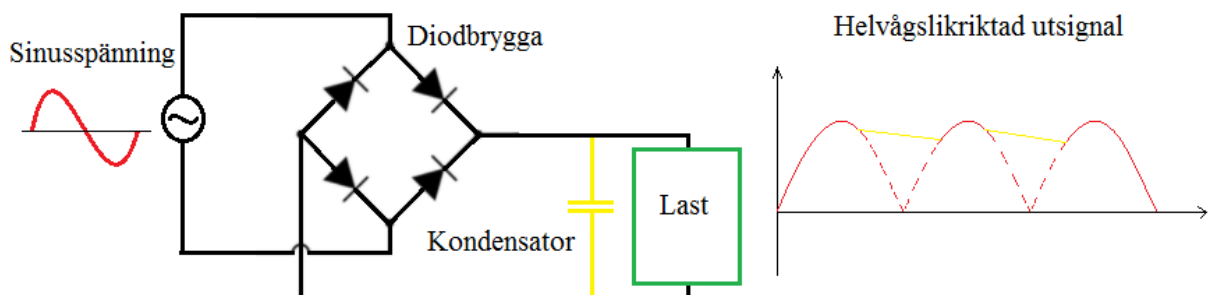
Figur 3. Halvågslikriktare.

Vid halvågslirikriktning används en likriktarbrygga även kallad Graetzbrygga. Det är fyra dioder sammankopplade enligt figur 4.



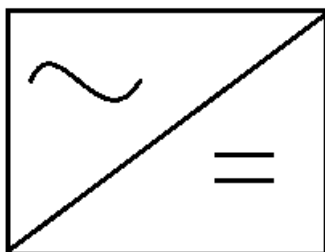
Figur 4. Helvågslirikriktare.

För att stabilisera och jämna ut sinuskurvan kopplas en glättningskondensator in i kretsen. Kondensatorn kommer släta ut sinuskurvan, på så sett få den mer lik en likspänning.



Figur 5. Helvågslirikriktare med glättningskondensator.

Schematiskt i ritningar ser en likriktare ut enligt figur 6:



Figur 6. Likriktare.

(Electronics Tutorials, *Power Diodes and Rectifiers*, 2018)

3.9 Induktionsladdning

Det finns två typer av kopplingar, induktiv koppling och resonanskoppling. En induktiv koppling innebär att man sätter två spolar tätt intill varandra och låter växelström flyta genom spolen på sändarsidan. Strömmen skapar ett magnetfält, som i sin tur inducerar en spänning i mottagarspolen. Spolarna blir induktivt kopplade med varandra och hög verkningsgrad erhålls med förutsättningarna att spolarnas avstånd är kort.

Resonanskoppling kallas även resonanskrets, det innebär att man har en spole och en kondensator parallellkopplade. En spole ger högre motstånd ju högre strömmens frekvens är samtidigt som en kondensator ger lägre motstånd ju högre strömmens frekvens är.

Detta innebär att vid låga frekvenser kommer mestadels av strömmen att passera genom spolen och vid höga frekvenser genom kondensatorn.

Frekvensen där lika mycket ström passerar i vardera komponent kallas resonansfrekvens.

Resonansfrekvensen bestäms helt och hållet av kondensatorns kapacitans och spolens induktans.

När kretsen matas med resonansfrekvensen kommer motsvarande reaktanserna som bildas av kondensatorn och induktorn att ta ut varandra. Den energi som finns i parallellkopplingen kommer turas om att lagras i magnetfältet och det elektriska fältet som bildas av induktorn respektive kondensatorn.

Placerar man en spole i det oscillerande magnetfält som skapats av spolen i sändkretsen, kan mottagande spole plocka upp energi från magnetfältet, även vid lite längre avstånd.

Detta fungerar endast om mottagare och sändare har samma resonansfrekvens.

Resonansfrekvensen beräknas av formeln:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

(Ekvation 1.5)

Där: L = Induktansen i Henry [H]

C = Kapacitansen i Farad [F]

f_r = Resonansfrekvensen i Hertz [Hz]

(Tang, M. & Wendin, R, 2015) (Faktabanken, 2018)

3.10 Förlustfaktorer

Energiöverföring sker aldrig förlustfritt på grund av mestadels fysikaliska fenomen. Om man förstår vad som påverkar förlusterna, kan man aktivt arbeta med att förebygga dem.

Virvelströmmar uppstår i det ledande materialet och kan beskrivas som slutna strömkretsar som "virvlar" vinkelrätt mot ett magnetfält i enlighet med Faradays lag. Beroende på frekvensen går "virveln" olika djupt ner i materialet.

Virvelströmmar genererar värme och således förluster, men det finns applikationer där virvelströmmar är önskade, till exempel induktionshällar (NDT Resource center, 2018).

Skinneffekten är ett annat fysikaliskt fenomen som innebär att strömtätheten är högst vid ledarens yta och mindre i ledarens mitt (Circuit globe, 2018). Detta sker enbart vid växelström och beror på att ett magnetfält i och runt ledaren skapas. När strömmens intensitet förändras i ledaren, förändras också det tillhörande magnetfältet. Förändringen i magnetfältet skapar ett elektriskt fält som motverkar strömmen (Lenz lag). Detta fält kallas för mot-EMK och det uppträder starkast i mitten av det ledande materialet. Därför tvingas elektronerna ut i yttre delen av ledaren.

Eftersom strömmen inte är jämnt fördelad i hela ledaren så ökar den upplevda resistansen och märkbara förluster uppstår (Tang, M. & Wendin, R, 2015).

3.11 Kabelladdning 3-fas

Väldigt förenklat kan man säga att en 3-fas laddare är som 3 st. separata 1-fas laddare. Istället för att belasta en fas så belastas 3 faser samtidigt. 3-fas uttagen är konstruerade för att tåla högre strömmar och kan således överföra högre effekter (Recharge, 2018).

4. Resultat

Man kan med lätthet konstatera att induktionsladdning medför enorma utmaningar ur ett tekniskt perspektiv. Till skillnad från järnväg och till exempel bussar med induktionsladdning, så är inte ett fartyg helt statiskt. Minsta påverkan av väder, vågor och trim/djupgående förändringar på grund av lastning/lossning försvårar energiöverföringen. I en artikeln *Wireless Charging for Ships*, publicerad i tidskriften IEEE, beskriver Guisepe Guidi, Jon Are Suul, Frode Jensen, och Ingve Sørfonn några av de utmaningar tekniken medför. Nedan sammanfattas fördelar/nackdelar samt utmaningarna och även generellt hur systemet är uppbyggt baserat på denna artikel.

4.1 Nollutsläppvisioner

I Sverige presenterade man 2017 en ny klimatlag som skall leda till nollutsläpp år 2045 (Aktuell hållbarhet, 2018).

Liknande visioner har man i Norge, där norska regeringen har utmanat bland annat den marina industrin att minska sina utsläpp bland de dubbelsidiga bilfärjorna som trafikerar de norska fjordarna.

I takt med att litiumbaserade batteri sjunker i pris och kraven på mindre utsläpp förstärks, konverterar fler och fler fartyg till hybriddrift.

4.2 Effektkrav

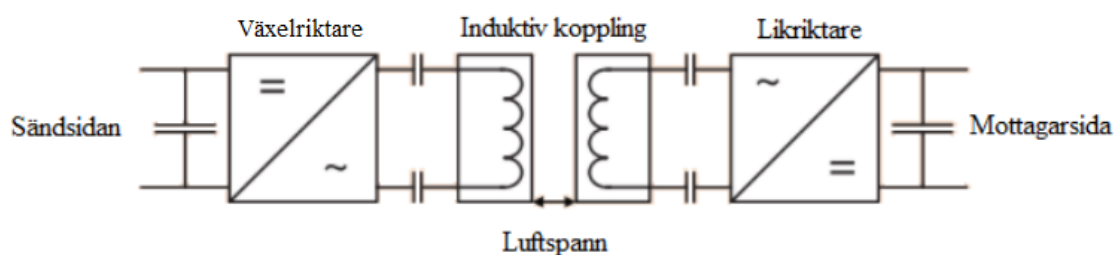
Färjor kräver relativt hög effekt för att kunna garantera säker framdrift med marginaler för väderförändringar och olika lastkonditioner. Med hamnuppehåll på så lågt som 4-5 minuter på vissa turer krävs enorm effekt på laddstationen.

Wärtsilä vill i en enda enhet ha ett effektuttag på minst 1 MW, även när färjan rör sig på grund av yttre krafter och avståndet mellan sändenhet och mottagarenhet kan variera från 20 till 50 cm.

4.3 Koppling

Eftersom avståndet mellan sändenhet och mottagarenhet är relativt högt, använder man sig av en resonanskoppling. Systemet kan liknas med en transformator med hög magnetiserande ström. Detta medför att systemet konsumerar reaktiv effekt i hög grad jämfört med aktiv effekt. För att förse systemet med den reaktiva effekt som krävs har man kopplat in kondensatorer på både mottagarsidan och sändsidan. Kopplingen fungerar även som ett bandpassfilter för strömmar nära resonansfrekvensen.

Likriktarna i systemet består av enkla diodkopplingar för att bibehålla en simpel konstruktion.



Figur 7. Schematisk ritning över IPT systemet

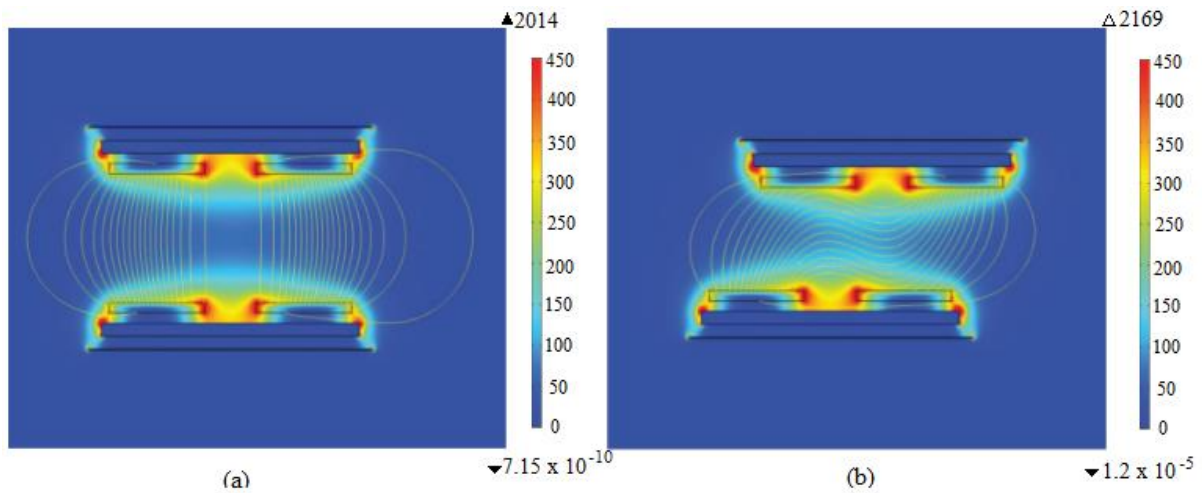
4.4 Laddplattornas utformning

Fartygets förväntade rörelsemönster består mestadels av vertikala rörelser och något begränsade långskeppsrörelser. Med hänsyn taget till de förväntade rörelserna måste laddplattornas utformning anpassas för att bibehålla effekten.

Spolens design inklusive antal lindningsvarv, erhållen frekvens, dimensioner, och tjocklek på den magnetiska bakplattan är baserad på analytiska modeller för beräkning av magnetiska fält samt resulterande effekt. Uträkningarna är verifierade genom en FEM (finite element method) analys.

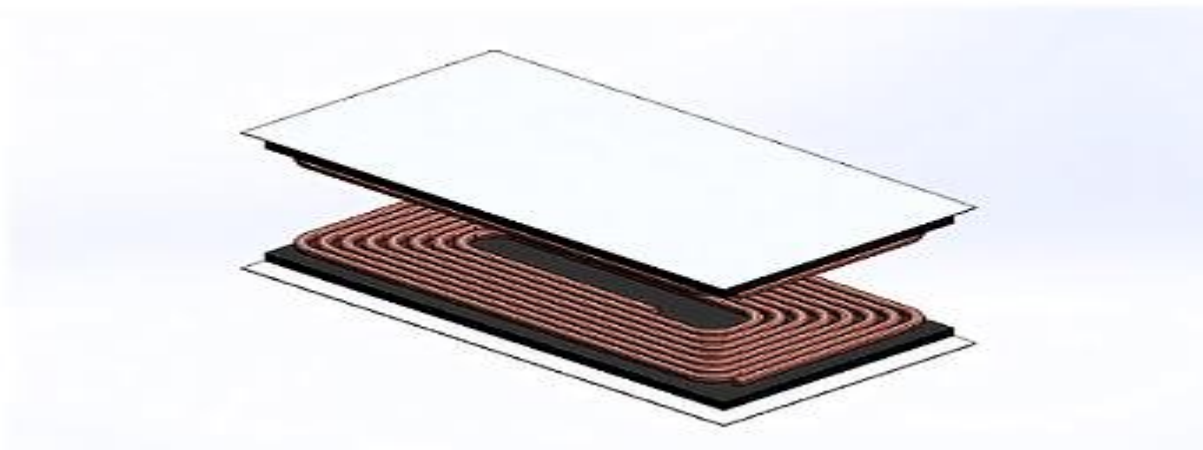
Sändenheten förväntas ha en överföringskapacitet på 500 kW/m^2 för att klara av krav på materialet samt kylning av plattorna och en erhållen frekvens på 2-8 kHz.

Liknande FEM analyser har gjorts för att verifiera elektriska parametrar vid olika positioner på plattorna, men även för att designa magnetisk avskärmning som uppfyller standardkraven. Området bakom plattorna på fartyget är isolerat från magnetfältet för att inte påverka eller skada passagerarna, men på sändenheten som står stationerad på land, finns ett säkerhetsavstånd för att överensstämma med säkerhetsförodingarna.



Figur 8. FEM analys som visar energidensitet [färgskala från 0(blå) till 450(röd) J/m^3] och energiflödesfält.

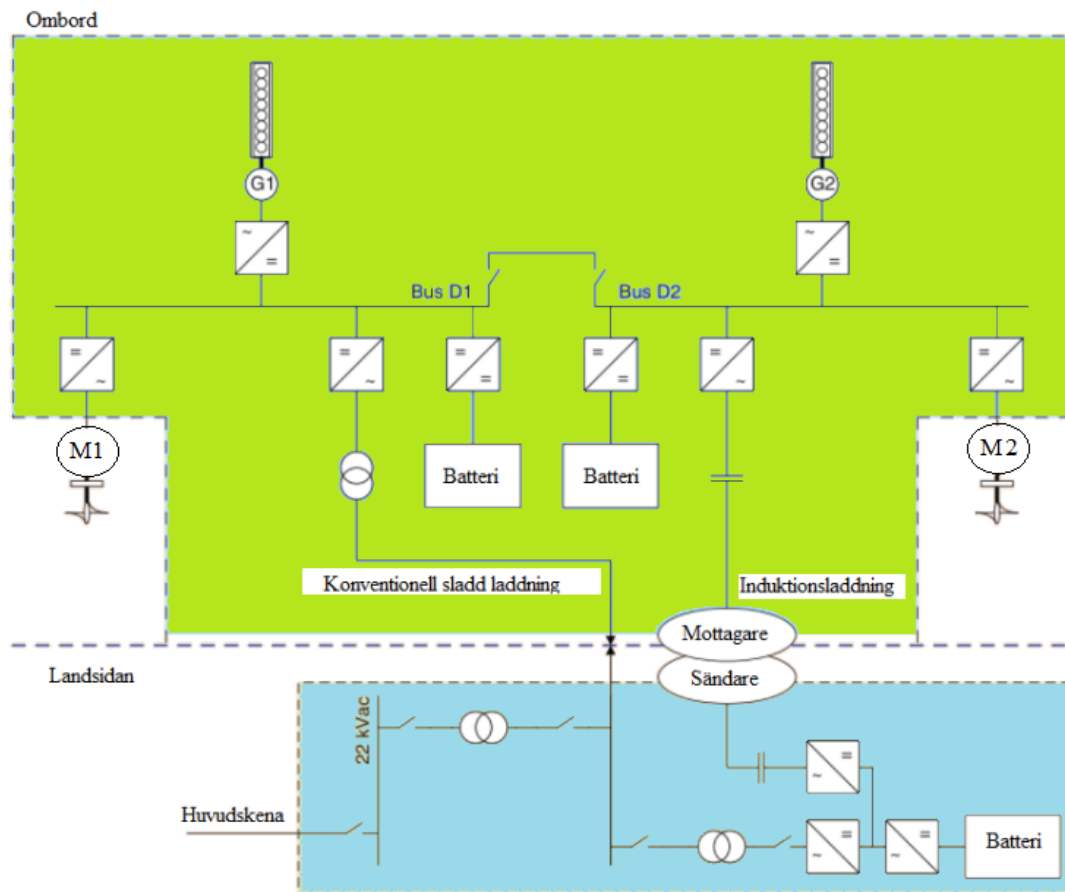
Den principiella utformningen på plattorna ser ut enligt figur 9.



Figur 9. Sänd- och mottagarspole.

4.5 Systemöversikt

Alla system är uppbyggda på olika sätt, men generellt kan ett typiskt system se ut enligt figur 10. Batteriet som är på landsidan laddas upp under tiden färjan inte ligger förtöjd, för att sedan användas vid uppladdning av färjans batteri för att inte belasta det lokala elnätet för mycket.



Figur 10. Typisk schematisk uppkoppling av hybrid drivet fartyg.

Figur 10 visar båda alternativ för laddning av fartyget, sladdladdning och trådlös laddning.

4.6 För- och nackdelar induktionsladdning

Syftet med induktionsladdning på fartyg var att man ska optimera den knappa tiden fartyget befinner sig förtöjt till kaj. Genom att helt avlägsna momentet med att dra och koppla sladd kan dyrbara minuter sparas in.

Tidsbesparingar görs även på grund av att man dimensionerar upp energiöverföringskapaciteten på induktionsladdaren. Det innebär att mer energi överförs på kortare tid än med den konventionella sladdkopplingen. Mekaniskt slitage på kopplingar och sladdar reduceras kraftigt.

Påtagliga nackdelar med induktionsladdning är att det ställer enorma krav på det lokala elnätet. Många färjor verkar på avlägsna orter där elnätet är kraftigt begränsat och känsligt för enorma kraftuttag.

Färjelägets utformning är en betydelsefull faktor för om laddstationen ska få plats eller att fundamenten kan bära tyngden.

5. Diskussion

I arbetets första skede förväntades fördelarna med induktionsladdning klart väga över nackdelarna, men det visade sig vara något mer komplicerat än så. Några av fördelarna var att man tidsoptimerar kraftigt och effektiviserar tiden man ligger förtöjd, men på bekostnad av dessa besparingar tar det lokala elnätet smällen.

Besparingar på kablar, elkontakter och slitage på dessa kan i princip försummas helt och hållet, eftersom vid reparationer eller underhåll av induktionsladdnings utrustning, kommer kabeln att nyttjas och därmed slitas. De ekonomiska aspekterna har avgränsats helt, men man kan med lätthet konstatera att man aldrig kan tjäna igen pengarna genom besparingar på kabelslitage.

Ett användningsområde där induktionsladdning kan tänkas vara applicerbart är på mindre personfärjor i till exempel Stockholm eller Göteborg. Där kan man anta att elnätet är etablerat och väl konstruerat för höga effektuttag. Dessa färjor är även mindre och kräver mindre effekt på maskineri för framdrift, således kan effekten på energiöverföringen vara dimensionerad efter ett lägre effektbehov.

Problematik uppstår med de korta kajuppehållen, då dessa färjor enbart släpper av passagerare och tar ombord nya vid varje hållplats. För att ladda batterierna krävs längre uppehåll och justeringar av turlistor med mera bör vara oundvikligt. Detta innebär minskade intäkter om färjan inte kan gå lika många turer som behövs.

Källor och referenser

Aktuell hållbarhet (2018). *Ny klimatlag ska leda till nollutsläpp 2045*. Tillgänglig:
<https://www.aktuellhallbarhet.se/ny-klimatlag-ska-leda-till-nollutslapp-2045/> [2018-04-17]

Covic, G.A. & Boys, J.T (2013). Modern Trends in Inductive Power Transfer for Transportation Applications. *IEEE*, vol. 1

Covic, G.A. & Boys, J.T (2013). Inductive Power Transfer. *IEEE*, vol. 101

Circuit globe (2018). *Skin effect*. Tillgänglig:
<https://circuitglobe.com/skin-effect.html> [2018-03-27]

Electronics Tutorials (2018). *Electromagnetic induction*. Tillgänglig:
<https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/electromagnetic-induction.html>
[2018-03-27]

Electronics Tutorials (2018). *Inductor*. Tillgänglig:
<https://www.electronics-tutorials.ws/inductor/inductor.html> [2018-03-27]

Electronics Tutorials (2018). *The current transformer*. Tillgänglig:
<https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html> [2018-03-27]

Electronics Tutorials (2018). *Power diodes and rectifiers*. Tillgänglig:
https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_5.html [2018-03-27]

Encyclopædia Britannica (2018). *Lenz's law*. Tillgänglig:
<https://www.britannica.com/science/Lenzs-law> [2018-03-27]

Faktabanken (2018). *Resonanskretsar*. Tillgänglig:
<http://faktabanken.nu/resonans.html> [2018-03-27]

Guidi, G., Suul, J.A., Jensen, F. & Sørffonn, I. (2017). Wireless Charging for Ships. *IEEE*, DOI:10.1109/MELE.2017.2718829

Jacobson, S. & Osbeck M. (2000) *Elteknik*. Chalmers Lindholmen, Institutionen för data- och elektronik.

Khan Academy (2018). *What is faraday's law?* Tillgänglig:
<https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law> [2018-03-27]

NDT Resource Center (2018). *Self-Inductance and inductive reactance*. Tillgänglig:
<https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/Physics/selfinductance.htm> [2018-03-27]

NDT Resource Center (2018). *Eddy currents*. Tillgänglig:
<https://www.nde-ed.org/EducationResources/HighSchool/Electricity/eddycurrents.htm> [2018-03-27]

Recharge (2018). *Elbilskolan: Så fungerar laddaren i elbilar*. Tillgänglig:
<http://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/artiklar/20160927/elbilsskolan-sa-fungerar-laddaren-i-elbilar/> [2018-03-27]

Tang, M. & Wendin, R. (2015) *Trådlös laddning med Qi-standard*. Chalmers tekniska högskola.

Trafikverket (2018). *Trafikstatistik om vägfärjor*. Tillgänglig:
<https://www.trafikverket.se/farjerederiet/om-farjerederiet/Organisation/trafikstatistik-om-vagfarjor/> [2018-02-19]

Trafikverket (2018). *Våra färjor*. Tillgänglig:
<https://www.trafikverket.se/farjerederiet/om-farjerederiet/vara-farjor/> [2018-02-19]

Wikipedia (2018). *Bilfärjor*. Tillgänglig:
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Bilf%C3%A4rja> [2018-02-19]

Wikipedia (2017). *Michael Faraday*. Tillgänglig:
https://sv.wikipedia.org/w/index.php?title=Michael_Faraday&oldid=40799331. [2018-03-20]

Wikipedia (2018). *Transformator*. Tillgänglig:
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Transformator> [2018-03-27]

Wärtsilä (2017) *Another world's first for Wärtsilä*, hämtad 10/11 2017. Tillgänglig:
<https://www.wartsila.com/media/news/20-09-2017-another-worlds-first-for-wartsila-wireless-charging-for-hybrid-coastal-ferry-successfully-tested> [2018-02-20]



Linnéuniversitetet
Sjöfartshögskolan

391 82 Kalmar

Tel 0772-28 80 00

sjo@lnu.se

[Lnu.se](http://lnu.se)