

Jaroslav Sadešský – Jiří Brychcín – Zdeněk Peroutka – Pavel Drábek

Rešerše využití elektrických vozidel v inteligentních sítích SMART GRID

Rešeršní výzkumná zpráva

Pracovní balíček:

8 – Rekuperace

Rok řešení:

2013



Pracoviště: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Výzkumná zpráva č.: **22190-034-2013**

Rešerše využití elektrických vozidel v inteligentních sítích SMART GRID

Druh úkolu:	Rešeršní výzkumná zpráva
Řešitelé:	Ing. Jaroslav Sadský, Ing. Jiří Bryhcín, prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D., doc. Ing. Pavel Drábek, Ph.D.
Vedoucí úkolu:	prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran:	25
Datum vydání:	říjen 2013
Revize:	1

Tento příspěvek vznikl s podporou Evropského fondu pro regionální rozvoj a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094, s podporou projektu SGS-2012-071 a s podporou projektu TE01020038.

Anotace

Tato rešeršní práce se zabývá posouzením aspektů, které mohou mít jak pozitivní tak i negativní vliv na inteligentní síť, tzv. „Smart Grid“. Konkrétně jsou aspekty vztaženy zejména na vlivy způsobené zapojením vozidel na elektrický (popř. hybridní) pohon do provozu, jejich nabíjením a rekuperačními toky elektrické energie. Dále se práce zabývá způsoby nabíjení elektrických vozidel městské hromadné dopravy a kooperace v rámci sítě „Smart Grid“.

Seznam symbolů a zkratek

VTE	Větrná elektrárna
FTE	Fotovoltaická elektrárna
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
DDZ	Denní diagram zatížení
PEV	Plug-in electric vehicles
EMN	Energy management node
EDN	Energy distribution network
MHD	Městská hromadná doprava
SMFIR	Shaped Magnetic Field in Resonance
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
TOSA	Trolejbusový optimalizovaný nabíjecí systém (Trolleybus Optimisation Systeme Alimentation)
ACS	Automatický připojovací systém (Automated Connection System)

Obsah

1. ÚVOD.....	4
2. VLIVY NA PŘENOSOVOU SÍŤ A DENNÍ DIAGRAM ZATÍŽENÍ	5
3. SMART GRID.....	7
4. TECHNOLOGIE INTELIGENTNÍCH SÍTÍ	8
5. SPOJENÍ SMART GRID A ELEKTRICKÝCH AUTOMOBILŮ.....	8
6. ZAPOJENÍ ELEKTRICKÝCH VOZIDEL DO REGULACE DDZ	8
7. VYUŽITÍ ELEKTROMOBILŮ VE VEŘEJNÉ DOPRAVĚ	11
7.1. Bezdrátové nabíjení elektrobusů.....	11
Bezdrátový systém přenosu elektrické energie	12
Vysílač energie.....	13
Přijímač energie.....	14
7.2. Kontaktní nabíjení systémem TOSA	14
8. FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM PRO TRAKČNÍ VOZIDLA A VOZIDLA VEŘEJNÉ HROMADNÉ DOPRAVY	16
9. ZÁVĚR.....	19

1. Úvod

Využití elektrické energie pro pohon automobilů je idea stará více než sto let. Ceny paliv, jejich nedostatek, zhoršování životního prostředí v určitých lokalitách a zároveň vzrůstající požadavky na mobilitu, nás dnes jako nikdy předtím vedou k reálným myšlenkám na alternativní způsoby dopravy osob a věcí.

Snahou předních výrobců automobilů na celém světě je držet své výrobky na špici pomyslného žebříčku všech automobilových výrobků. Toho lze dosáhnout pouze při využití a neustálém vývoji nových inovativních technologií. Velký důraz je kladen na použití materiálů, nakládání a využití s energetickou kapacitou a s tím související snaha o minimalizaci emisí.

Zatímco mediální pozornost je zaměřena spíše na osobní automobily a vybrané typy užitkových automobilů, začínají se již objevovat projekty a vědecké práce zabývající se využíváním elektropohonů v městské hromadné dopravě a v příměstské drážní dopravě.

Právě v přeplněných městech je důležité se zaměřit na emise produkované běžnými spalovacími motory a hledat alternativy, které by dokázaly zlepšit stav ovzduší, snížit energetické nároky na dopravu a zvýšit přepravní komfort.

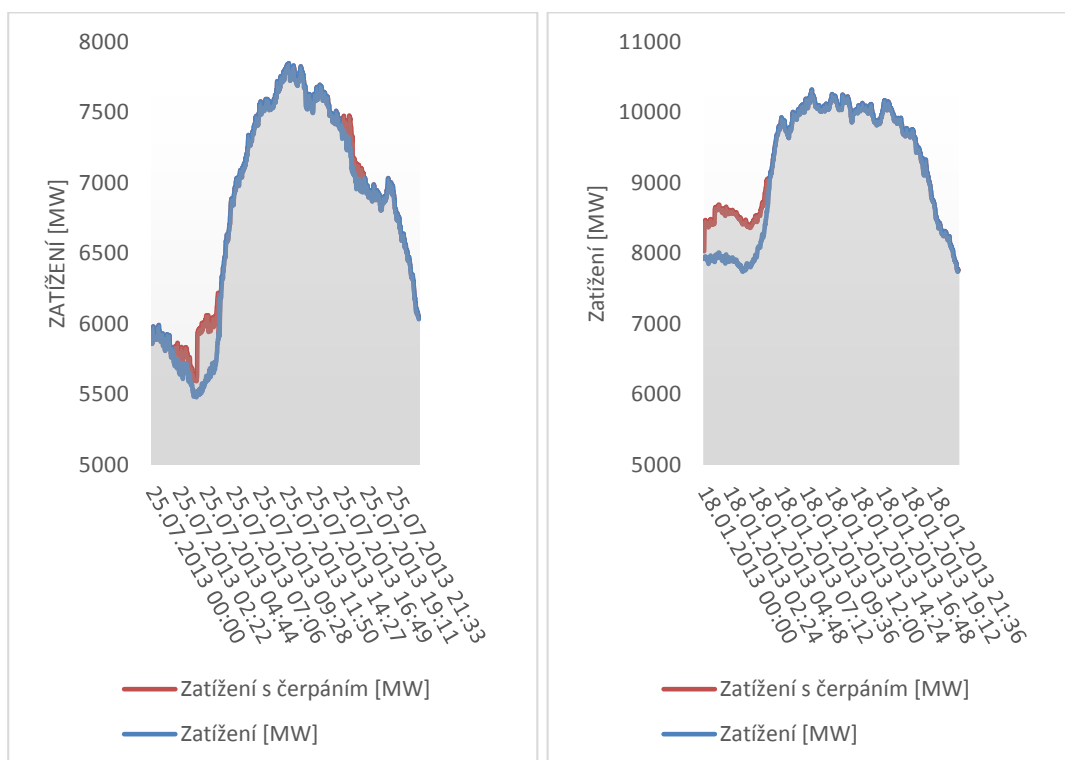
V této rešeršní práci se proto zaměříme na oblasti, které souvisí s elektromobilitou v městské hromadné dopravě, problematikou zabývající se energetickými bilancemi elektromobilů a napájením ze sítě z tzv. „Smart Grids“.

Právě díky využití chytrých sítí lze uvažovat automobily jako pohyblivé zásobárny energie, které mohou umožňovat jak odebírání energie ze sítě, tak i zpětné dodávky v případě krytí špičkových výkyvů v síti, popřípadě lokální rekuperace v rámci jedné pohonné jednotky.

2. Vlivy na přenosovou síť a denní diagram zatížení

Kromě dekarbonizace automobilové dopravy je předpoklad pro využití elektrických vozidel pro optimalizaci v distribuci elektrické energie a řízení zátěže, zejména pro minimalizaci nepříznivých změn v denním diagram zatížení. [1]

Průběh denního zatížení není konstantní pro každý den v roce, avšak dochází k diferencím mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. Průběh denního zatížení je značně odlišný v letních a v zimních obdobích, proto se změny musí predikovat ve velmi krátkých časových obdobích a aplikovat opatření pro snížení těchto diferencí. Jedním ze základních opatření je přečerpávání v přečerpávacích elektrárnách, které v závislosti na potřebě dokáží v krátkém časovém horizontu krýt přebytek (čerpání) i nedostatek (výroba pomocí vodní turbíny) elektrické energie. [2]



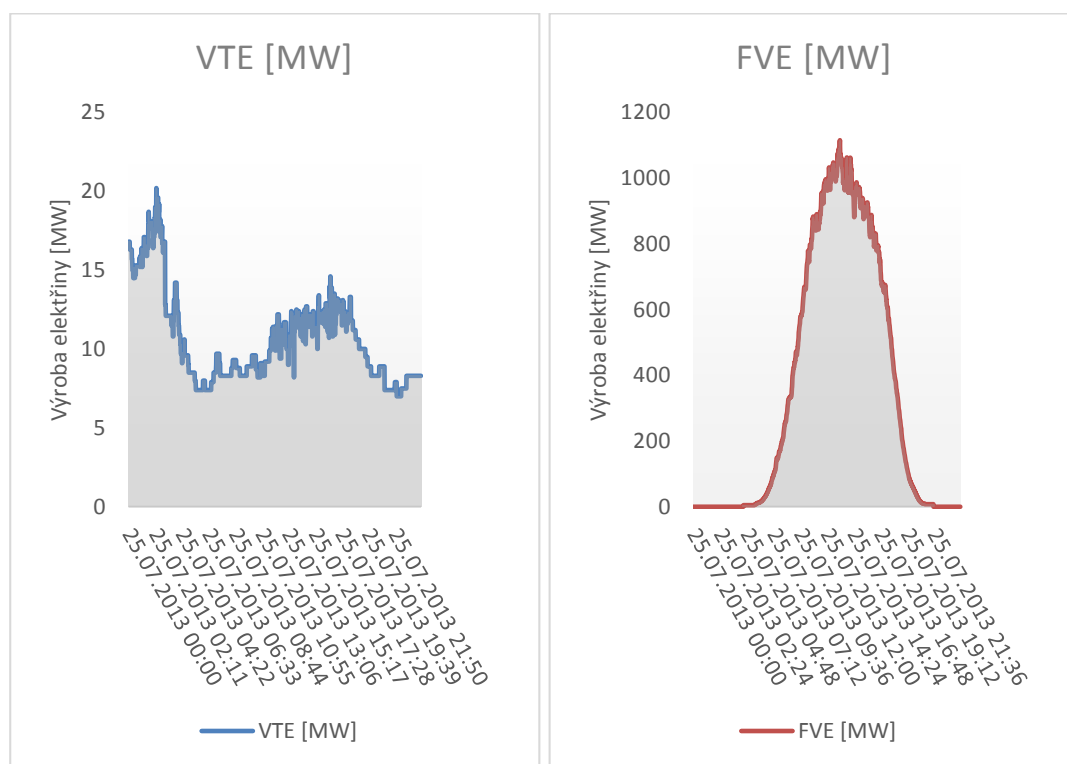
Obr.1 Denní diagram zatížení pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo) [3]

Podstatný vliv na výrobu elektrické energie mají obnovitelné zdroje. Jak z hlediska regulace v elektrických sítích tak i v nárůstu počtů zdrojů generujících tzv. zelenou energii. Na základě tohoto rozvoje vznikla studie pod názvem „Renewable Energy Sources in Figures“, která se zabývá rozvojem a využitím obnovitelných zdrojů od roku 1990 do roku 2010. [4] V této

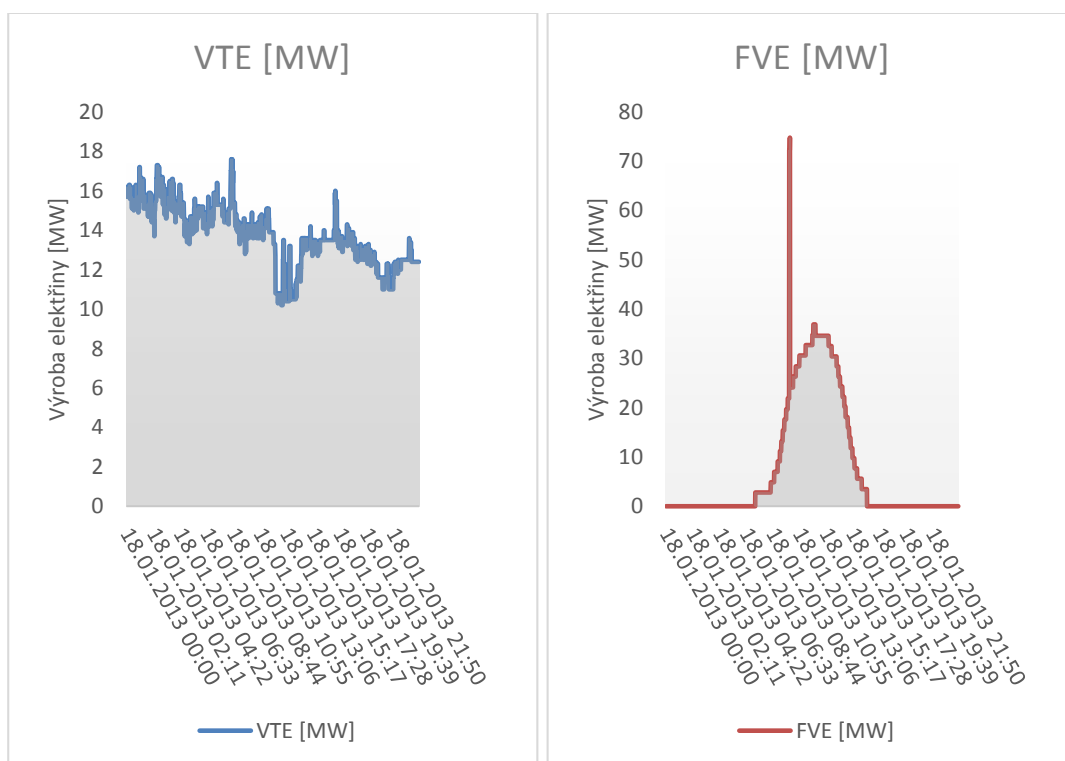
publikaci jsou podrobně uvedena data prokazující vzestup obnovitelných zdrojů ve Spolkové republice Německo a zároveň v celé Evropské unii.

Fenomén změn povětrnostních jevů, které mají přímý vliv na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, je patrný Obr.2 a Obr.3. Na těchto obrázcích je vyobrazena výroba elektřiny větrnými elektrárnami a fotovoltaickými elektrárnami v průběhu jednoho dne. Zatímco u fotovoltaické elektrárny lze předpokládat nárůst a pokles dle východu a západu slunce, není už jednoduché predikovat okamžité meteorologické stavy. Z výše uvedených obrázků je také vidět rozdílnost výrobní kapacity v letním a zimním období.

Větrné elektrárny, resp. větrné farmy fungují také jako kolísavý zdroj elektrické energie díky nerovnoměrnému rozložení slunečního záření, čímž vznikají rozdíly tlaku vzduchu, které mají za následek tendence k vyrovnávání těchto rozdílů prouděním z oblasti vyššího tlaku do oblasti nižšího tlaku. [5]



Obr.2 Výroba energie z obnovitelných zdrojů v letním období (vlevo VTE, vpravo FVE) [3]



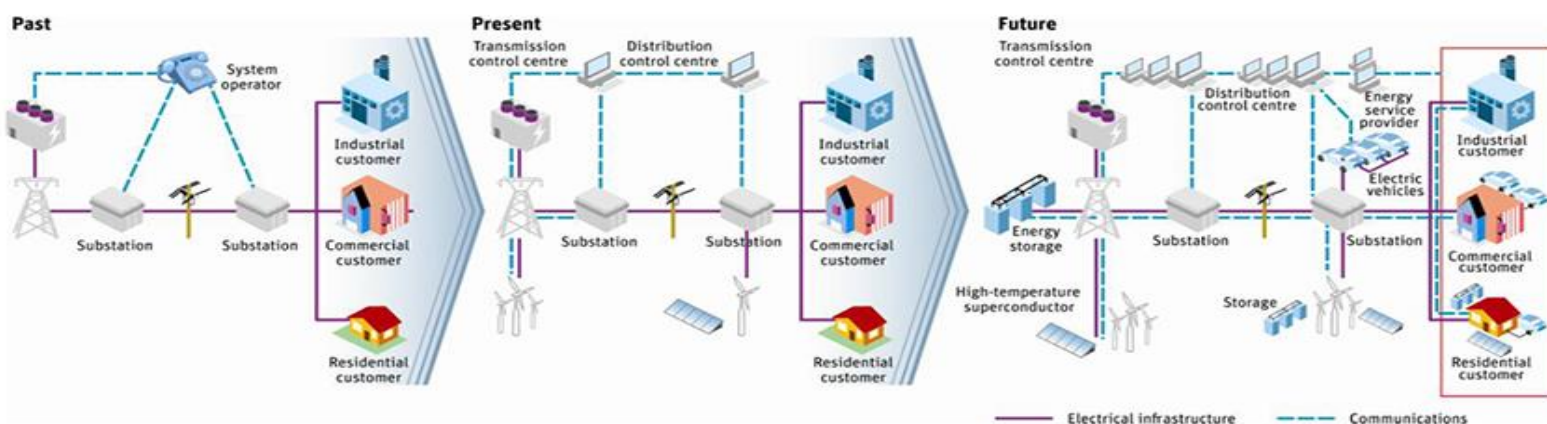
Obr.3 Výroba energie z obnovitelných zdrojů v zimním období (vlevo VTE, vpravo FVE) [3]

Pro integraci obnovitelných zdrojů elektrické energie se vytvářejí sofistikované dynamické modely sítě, které zahrnují pokrytí spotřeby, ztráty v síti a plánované toky elektrické energie [6]. Data z typových testů elektrických sítí jsou k dispozici na [7].

Studie z roku 2012 se zabývá ekonomikou a dopady emisních omezení ve vztahu k větrným turbínám spolu s elektrickými automobily. Pojednává se zde také o aspektech a rozdílech výstavby větrných turbín na volném moři a na pevnině. Výhody mořského stabilního větru stírají problémy s transferem elektrické energie na pevninu. [8]

3. Smart Grid

Smart Grid je „chytrá“ elektrizační síť, která je založena na vzájemné komunikaci mezi napájecími prvky a jednotlivými účastníky spotřebovávajícími elektrickou energii v síti. Právě díky komunikaci, monitoringu a řízení přenosu elektrické energie je možno efektivně rozdělit elektrickou energii.



Obr.4 Vývoj chytrých sítí [1]

4. Technologie inteligentních sítí

Existuje několik rozdílných technologií, které obstarávají informace a komunikaci jako je například internet, radiové vlny, mobilní síť, nebo pevná komunikační síť. Shromažďování těchto informačních řetězců si nelze představit bez sofistikovaných senzorických systémů a bez výměny velkého množství dat v reálném čase v různých úrovních dodavatelského řetězce. Senzory mohou být nainstalovány na každém zařízení v síti. Základní principy těchto Smart technologií jsou popsány v [1].

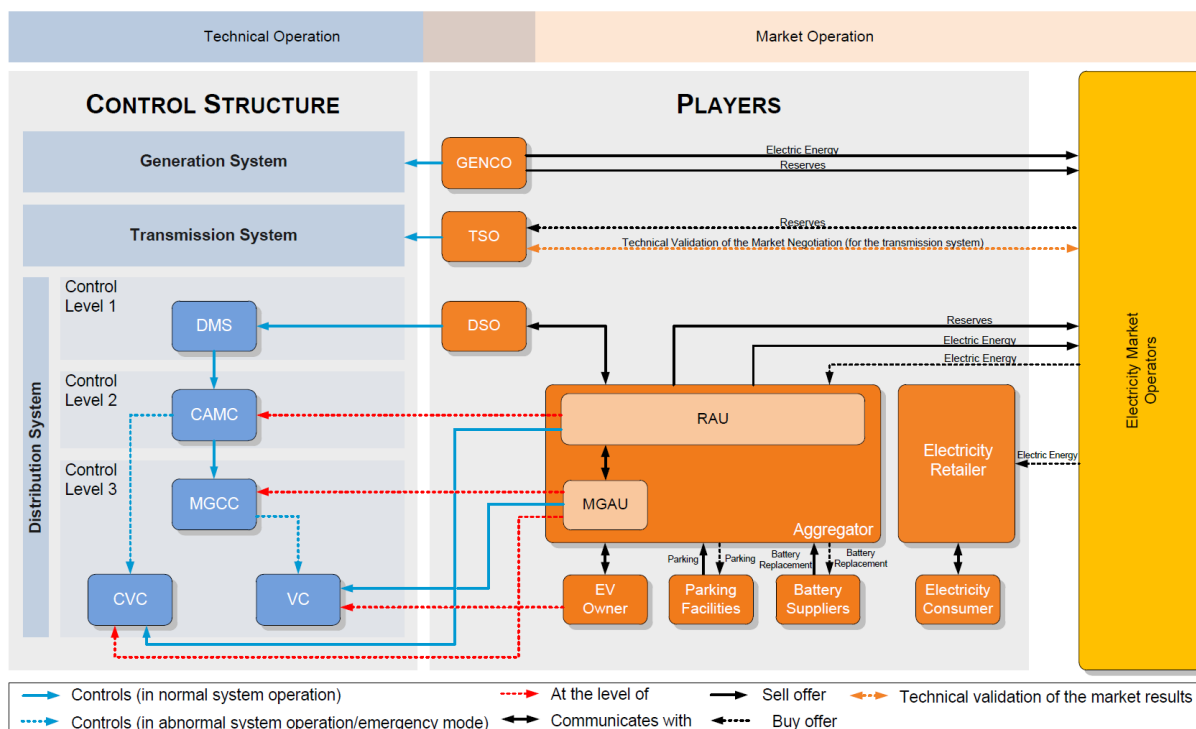
5. Spojení Smart Grid a elektrických automobilů

Již dlouhou dobu se ve světě vědy hovoří o určitém potenciálu v zapojení elektrických automobilů do technologie inteligentní sítě, která by své regulační přebytky mohla ukládat do baterií elektromobilů a zpět odebrat v případě nedostatku v síti (tzv. vehicle to grid V2G, popřípadě vehicle to home V2H).

6. Zapojení elektrických vozidel do regulace DDZ

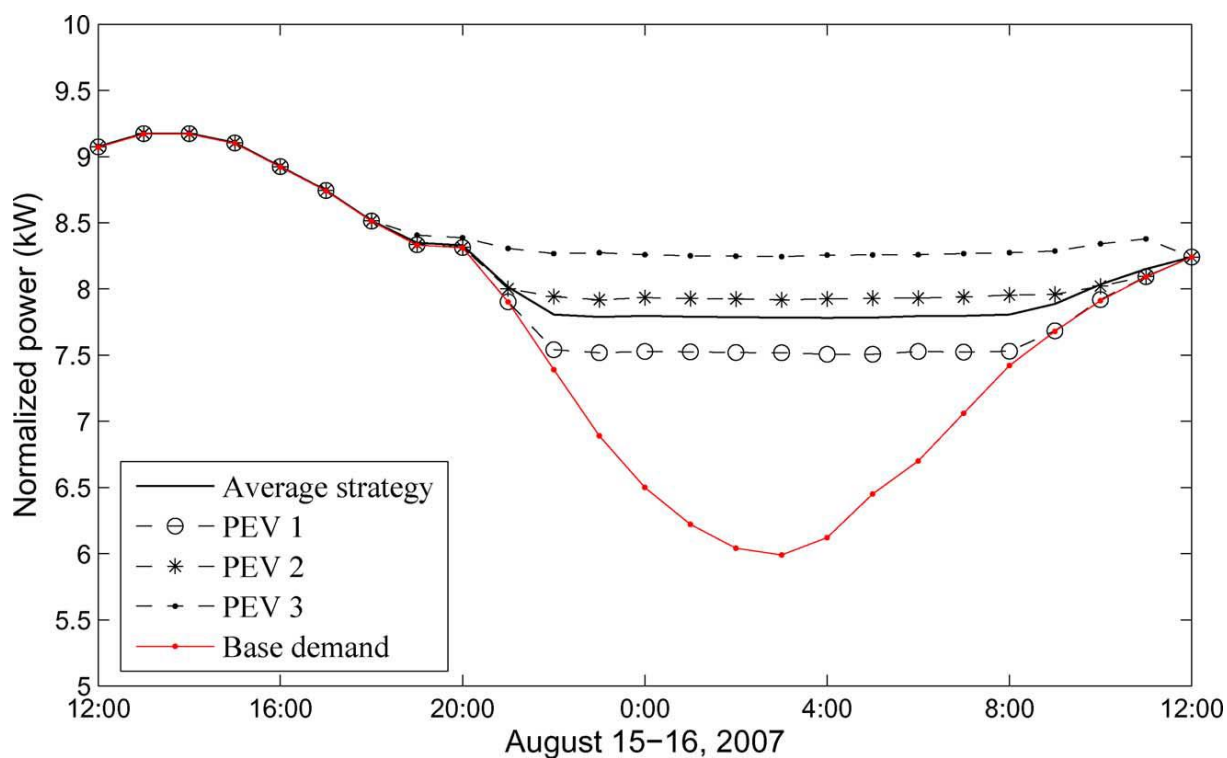
Metoda zapojení elektrických vozidel do regulace DDZ spočívá ve využití velkého počtu zapojených účastníků do sítě Smart Grid a poskytnutí zátěže ve formě kapacity baterií v automobilu. Cílem této metody je vytvořit několik skupin uživatelů elektrických vozidel, které by svým sofistikovaným nabíjením dopomohly k snížení rozdílů mezi kolísavou výrobou a spotřebou elektrické energie. S tím souvisí i nižší požadavky na regulaci zdrojů elektrické energie a provoz při jmenovitém zatížení, tedy se stabilní účinností výroby.

Téměř na první pohled jednoduchý princip v sobě skrývá velmi sofistikovaný systém, který musí skloubit technické operace s operacemi finančního trhu.



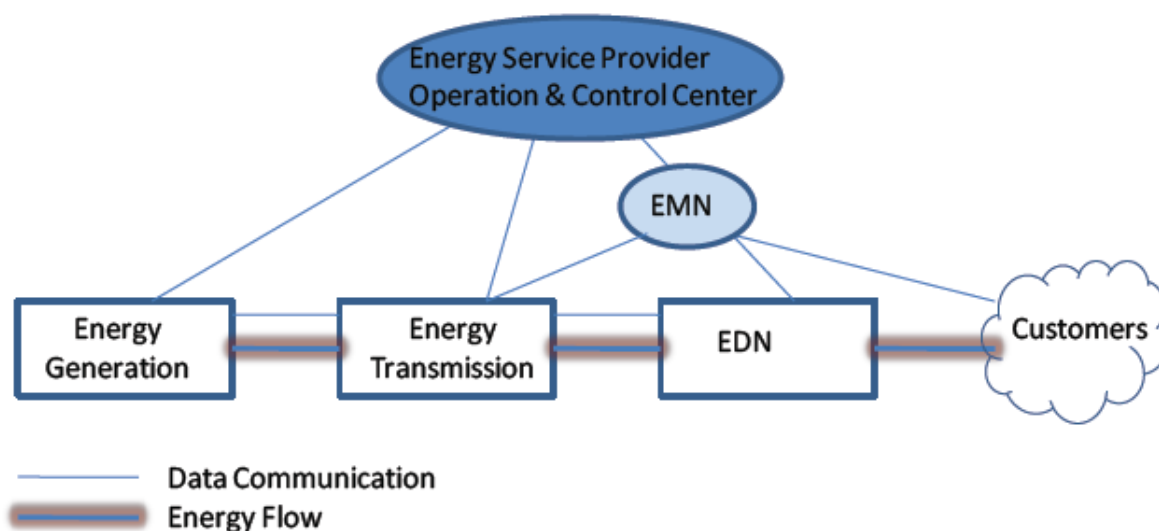
Obr.5 Technický management a tržní operace pro integraci do energetického systému [9]

Ze studie provedené ve Spojených státech amerických vyplývá, že průměrné osobní vozidlo ujede průměrně 28 mil (45km) za den a průměrná doba jedné cesty je 25min. [10] Z toho vyplývá, že PEV zůstávají velmi podstatnou část dne zaparkované a tak i dostupné pro dobíjení baterií. Tato dostupná doba se přes den pohybuje okolo 8 hodin a méně, a proto může být nabíjení koordinováno dle potřeb sítě s tím, že vozidlo musí být po této uvažované době plně nabito a k dispozici uživateli. [11]



Obr.6 Konvergenční algoritmus pro heterogenní populaci PEV [11]

Prioritou takovéto regulace je zachování kvality dodávky elektrické energie, a proto je velmi důležitá kooperace na několika stupních, které zahrnují výrobu, přenos i distribuci elektrické energie.



Obr.7 Nejvyšší úroveň distribučního systému [12]

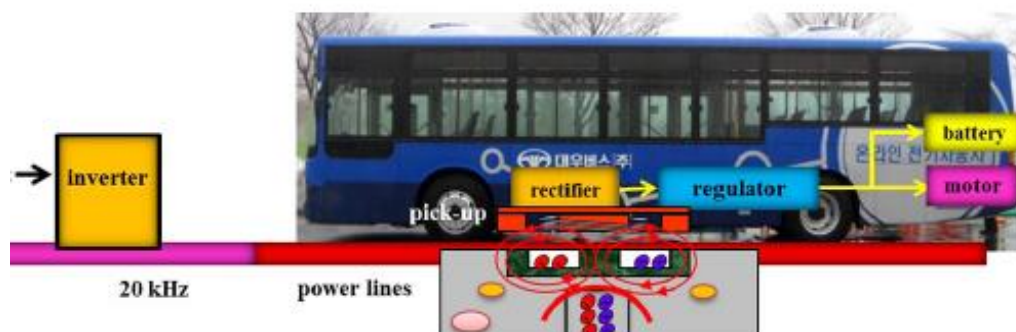
7. Využití elektromobilů ve veřejné dopravě

Spolu s výzkumem vozidel na čistě elektrický pohon souvisí i výzkum nabíjení a způsob předání elektrické energie vozidlu. Díky principům magnetické rezonance a elektromagnetické indukce lze vytvořit vysoce efektivní přenos energie na vzdálenost cca několik centimetrů až do několika metrů [13] a [14].

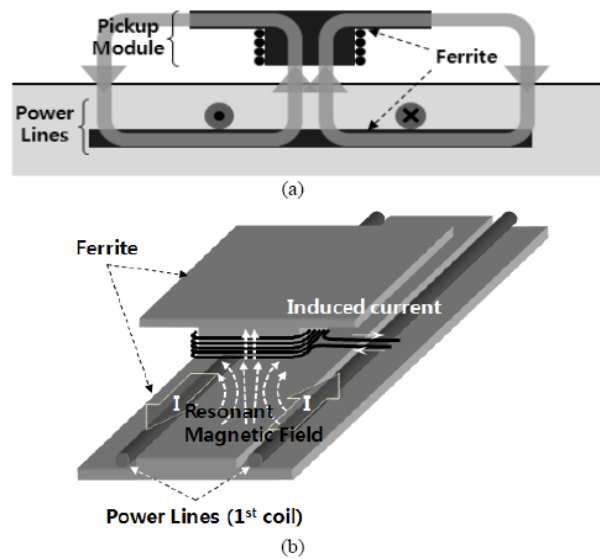
Kromě bezdrátových technologií jsou vyvíjeny i systémy na principu nabíjení pomocí kontaktního ramena, jako je například systém TOSA, který vzniká ze spolupráce společnosti ABB, OPI, TPG a SIG

7.1. *Bezdrátové nabíjení elektrobuses*

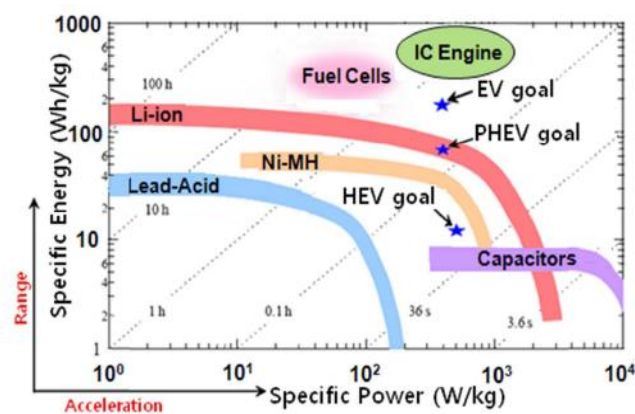
Jižní Korea zprovoznila první elektrobusesy s bezdrátovým nabíjením, založeném na technologii pole magnetické rezonance. Tato technologie umožňuje elektrobusesům čerpat energii bez přímého kontaktu se zdrojem. Elektrobuses je možné nabít při stání, nebo za jízdy prostřednictvím kabelů uložených v zemi. Vodiče pro nabíjení jsou umístěny 30cm pod povrchem vozovky a vzduchová mezera mezi vozidlem a vozovkou je 17cm. Výkon je přenášén prostřednictvím tvarového magnetického pole v rezonanci (SMFIR). Vodiče uložené v zemi pod povrchem vozovky jsou napájeny ze střídače a vytváří magnetické pole, které se v přijímací cívce na spodní straně vozidla přemění na elektřinu. Tvar elektromagnetického pole, napájecí vodiče a přijímací cívka jsou znázorněny na Obr. 9. Účinnost tohoto přenosu je 85%. Použité baterie mají tři krát menší velikost, než mají běžné elektrobusesy, což snižuje hmotnost vozidla a jeho spotřebu. Závislost měrné energie na měrném výkonu jednotlivých baterií je znázorněna na Obr. 10.



Obr.8 Principiální blokové schéma bezdrátového nabíjení elektrobuse [15]



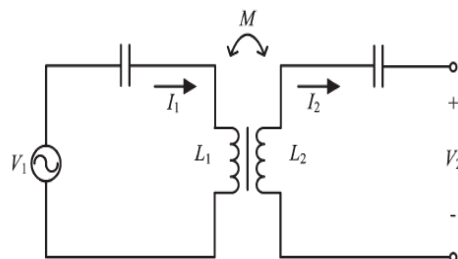
Obr.9 Tvar elektromagnetického pole, napájecí vodiče a přijímací cívka [16]



Obr.10 Závislost měrné energie na měrném výkonu jednotlivých baterií [13]

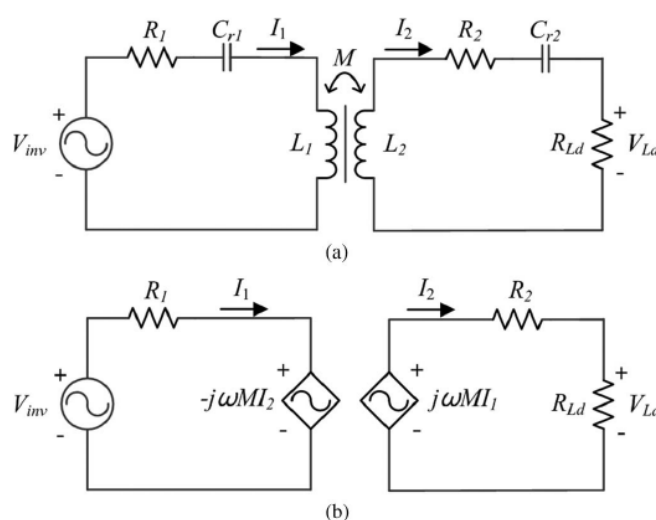
Bezdrátový systém přenosu elektrické energie

Bezdrátový systém přenosu elektrické energie využívá induktivní vazby.



Obr.11 Základní obvod modelu bezdrátového přenosu elektrické energie [15]

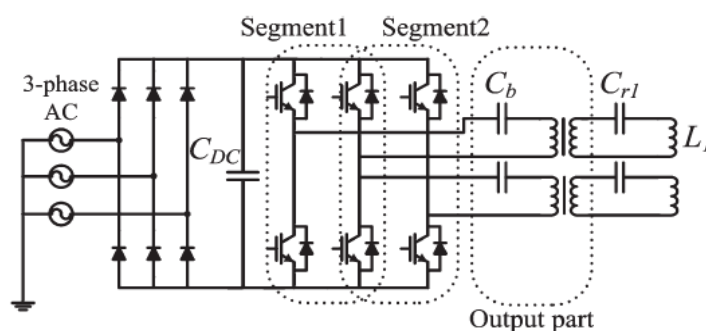
Obr. 11 je základní obvod modelu bezdrátového přenosu elektrické energie, tento obvod je principiálně stejný jako model transformátoru. Větší vzájemná indukčnost zvyšuje účinnost přenosu. Vzájemná indukčnost závisí na L_1 , L_2 a parametru k , což je činitel vazby, který je velmi malý vzhledem k velké vzduchové mezeře mezi cívkami. Proto bezdrátový systém používá velkou šířku jádra. Pro kompenzaci jalového výkonu a zvýšení účinnosti přenosu se používají kondenzátory. Tyto kondenzátory rezonují s cívkami na provozní frekvenci a vytváří tak minimální impedanci.



Obr.12 a) ekvivalentní schéma, b) ekvivalentní schéma při rezonanci [15]

Vysílač energie

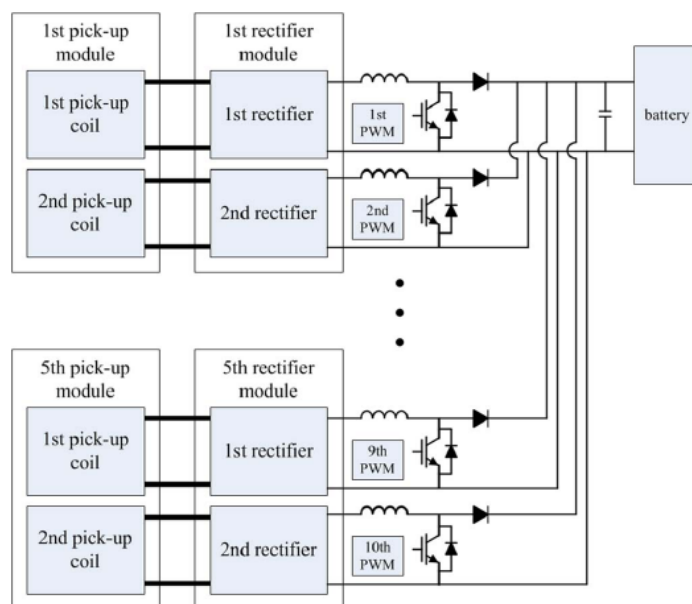
Napětí ze sítě o frekvenci 50 Hz je usměrněno a rozstřídáno na 20 kHz pomocí střídače a přivedeno do vysílacích cívek. Schéma zapojení vysílače je na Obr. 13.



Obr.13 Schéma zapojení vysílače [15]

Přijímač energie

Skládá se z feritového jádra, přijímacích cívek, kompenzačních kondenzátorů, usměrňovačů a zvyšovacích pulzních měničů pro nabíjení trakční baterie. Blokové schéma zapojení je uvedeno na Obr. 14.



Obr.14 Schéma zapojení přijímače energie [15]

Touto problematikou se dále zabývá [17], [18], [19].

7.2. Kontaktní nabíjení systémem TOSA

Oproti bezkontaktnímu dobíjení v systému TOSA uvažujeme dva principy dobíjení:

- 1) Dobíjení na trase (in-route charging) - Dobíjení na trase spočívá ve využití akumulátoru s menší kapacitou na palubě elektrobuse. Dobíjení probíhá zhruba 15 sekund ve vybraných zastávkách a po dobu 3 až 4 minut v konečné zastávce.
- 2) Dobíjení na konečné zastávce (terminal charging) - Pro tento princip je třeba, aby byl elektrobuse vybaven akumulátorem s větší kapacitou a tedy s delším dojezdem. Dobíjí se pouze na konečných zastávkách po dobu asi 10 až 15 minut.

První autobus se systémem dobíjení in-route charging byl v květnu letošního roku představen na velké mezinárodní dopravní konferenci UITP ve švýcarské Ženevě. Základní technologie pro

tento projekt pochází z dílny ABB, včetně trakčního zařízení a nového typu plně automatického systému rychlého dobíjení. [20]

První systémy založené na tomto principu se již zkoušejí v americké Kalifornii nebo ve švýcarské Ženevě.

Testovací trasa ve švýcarské Ženevě využívá model elektrobusu, který má kapacitu 133 cestujících a bude jezdit na lince číslo 5 dopravního podniku TGP. Délka linky je 8,8 km se dvěma konečnými a 42 běžnými zastávkami přičemž 15 sekundové dobíjení probíhá na 12 z nich. [20]



Obr.15 Elektrobus Hess vybavený nabíjecím systémem TOSA [20]

Nabíjení probíhá automaticky, povinností řidiče je jen zastavit přibližně na stanovené značce na zastávce. Nabíjecí zařízení se skládá z nabíjecího sloupu a nabíjecího ramene na střeše autobusu. O vzájemné propojení nabíjecích hlavic se stará laserový polohový systém ACS. Během 15 sekundové doby dokáže 400kW nabíječka baterii dodat cca 1,5 kWh energie. [21]

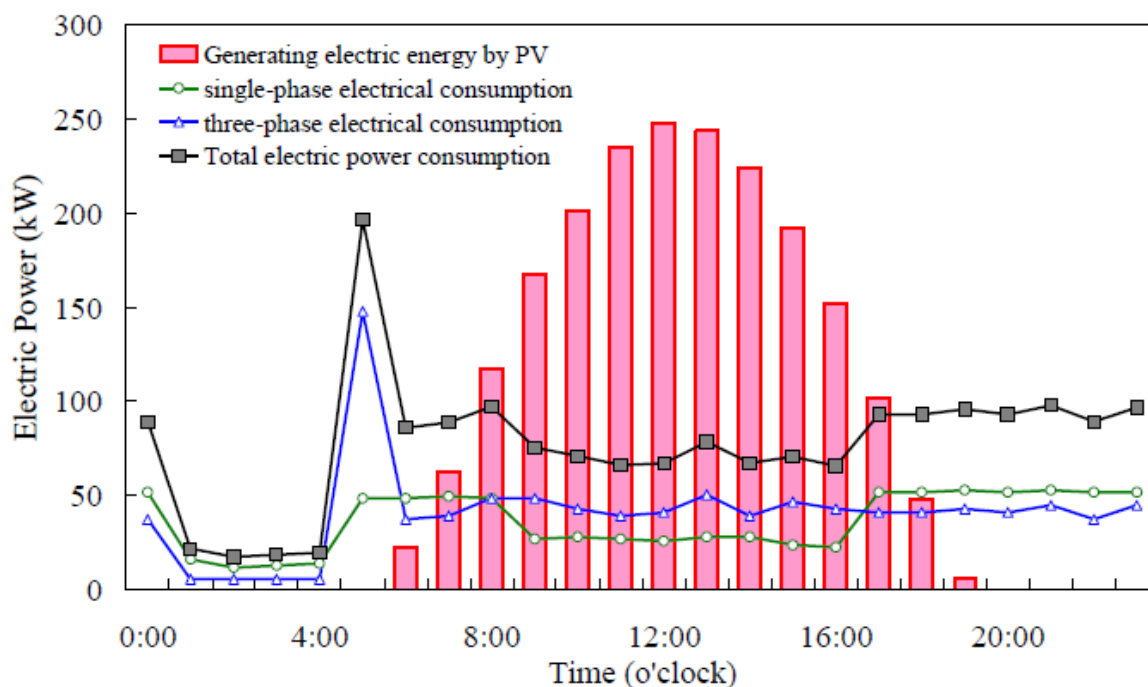


Obr.16 Obrázek 12 Nabíjecí hlavice systému TOSA [21]

Elektrobus vyjíždí na trasu vždy s plně nabytou baterií a dobíjecí stanice na trase dodají autobusu energii pouze na pár kilometrů jízdy a tím prodlužují dojezd základní sady baterií.

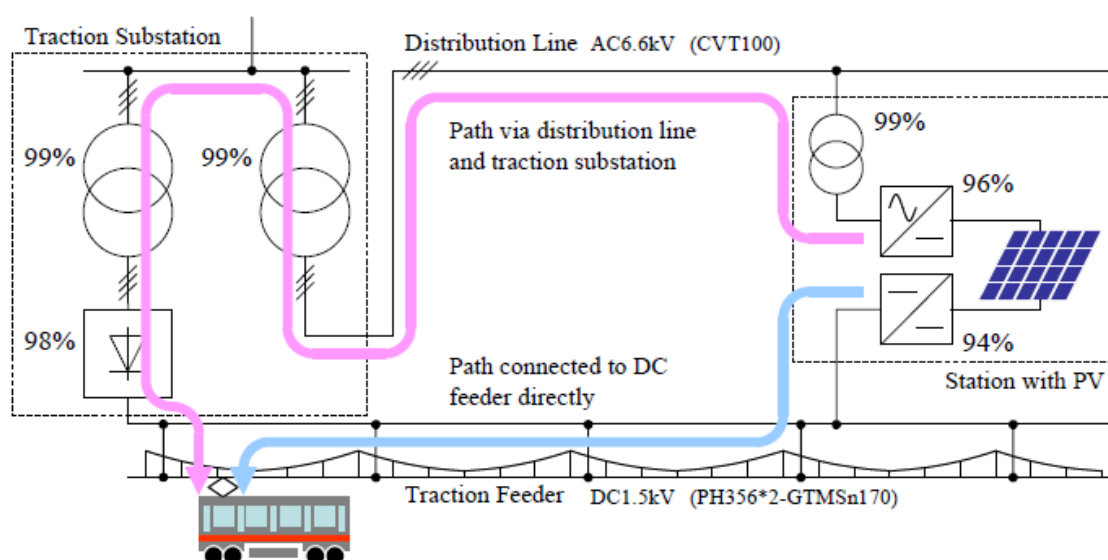
8. Fotovoltaický systém pro trakční vozidla a vozidla veřejné hromadné dopravy

Článek [22] se zabývá využitím fotovoltaických systémů umístěných na střeše železniční stanice pro napájení a stabilizaci napětí stejnosměrné troleje a vyrovnávání napětí distribuční sítě.



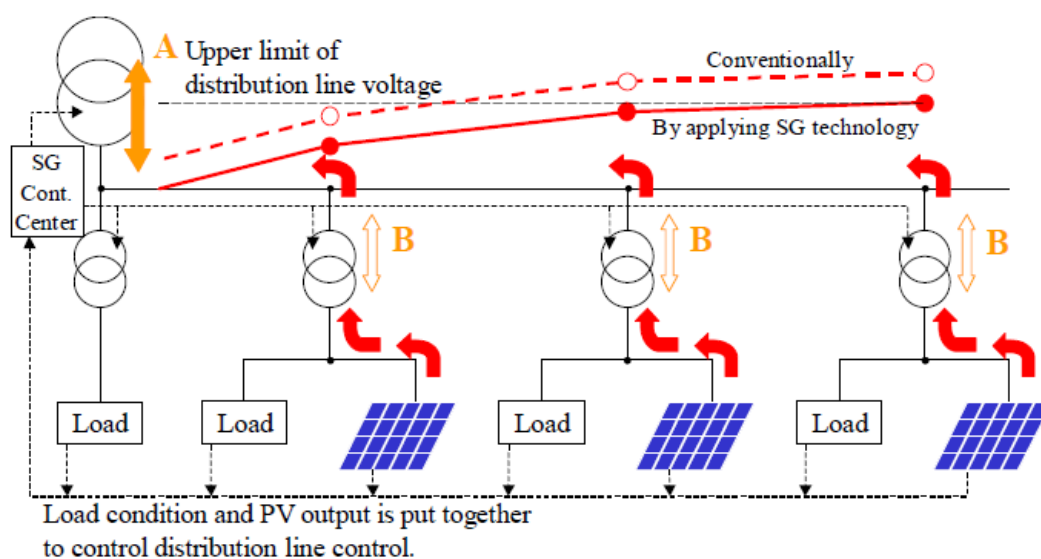
Obr.17 Porovnání výkonu generovaného fotovoltaickým systémem a zatížení stanice [22]

První možností je napájet střídavou distribuční síť 6,6kV a v trakční měničce převést na 1,5kV stejnosměrných, nebo napájet stejnosměrnou síť přímo z výstupu fotovoltaického systému. Oba způsoby jsou znázorněny na Obr. 18.



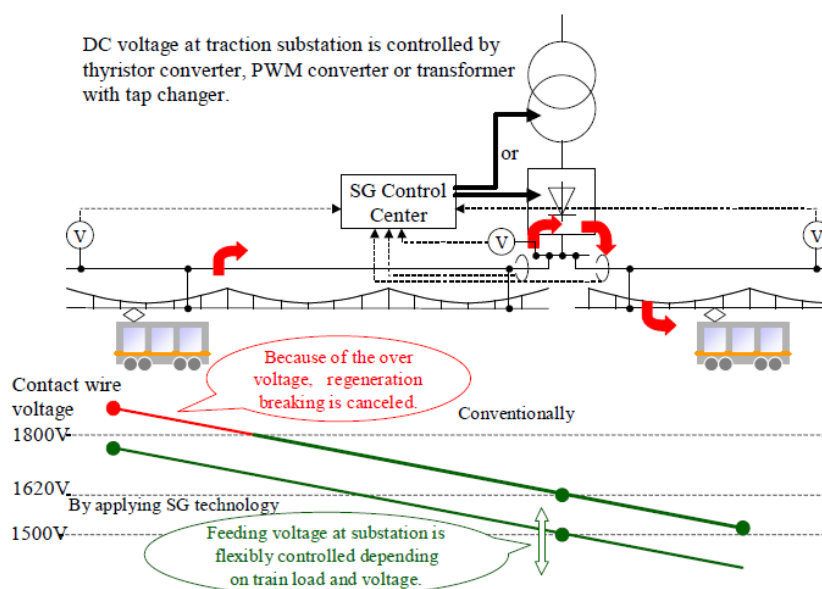
Obr.18 Možnosti napájení z fotovoltaického systému na střeše železniční stanice [22]

Na Obr. 19 je znázorněno použití fotovoltaického systému pro stabilizaci napětí distribuční sítě.



Obr.19 Stabilizace napětí distribuční sítě [22]

Obr. 20 znázorňuje možnost využití energie z rekuperačního brzdění pomocí Smart Grids. Stejnoseměrné napětí trakční měničny je řízeno pomocí tyristorového usměrňovače, PWM měniče, nebo řízeného transformátoru.



Obr.20 Řízení stejnosměrného napětí v troleji [22]

9. Závěr

V této rešeršní práci byla popsána základní problematika provozu elektrických vozidel ve veřejné distribuční síti a jejich přínos v oblasti regulace spotřeby elektrické energie. Velmi podstatnou roli v tomto oboru hrají fleetové firemní automobily, automobily běžných uživatelů, ale i flotily vozidel MHD. Elektrická vozidla mají potenciál nejen při regulaci diagramu denního zatížení, ale především při kompenzaci špiček způsobených provozem obnovitelných zdrojů elektrické energie, především provozem fotovoltaických a větrných elektráren.

Využití kapacity baterií elektrických vozidel pro ukládání elektrické energie a využívání pro regulace v elektrizační síti je po technické stránce velmi sofistikovaný systém, který v sobě zahrnuje jak distribuci elektrické energie, tak i komunikační a řídicí systémy od nejnižší úrovně řízení nabíjení elektromobilu až po komplexní řídicí systémy, které dokáží v reálném čase regulovat a řídit toky silové elektrické energie.

Literatura

- [1] T. Morgan, „Smart grids and electric vehicles: Made for each other?“, OECD/ITF, 2012.
[Online]. Available: <http://www.internationaltransportforum.org/>.
- [2] J. Archalous a Z. Sloupenský, Posouzení problematiky přečerpávacích vodních elektráren, Brno: Vysoké Učení Technické v Brně, 2009.
- [3] ČEPS. a.s., 2013. [Online]. Available: <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Vsechna-data/Stranky/Zatizeni.aspx>.
- [4] D. Böhme, W. Dürrschmidt a M. Mark, Renewable Energy Sources in Figures, National and International Development, Berlin - Germany: Federal ministry for the Environment, nature Conservation and nuclear Safety (BmU), 2012.
- [5] Hošek, J., Ústav fyziky atmosféry AVČR, v.v.i. v Praze, „Vítr – jeho vznik a měření,“ *Geografické rozhledy*, 2 12 2008.
- [6] K. Máslo a M. Pistora, „Long-term Dynamic Modeling of Renewable Energy Sources,“ v *EUROCON - International Conference on Computer as a Tool (EUROCON)*, 2011 IEEE , Lisbon, 2011.
- [7] „Power Systems Test Case Archive,“ University of Washington, Electrical Engineering, [Online]. Available: <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>.
- [8] Q. Guo, J. Han, M. Yoon a G. Jang, „A study of economic dispatch with emission constraint in smart grid including wind turbines and electric vehicles,“ v *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2012 IEEE, Seoul.
- [9] P. M. Pousada da Rocha Almeida, „Impact of vehicle to grid in the power system dynamic behaviour,“ 2011.
- [10] D. Davis, S. Diegel a R. Boundy, „Transportation energy data book,“ Oak Ridge National Lab., Oak Ridge, 2010.

- [11] M. Zhongjing, D. Callaway, I. Hiskens a S. Duncan, „Decentralized Charging Control of Large Populations of Plug-in Electric Vehicles,“ v *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, 2013.
- [12] K. Shuaib a L. Zhng, „A priority based approach for PEV charging in a Smart Grid,“ v *Computing, Communications and Applications Conference (ComComAp)*, Hong Kong, 2012.
- [13] Y. Kubo, N. Shinohara a T. Mitani, „Development of a kW class microwave wireless power supply system to a vehicle roof,“ v *Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Applications (IMWS), 2012 IEEE MTT-S International*, Kyoto.
- [14] Y. Hori, „Future vehicle society based on electric motor, capacitor and wireless power supply,“ v *Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International*, Sapporo.
- [15] J. Shin, S. Shin, Y. Kim, S. Ahn, S. Lee, G. Jung, S. J. Jeon a D. H. Cho, „Design and Implementation of Shaped Magnetic-Resonance-Based Wireless Power Transfer System for Roadway-Powered Moving Electric Vehicles,“ v *Industrial Electronics, IEEE Transactions on (Volume:61, Issue: 3)*, 2013.
- [16] S. Ahn a J. Kim, „Magnetic Field Design for High Efficient and Low EMF Wireless Power Transfer in On-Line Electric Vehicle,“ v *Antennas and Propagation (EUCAP), Proceedings of the 5th European Conference*, Rome, 2011.
- [17] „BusPress.cz,“ 10 08 2013. [Online]. Available: <http://www.buspress.cz/prvni-elektrobusy-na-svete-dobijene-pomoci-elektromagneticke-rezonance-v-beznem-provozu/>.
- [18] PTI, „First Online Electric Vehicle Platform in S Korea,“ *India times*, pp. <http://www.indiatimes.com/boyz-toyz/extra-large/first-online-electric-vehicle-platform-in-s-korea-94240.html>, 2013.
- [19] I. S. Suh, „Application of Shaped Magnetic Field in Resonance (SMFIR) Technology to Future Urban Transportation,“ 2011. [Online]. Available:

<http://koasas.kaist.ac.kr/bitstream/10203/23718/1/-CIRP-Design-2011-Paper34-Suh.pdf>.

- [20] M. Kuželka, ABB s.r.o., 2013. [Online]. Available: <http://www.abb-conversations.com/cs/2013/06/do-center-mest-patri-elektrobusy/>.
- [21] J. Grohmann, 2013. [Online]. Available: <http://www.hybrid.cz/tosa-bezobslužne-nabijeni-elektrobusu>.
- [22] H. Hayashiya, H. Yoshizumi, T. Suzuki, T. Furukawa, T. Kondoh, M. Kitano, T. Aoki, T. Ishii, N. Kurosawa, T. Miyagawa a E. J. R. Company, „Necessity and possibility of smart grid technology application on railway power supply system,” v *Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference*, Birmingham, 2011.

Seznam obrázků

Obr.1 Denní diagram zatížení pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo) [3]	5
Obr.2 Výroba energie z obnovitelných zdrojů v letním období (vlevo VTE, vpravo FVE) [3].....	6
Obr.3 Výroba energie z obnovitelných zdrojů v zimním období (vlevo VTE, vpravo FVE) [3] ...	7
Obr.4 Vývoj chytrých sítí [1]	8
Obr.5 Technický management a tržní operace pro integraci do energetického systému [9] ...	9
Obr.6 Konvergenční algoritmus pro heterogenní populaci PEV [11]	10
Obr.7 Nejvyšší úroveň distribučního systému [12]	10
Obr.8 Principiální blokové schéma bezdrátového nabíjení elektrobuse [15].....	11
Obr.9 Tvar elektromagnetického pole, napájecí vodiče a přijímací cívka [16]	12
Obr.10 Závislost měrné energie na měrném výkonu jednotlivých baterií [13]	12
Obr.11 Základní obvod modelu bezdrátového přenosu elektrické energie [15].....	12
Obr.12 a) ekvivalentní schéma, b) ekvivalentní schéma při rezonanci [15]	13
Obr.13 Schéma zapojení vysílače [15].....	13
Obr.14 Schéma zapojení přijímače energie [15]	14
Obr.15 Elektrobus Hess vybavený nabíjecím systémem TOSA [20]	15
Obr.16 Obrázek 12 Nabíjecí hlavice systému TOSA [21].....	16
Obr.17 Porovnání výkonu generovaného fotovoltaickým systémem a zatížení stanice [22]..	17
Obr.18 Možnosti napájení z fotovoltaického systému na střeše železniční stanice [22]	17
Obr.19 Stabilizace napětí distribuční sítě [22]	18
Obr.20 Řízení stejnosměrného napětí v troleji [22]	18

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1	Všechny	Publikování dokumentu	15.11.2010 JS, JB, ZP, PD/ (KEV/RICE)