

EXTENDING THE RANGE OF AN ELECTRIC CAR BY POWERING IT FROM A CABLE IN THE ROADWAY¹

Assoc. Prof. Atanas Iliev, PhD

Department of Engines and transport technology

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 273

E-mail: ailiev@uni-ruse.bg

Abstract: A major problem for the mass introduction of electric vehicles in transport is the need for a battery (AkB) providing a sufficient autonomous transition. Such AkBs have a large mass and, accordingly, require a special reinforced construction of the car frame, drastically increasing its weight. A certain paradox also appears - greater mass requires more energy to move. The price of batteries has been rising in recent years due to a decrease in the quantities of its main ingredients, mainly Li.

There is another, radical approach to powering the electric motor. At its core, it is an induction transmission of energy from a cable laid at the base of the roadway. The idea is that the main source of energy is laid under the canvas, and in the car there is a receiver that receives this energy. The energy transmission itself is based on the principle of electromagnetic induction through an air gap of about 25 mm, in which direct contact of the automobile with the road is absent. In such a scheme, the main energy for movement is taken from the road.

By placing on board the car a relatively small AkB can provide autonomous driving between the main "electrified" highways. The charging of AkB can be carried out during the main movement of the electric vehicle, which is also a prerequisite for reducing the number of charging stations.

Optimizing the movement of an electric car with a similar kind of energy source is also the subject of this article.

Keywords: Electric, Vehicles, Induction, Cable, Road

ВЪВЕДЕНИЕ

Електрическите превозни средства са особено примамливи като транспорт. Правени са опити за поставяне на електрически батерии в колите още през първата половина на 19 век. През миналия век повече от сто компании са произвеждали електрически автомобили. Пикът на производството на електрически превозни средства е достигнато през 1912 г., когато са произведени около 6000 леки коли и 4000 електрически камиона, което представлява значителен дял от общото производство. Тези електрически превозни средства имат същите недостатъци (ограничен пробег, висока първоначална цена и високи разходи за монтаж) и същите предимства (шум и липса на замърсяване на околната среда) както и днес. Загрижеността за замърсяването на околната среда възниква като движение в началото на 60-те години. Очевидно е, че използването на електрически превозни средства практически елиминира замърсяването на въздуха и шума. Втората причина за явлението е петролната криза от 70-те години. Очевидно е, че индустриалните запаси от петрол са ограничени, веригите за доставка на бензин ще растат бързо и за да се развият страните, онеобходимо е да започне незабавно търсене на алтернативни източници на енергия. Затова са приети различни закони за изследване, развитие и производство на електрически и хибридни превозни средства, което да доведе до значително ускоряване на работата в тази област. Специфичните технологии, които могат да се използват за създаване на електрически превозни средства, са значително подобрени през последните 100 години. Въпреки това способността за съхраняване на електрическа енергия в достатъчни количества все още ограничава обхвата на електрическите превозни средства в сравнение с бензиновите. Това стимулира изследванията на проблема с акумулирането на електрическа енергия и в момента се разработват батерии, които значително ще увеличат обхвата на електрическите превозни средства.

¹ Докладът е представен на 26 октомври 2024 с оригинално заглавие на български език: “Увеличаване на пробега на електромобила чрез захранване от кабел в пътното платно”

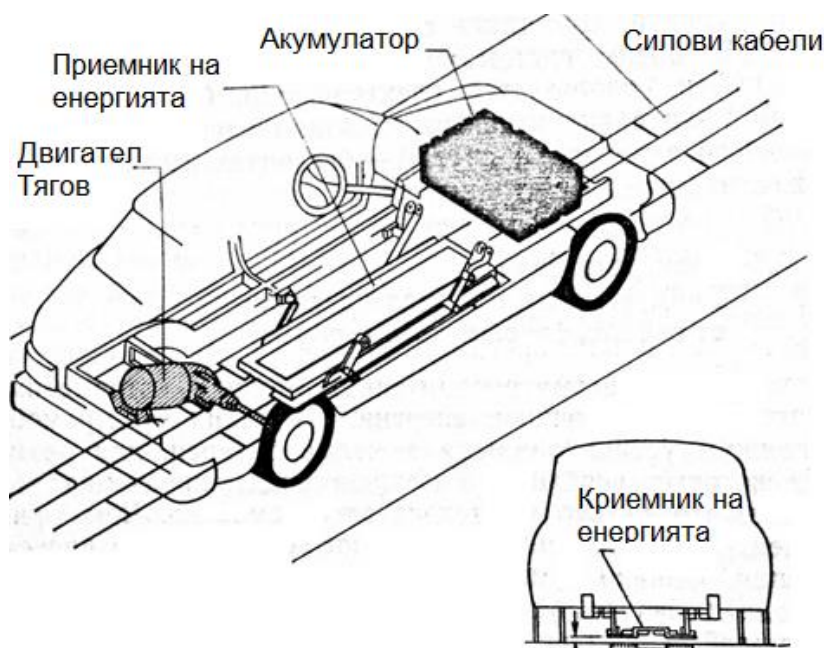
Данни за част от съвременните акумулаторни батерии са дадени в Табл.1

Таблица 1. Параметри на различни типове акумулаторни батерии

Тип на акумулаторната батерия	Относителна мощност, W/kg	Относителна енергия, Wh/kg	Цикли	Цена, US\$/kWh
Литий-йонна	230-320	90-1450	1100	180
Литий-полимерна	350	150-200	1000	150
Цинк-въздушна	30-80	100-220	500	90-120
Натрий-сярна	230	150-240	1000	200-350
Алуминий-въздушна	100	200-300	-	-
Натрий-никелхлоридна	130-160	90-120	1000	250-350
Никел-кадмиева	100-150	30-50	1000-2000	250-350
Никел-металхидридна	200-300	60-80	1000-2000	200-350
Оловна	150-400	35-50	500-1000	100-150

ИЗЛОЖЕНИЕ

Досега са разглеждани електрически превозни средства, нямащи автономни източници на енергия. Такива електрически превозни средства трябва да бъдат оборудвани с тежки и обемисти батерии, изискващи усилена носеща конструкция, за да ги поберат, което прави електрическото превозно средство значително по-тежко от аналогичното с ДВГ. Колкото по-голяма е масата на електрическият автомобил, толкова повече енергия е необходима за придвижването му. Има обаче и друго решение - индуктивно захранване с енергия от кабел, положен в пътя. Този подход позволява да се разглежда транспорта като единна система, а не като множество подсистеми, което е било типично в миналото. Тази технология е въведена за първи път от J. Volger в лабораторията на името на. Лорънс (Бъркли, Калифорния). Идеята е източникът на енергия да се намира под пътното платно, а приемникът - върху електрическото превозно средство. Предаването на енергия се извършва на принципа на електромагнитната индукция през въздушна междина от около 25 mm, така че да няма механичен контакт на приемника с пътя (Фиг. 1).

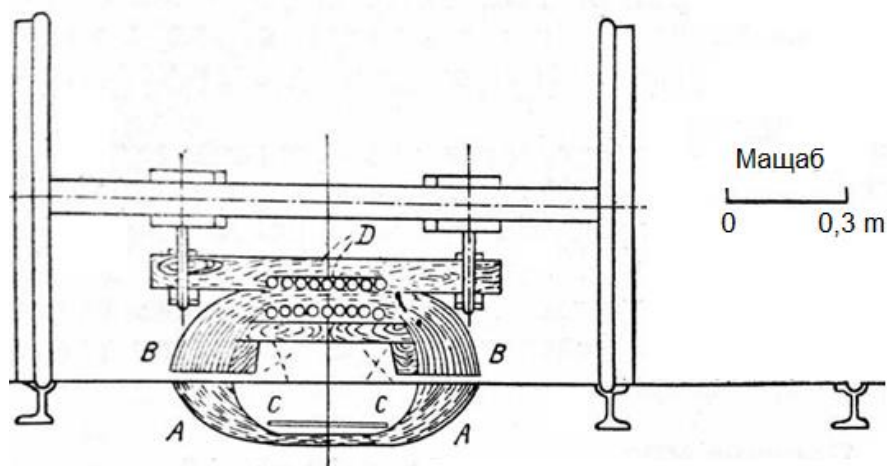


Фиг. 1. Система с индукционно предаване на енергията

В рамките на тази система движението и управлението на електрическо превозно средство може да се извършва с помощта на енергия от източник, разположен под пътното платно. Когато на борда на електрическо превозно средство е инсталиран допълнителен източник на енергия, той може да се движи по улици и пътища, които не са оборудвани с източник на енергия, т.е. да функционират извън системата. Този вграден източник на енергия най-вероятно е електрическа батерия. Енергията за движение и енергията за зареждане на бордовите батерии може да бъде взета от пътя, докато автомобилът е в системата. Това премахва нуждата да се електрифицират всички улици и пътища. Електрически преобразуватели, повишаващи честотата на електрическия ток (до 180 Hz), ще бъдат монтирани покрай пътя на еднакво разстояние един от друг. Оптималното разстояние между преобразувателите все още не е установено, но те вероятно ще бъдат разположени на всеки 10-15 км. Тъй като натоварването на държавната електрическа мрежа ще се увеличи, в (Bolger, J., 1978) се отбелязва, че „транспортна система с индуктивно захранване с енергия от кабели, положени на пътя, не трябва да налага прекомерни изисквания към системата за производство и разпределение на електроенергия. В доклад, публикуван през 1977 г. за резултатите от първото изследване, проведено в лабораторията на Lowoens (Бъркли), са направени следните заключения: „Теоретичен анализ и моделиране показаха, че достатъчно количество енергия може да бъде абсорбирано от системата. Системата е икономически жизнеспособна и няма свързани с нея неразрешени проблеми, които биха могли да я направят непрактична. В допълнение към техническите проблеми с развитието по време на разработването на системата за енергоснабдяване, включително потвърждаване на зададените технически изисквания върху експериментален модел, е необходимо да продължи изследването на влиянието на разсеяните магнитни полета, съвместимостта на системата със съществуващия автомобилен транспорт, електрическата безопасност и процеса на преход от съществуващи превозни средства към нови.“ Работата по подобряване на тази система продължава и след публикуването на доклада. В Ливърморската национална лаборатория е изградено съоръжение за динамично тестване, където се планира да се извърши обширна програма за работа с подкрепата на няколко федерални агенции и правителството на щата Калифорния. Досега изследванията не са разкрили технически проблеми, които биха попречили на създаването на такава система от електрическа гледна точка; Те позволяват да се установи, че разходите за амортизация са умерени, електрифицирането на пътищата е технически възможно и могат да се постигнат големи икономии на петрол. Необходимо е също така да се разработи оптимална схема за електрифицирани пътища и да се оцени тяхната цена за отделните райони, особено градските, както и да се определи най-ефективната стратегия за въвеждане на такава система, което е може би най-важният въпрос.

Първите проекти на превозни средства с индуктивно захранване от кабел, монтиран в пътното платно, датират още от 19^{-ти} век. Едва в последните 10-на години учените започнаха да мислят сериозно за практическото им прилагане. Идеята е патентована в Англия и САЩ през 1890 г. И двата патента предлагат начини за подобряване на преноса на електроенергия по железниците. Патент на САЩ номер 458859, от 09.1891 г., гласи, че новият метод има за цел: „преодоляване на трудностите при движение на електрически влак поради пряката връзка на източника на електрическа енергия с електрическия мотор, разположен на локомотива, чрез замяна на системата, в която се захранва електродвигателят ток не от контактната мрежа, а чрез електродинамична индукция“. Патент на Обединеното кралство № 12241, казва, че „енергията се взема от електрически проводник или проводници... чрез затваряне на отворена магнитна верига (или вериги), положена по протежение на релсов път, масивен железни тела, върху които е навит изолиран проводник (за получаване на енергия и предаването ѝ на електрически двигател или двигатели) и който се намира в някои или всички коли (или други превозни средства), които се управляват. Методът не изисква директен механичен контакт между движещи се и неподвижни части на системата (Фиг. 2). Интересно е да се отбележи, че тези патенти са издадени само няколко години след изобретяването на генератора за променлив ток (1881) и трансформатора (1876).

Системите с индуктивен пренос на енергия отговарят на екологичните изисквания за магистрали, съвместими са с други видове превозни средства, подходящи са за захранване на електрически превозни средства от всякакъв размер, не налагат специални изисквания към водача квалификации и не създават допълнителни опасности при шофиране. Потвърдена е осъществимостта на по-нататъшни експериментални изследвания.

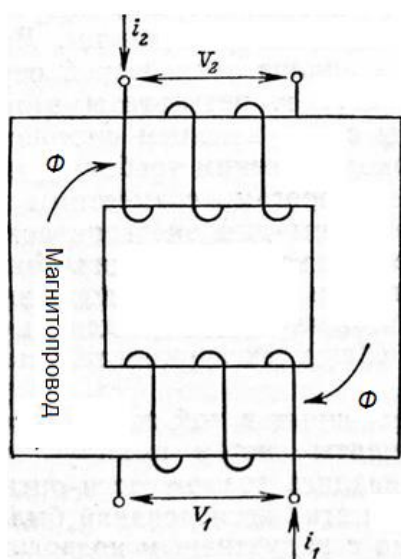


Фиг. 2. Индукционно захранване на локомотив с променлив ток

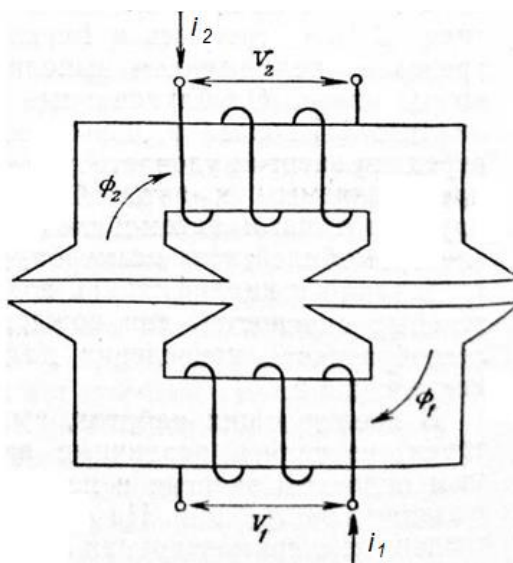
Резултатите от различните тестове потвърждават практическата приложимост и ефективността на индуктивния пренос на енергия за автомобилния транспорт. Следващата стъпка е да се определят динамичните работни характеристики на системата при условия, подобни на действителните работни условия. Разработва се „Проект на електрическа кола с индуктивно захранване (IPS) от кабел, вграден в пътя“. Изграждането и поддръжката на пътищата и масовия транспорт са сложна, отговорна и ресурсоемка задача.

От електрическа гледна точка **IPS** се изпълнява на принципа на трансформатор. Принципът на работа на трансформатора е показан на Фиг. 3. Енергията се прехвърля от първичната намотка към вторичната намотка с помощта на променливия магнитен поток, който възниква в желязното ядро. Идеалният трансформатор се описва с уравненията

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}; \quad i_1 \cdot N_1 = i_2 \cdot N_2 \quad 1, 2$$



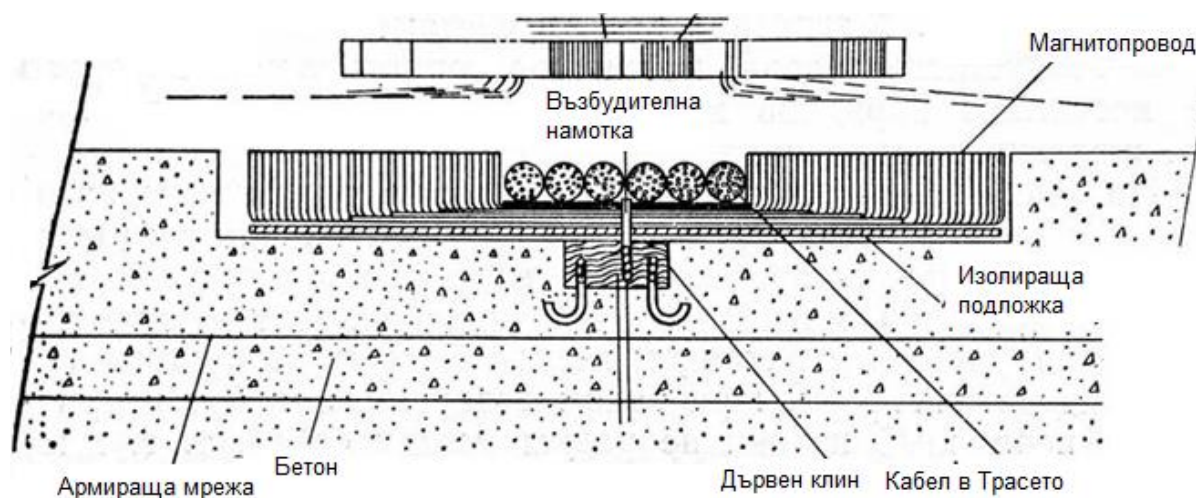
Фиг. 3 а) Трансформатор



б) Трансформатор с въздушна междина

Уравнение (1) отразява факта, че напрежението е еднакво в първичната и вторичната намотка, а уравнение (2) показва, че произведението на тока и броя на намотките също е еднакво и за двете намотки. Така получаваната мощност е равна на подаваната. Освен незначителните загуби в сърцевината и намотките, реалният трансформатор е много близък до идеалния. Коефициентът на полезно действие на трансформатора е много висок ($\approx 99\%$). За да може вторичната намотка да се движи спрямо първичната, каквато е идеята на **IPS**, е необходимо да се създаде въздушна междина в магнитна сърцевина. Този трансформатор вече не е толкова близо до идеалния. В системата **IPS** цялата пътна част е първичната намотка, а намотката или бобината, разположена върху превозното средство, е вторичната намотка. Магнитното поле в системата зависи от размера на въздушната междина, чието магнитно съпротивление е с няколко порядъка по-голямо от съпротивлението на желязното ядро. На Фиг. 3.б е показан трансформатор с въздушна междина. Напречното сечение на сърцевината в мястото на срязване се увеличава, за да се увеличи площта на преминаване на магнитния поток и по този начин да се намали магнитното съпротивление. За електрическо превозно средство с индуктивно захранване е невъзможно въздушната междина да бъде по-малка от $0,03 \div 0,05$ m. При такава въздушна междина вторичният и първичният потоци не са равни, т.е. има значителни загуби на магнитен поток и уравненията (1) и (2) вече не са приложими. За да се анализира тази система, е необходимо да се използва по-сложна теория, чиито подробности не се обсъждат тук.

Експериментален модел на електрическо превозно средство с индуктивно захранване с енергия по индуктивния маршрут е тестван по специално трасе (Фиг. 4). То е с дължина 220 m и съдържа участък със захранващ кабел с дължина 50 m.



Фиг. 4. Структура на експерименталното трасе с кабели под пътя

Симулира се ивица от високоскоростна бетонна магистрала с ширина 3,7 m - устройство за промяна на честотата на променлив ток от 150 до 400 Hz. Силата на тока в захранващия кабел се поддържа на ниво от $800 \div 1000$ A, променяйки напрежението на генератора. Първият тест на експериментално електрическо превозно средство с индуктивно захранване от кабел, положен на пътя, се е състояло на 22 април 1981 г. За да се получат характеристиките на системата и да се проучи влиянието на различни параметри, са проведени голям брой изследвания - влиянието на размера на въздушната междина, влиянието на честотата на захранващия ток, изискванията за „настройка“ на веригата с цел намаляване на загубите и получаване на високи коефициенти на трансформация на енергия и управление. Експерименталният модел е изграден на базата на автомобил Фолксваген, от който е свален двигателят и са монтирани тягови електродвигатели, приемни бобини и измервателна апаратура. Един от най-важните параметри за изследване е размерът на въздушната междина. Тестовите показват, че размерът на междината не оказва голямо

влияние върху ефективността на системата. Въпреки това има стойност на натоварване (енергията, консумирана от електрическото превозно средство), при която ефективността на системата е максимална и зависи от размера на въздушната междина.

Получените резултати дават положителна насока на бъдещото развитие на такива системи за захранване на електромобилите с енергия.

1. Увеличаването на честотата и тока, както и плътността на магнитния поток, води до увеличаване на предаваната мощност и ефективността на системата.

2. Не е необходимо да се осигурява много малка въздушна междина. Намаляването на ефективността на системата, когато разстоянието се увеличи от 2,5 до 5 m, е малко (2,5%) и преносът на енергия не се влошава.

3. Очакваната ефективност на пренос на енергия надвишава 90%. При измерване са получени стойности до 96%.

4. Магнитните сили, действащи върху обикновен автомобил или електрически автомобил с IPS система, не се усещат от водача при движение по активен участък от пътя и влизане или излизане от него.

5. При движение по активен участък от пътя превозното средство леко бръмчи поради взаимодействието с магнитното поле. Бръмченето почти не се усеща при ниски честоти на захранващия ток, но с увеличаването на честотите става по-забележимо (най-високата честота на тока по време на употреба е била 420 Hz). Силата на звука е сравнима с шума при движение по обикновен път с висока скорост.

6. Когато автомобилите са паркирани на електрифициран път, резервоарът за гориво обикновено леко се нагрява. Повишаването на температурата е умерено и не представлява опасност.

7. Електрифицираните пътища ще намалят зависимостта на транспорта от петрола. Внедряването на програми за опитни разработки ще даде възможност за избор на оптимални системи и режими на работа. Целевите функции за оптимизация трябва да бъдат капиталови разходи, експлоатационен живот и енергийни разходи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

This research is supported by the by Fund "Scientific researches" of Ruse University No. 2024-ФТ-01.

Изследването е подкрепено от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет № 2024-ФТ-01.

REFERENCES

Salisbury J. D. at all, Projectes Electrical Characteristics ot the Dynamic Roadway Powered Electric Vehicle System, Livermore, Lab, 1980, UCID-19188 rep..

Bolger J, at all, Investigation of the Feasibility of a Dual Mode Transportation System, Lawrence Berkley laboratory report, 1977

Bolger J, at all, Test ot the Performance and Characteristics of a Prototype Inductive Power Coupling for ..., Lawrence Berkley laboratory report, 1978

Walter C. E., at all, Inductive Energy Transfer In Transportation, Lawrence Berkley laboratory report, 1980

Walter C. E., at all, Roadway Powered Energy Transfer in In Transportation, Lawrence Berkley laboratory report, 1982

<https://automediam.investor.bg/a/2-novini/41959-ucheni-izmisliha-nov-nachin-za-zarezhdane-na-elektromobili>

<https://ru.euronews.com/next/2023/05/02/sweden-is-building-the-worlds-first-permanent-electrified-road-for-evs-to-charge-while-dr>

<https://auto.ru/mag/article/swedenchargingroad/>

<https://kudago.com/all/news/v-shvetsii-otkryili-dorogu-kotoraya>