

Vývoj HVDC systémov

¹Michal Kolcun, ²Zsolt ČONKA, ³Vladimír KOHAN

¹ Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Slovenská republika

² Katedra elektroenergetiky, FEI TU Košice, Slovenská republika

¹michal.kolcun@tuke.sk, ²zsolt.conka@tuke.sk, ³vladimir.kohan.2@student.tuke.sk

Abstrakt — Tento príspevok sa zaoberá problematikou HVDC systémov. Úvodné kapitoly nám približujú výhody, nevýhody a ekonomické aspekty HVDC systémov. Ďalšie kapitoly sú zamerané na princípy konverzných (koncových) terminálov a ich následnými zapojeniami so vzdušným alebo káblovým vedením v znázornených schémach. Nasledujúca kapitola obsahuje stručný popis porúch a je úvodom ku kapitole ochrán. Dôležitou súčasťou sú filtre a ich zapojenia do sústavy, pre správny a spoľahlivý tok výkonu, ktorým sa zaoberá jedna zo záverečných kapitol. Posledná kapitola je venovaná moderným trendom, ktoré sa rýchlym tempom dostávajú do popredia a stávajú sa neodmysliteľnou technológiou pre prenos a rozvod elektrickej energie.

Kľúčové slová — HVDC, jednosmerný prenos výkonu, tok výkonov, stabilita prenosu, elektrizačná sústava

I. ÚVOD

Výkonové polovodičové spínače sú kľúčovými komponentmi vo výkonových konvertoch pre HVDC a FACTS systémy. Majú pomerne zložitú polovodičovú štruktúru a môžu fungovať tak, že tok elektrickej energie môže byť presne riadený. V dnešnej dobe sú najpoužívanějšími výkonovými zariadeniami v tejto oblasti GTO tyristory, IGCT a IGBT tranzistory [1].

V oblasti HVDC technológií stále dochádza k významným vývojom a zdokonaľovaniu. Systémy VSC-HVDC našli využitie v odbere výkonu z pobrežných veterných elektrární, napájania výkonu morských plošín, dodávky regulovateľného výkonu na zlepšenie bezpečnosti, integráciu rozptýlenej alebo decentralizovanej výroby. Spoľahlivosť sa v nedávnej dobe výrazne zlepšila a LCC na báze HVDC je stále ekonomická pri ultra vysokých napätiach. Súčasne trendy sú vývoj ± 800 kV DC na dlhú vzdialenosť prenášaného výkonu v menovitých hodnotách 5000-6000 MW. Hoci HVDC prenos je považovaný za pomerne dosť zrelú technológiu, je vcelku úžasné s koľkými novými aspektmi a projektmi počíta [2], [3].

Cieľom predkladaného príspevku je vnieť vyšší stupeň znalosti o základných modeloch a prvkoch rýchlo rozvíjajúcich sa zariadení HVDC systémov, ktoré sú v súčasnej dobe stále viac a viac žiadané s rastúcim vývojom a výhodami ich použitia.

II. PREHLAD PROBLEMATIKY A POPIS VYUŽITIA HVDC SYSTÉMOV

Národný priemyselný rast si vyžaduje stále zvyšovanie spotreby elektrickej energie. To viedlo k zvýšeniu výrobných a prenosových zariadení na uspokojenie narastajúceho dopytu. V rozvojových krajinách sa dopyt zdvojnásobuje každých sedem rokov čo si vyžaduje značné investície a rozvoj v elektroenergetickom odvetví [2].

Tento stále zvyšujúci sa dopyt po výkone nie je vždy možné uskutočniť prechodom na vyššiu napäťovú hladinu. Problémy striedavého prenosu, zvlášť pri diaľkových prenosoch viedli ku vývoju jednosmerných prenosových systémov. Avšak ako výroba a využitie elektrickej energie stále zostáva v popredí striedavý prúd [2].

Moderné HVDC systémy sú zrelou a stále viac rozvíjajúcou sa technológiou, ktoré hrajú dôležitú úlohu v dvoch hlavných častiach a to pri prenose a vzájomnom prepojení dvoch alebo viacerých odlišných systémov, napríklad back to back systémy (BtB). Kombináciou vysokej spoľahlivosti s dlhodobou životnosťou sú často inštalované od hlavného reťazca v elektrizačnej sústave. Hlavným prvkom HVDC systému je výkonový striedač a usmerňovač, ktorý slúži ako spojka medzi striedavým systémom [3].

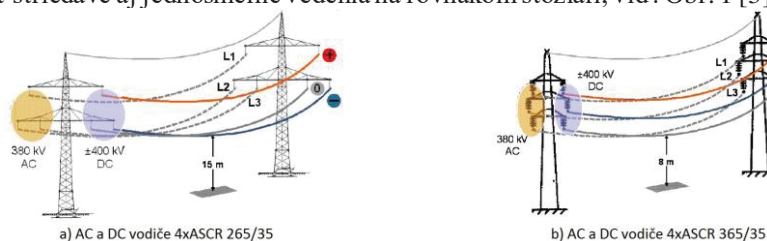
A. Výhody a nevýhody použitia HVDC technológií

Výhody DC prenosových sústav

Použitie klasických HVDC systémov na prenos veľkých výkonov cez veľké vzdialenosti je omnoho viac výhodnejšie a efektívnejšie, pretože celkové náklady pre takýto prenosový systém

sú menšie a straty výrazne nižšie ako pri striedavých prenosoch. Podstatnou výhodou použitia jednosmerného prepojenia je, že neexistuje žiadne obmedzenie v stabilite pri veľkosti výkonu alebo vzdialenosti sústavy. Jednosmerné vedenie si nevyžaduje viac ako dva vodiče v porovnaní so striedavým vedením, ktoré používa tri [3].

Ak striedavé vedenie dosiahne obmedzenie stanovené stabilitou systému, alebo obmedzenie jeho tepelnou kapacitou, nie je možné pridať ďalšie paralelné vedenie, ale prenos sa môže uskutočniť pomocou HVDC vedenia. Prenosová kapacita jednosmerného vedenia dosahuje až trojnásobok AC kapacity na prenos zmenou stožiarovej nosnej konfigurácie. Je možné prevádzkovať striedavé aj jednosmerné vedenia na rovnakom stožiar, viď. Obr. 1 [3], [6].



a) AC a DC vodiče 4xASCR 265/35

b) AC a DC vodiče 4xASCR 365/35

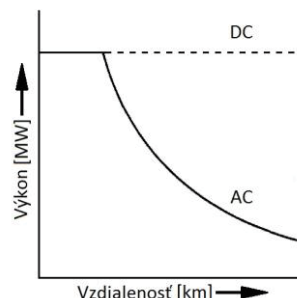
Obr. 1 a) Trojuholníkový dvojité vedenie s AC a DC systémom [6]

b) Vertikálny dvojité vedenie s AC a DC systémom [9]

HVDC prenos má niekoľko pozitívnych funkcií, ktoré v sebe AC prenosy nemajú zahrnuté. Jedná sa predovšetkým o rýchlu ovládateľnosť výkonov v DC linkách prostredníctvom ovládania konvertorov (menič/striedač) [2], [3].

Navyše DC prenos prekonáva niektoré z problémov AC prenosu, ako napríklad:

- *hranica stability* - prenos elektrickej energie v striedavých linkách je závislý na rozdieli uhla fázora napätia na začiatku a konci vedenia. Schopnosť prenosového systému AC a DC sústavách od vzdialenosti je znázornená na Obr. 2. Kde jednosmerná sústava takmer nie je ovplyvnená vzdialenosťou prenosu. V tomto prípade sú HVDC sústavy obmedzené len prúdovou zaťažiteľnosťou (oteplenie prúdom).



Obr. 2 Schopnosť prenosu výkonu voči dĺžke vedenia [2]

Nevýhody HVDC prenosových sústav

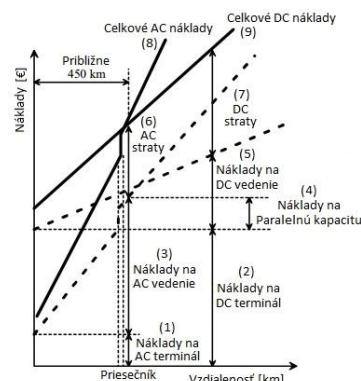
Rozsah použitia jednosmerného prenosu je obmedzená nasledujúcimi faktormi:

- náročnosť na prerušenie skratových jednosmerných prúdov, čo má za následok vysoké náklady na jednosmerné vypínače,
- neschopnosť použitia transformátora na zmenu napäťových hladín,
- vysoké náklady na konverzné zariadenia,
- vytváranie vyšších harmonických frekvencií, ktoré vyžadujú ladenie pomocou jednotlivých filtrov na AC aj DC strane,
- komplikované ovládanie [2].

B. Ekonomické aspekty, náklady a charakteristika HVDC systémov

Cena prevádzkových vedení v sebe obsahuje investičné a prevádzkové náklady. Investície zahŕňajú náklady na vymedzenie priestoru RoW, prenosové stožiare, vodiče, izolátory a terminálové zariadenia. Prevádzkové náklady v sebe zahŕňajú náklady vo výkonových stratách v prenose [2]. Vplyv koróny na jednosmerné vodiče býva menej významný ako pri striedavých a to tiež vedie k voľbe prevádzkovej (ekonomickej) veľkosti vodičov v DC prenosoch. Ďalšie okolnosti, ktoré ovplyvňujú prenosové náklady sú náklady na kompenzáciu a koncové terminálové zariadenia. Jednosmerné vedenia si nevyžadujú kompenzáciu, ale náklady na koncové terminály sa zvyšujú v dôsledkom

prítomnosti konvertorových zariadení a filtrov [2].



Obr. 3 Prenosová vzdialenosť a investičné náklady pre AC a DC prenosové vedenia [3]

Zlomová vzdialenosť môže kolísať približne (500-800) km pri vzdušných vedeniach a 40 km káblových vedeniach v závislosti za jednotku na nákladoch vedenia. [2]

Súhrn nákladov na HVDC v porovnaní s HVAC systémami

Pre veľké vzdialenosti je z efektívneho a cenového hľadiska jednosmerný prenos v porovnaní so striedavým omnoho viac výhodnejší (nad 500-800 km dĺžky vedenia). V prípade podmorských káblov, ako je možné vidieť na Obr. 3 je priesečník čiar, ktoré určujú vzdialenosť pomerne kratšia a to približne 40 km dĺžky káblového vedenia [3].

III. PRINCÍP ZÁKLADNÝCH PRVKOV A ZARIADENÍ HVDC SYSTÉMU

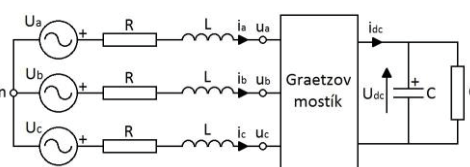
A. Funkcia tyristorov a tranzistorov využívaných v HVDC technológiách

HVDC konvertory sú zostavené z kaskád, ktoré majú tú vlastnosť, že sú vodivé v priepustom smere a blokováné v závernom smere. Kaskády sa skladajú z mnoho sériovo a paralelne pospájaných spínačových článkov (buniek). Zatiaľ čo tyristorové kaskády sú využívané v LCC (CSC), IGBT tranzistorové kaskády sú používané vo VSC systémoch [2].

B. Zapojenie LCC a VSC konfigurácií

VSC

VSC používa konštantný jednosmerný napäťový zdroj realizovaný veľkým kondenzátorom na vstupe. Je riadený PWM moduláciou, ktorá sa používa aj vo FACTS aplikáciách. Konvertor môže obrátiť polaritu napätia pomocou rôznych režimov a tok prúdu je reverzibilný [1].



Obr. 4 Schéma VSC [2]

LCC (CSC) a CCC

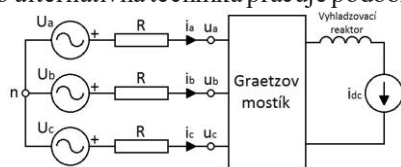
Používa konštantný jednosmerný prúdový zdroj realizovaný veľkou indukčnosťou na vstupe. Typickým príkladom je 6-pulzný, tyristorovo riadený plný mostík vo veľkej miere používaný v LCC HVDC. Aby bolo možné zmeniť smer toku výkonu, konvertor je riadený takým spôsobom, že je obrátená polarita napätia na výstupe [1].

Dôsledkom rozptylovej indukčnosti transformátora a sieťovej impedancie sa prúd v kaskáde nemôže razom zmeniť a tak komutácia z jednej kaskády do ďalšej nemôže byť okamžitá [2].

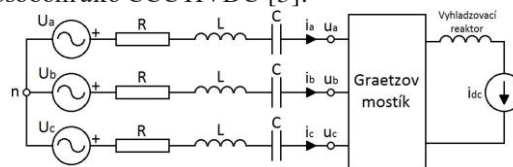
Konfigurácia kapacitného komutovaného konvertora (CCC) je znázornená na

Obr. 6. Sú v ňom vložené sériové kondenzátory medzi konvertorový transformátor s kaskádami na pomoc komutácie, obzvlášť pri prevádzke striedača [2].

V tomto systéme je umiestnený sériový kondenzátor medzi kaskádu a transformátor. Alternatívny systém je známy ako CSCC HVDC, tento variant môže využiť TCSC techniku. Táto alternatívna technika pracuje podobným spôsobom ako CCC HVDC [3].



Obr. 5 Schéma LCC (CSC) [2]



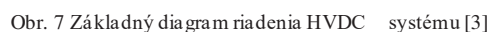
Obr. 6 Schéma CCC [3]

C. Konverzia a ovládanie HVDC systémov

Obr. 7 znázorňuje základný riadiaci diagram HVDC systému. HVDC systém

môže byť rozdelený do niekoľkých úrovní. Hlavné riadenie určuje charakter výkonu alebo charakter frekvencie a vypočítava charakter prúdu pre oba póly. Charakter prúdu, ktorý bol prijatý z hlavného ovládača je modifikovaný riadiacimi funkciami a obmedzeniami v ovládači pólov. Riadenie kaskádových skupín pozostáva z ovládača konvertora a ovládača kaskádového zapnutia. Konvertorový ovládač zahŕňa prúdový regulátor. Ovládač

kaskádového zapalovania rozdeľuje zapalovací signál do všetkých tyristorov [3].



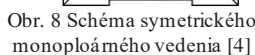
VSC je založený na nútených komutačných zariadeniach ako je IGBT alebo GTO, ktoré umožňujú prevádzku konvertora vo všetkých štyroch kvadrantoch P-Q rovinách. Pretože komutácia môže byť dosiahnutá rýchlo a nezávisle na systéme striedavého napätia, je možný celkom iný typ prevádzky v porovnaní s LCC konvertorom [3].

LCC závisí na systéme striedavého napätia pre jeho správnu prevádzku. LCC pracuje na oneskorení účinníka, pretože otváranie konvertora musí byť oneskorené vzhľadom k prechádzanému napätiu pre ovládania DC napätia [3].

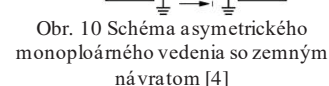
Monopolárne HVDC vedenia

Monopolárne HVDC sa skladá z jedného vodiča, zvyčajne zápojný (-) polaritu, ktorý používa zem alebo more ako spätný vodič. Používa sa hlavne na prenos výkonu pomocou káblov. Kovová spätná väzba je uprednostňovaná namiesto uzemnenia, kde odpor pôdy je príliš vysoký alebo podzemné/podmorské kovové komponenty môžu spôsobovať rušenie [2], [3].

Symetrické (súmerné)
monoplárne vedenie (linka):

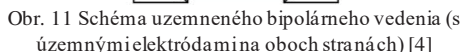


Obr. 9 Schéma asymetrického monoploárního vedení s kovovým návratem [4]



Bipolárne HVDC vedenie sa skladá z dvoch vodičov a z dvoch pólov (+ a -) a z uzemneným neutrálnym bodom. Každý terminál má dve sady meničov s identickými menovitými hodnotami sériovo spojenými na jednosmernej strane. Uzol medzi týmito konvertormi je uzemnený buď na jednom alebo na oboch koncoch. Pri prevádzke v ustálenom stave oba póly pracujú pri rovnakých prúdoch a tak je zemný prúd nulový. Ak jeden z pólu zlyhá potom druhý pól môže sám prenášať polovičný výkon so zemou použitou ako spätnú väzbu, náhradu za nefunkčný pól. V bipóle je hodnota prenosového výkonu zvýšená o dvojnásobok v porovnaní s prípadom monopolárnej linky. Vytvára menej harmonických v porovnaní s monopolárnym prípadom. Spätný tok výkonu môže byť riadený konvertovaním polarít oboch pólov [2], [3].

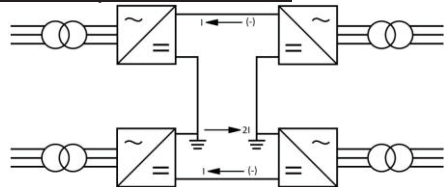
Bipolárne uzemnené vedenie (s uzemnenými elektródami):



Obr. 12 Schéma bipolárneho vedenia s kovovým neutrálnym (uzemneným) vodičom [4]

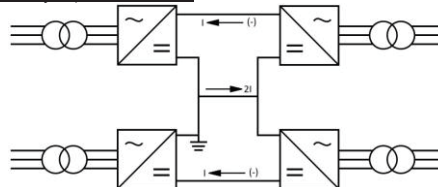
216

Homoplárne vedenie má dva alebo viac vodičov, pričom všetky majú rovnakú polaritu (obvykle zápornú), a sú vždy prevádzkované so zemou alebo kovovou spätičnou cestou [2].
Homoplárne uzemnené vedenie (s uzemnenými elektródami):



Obr. 13 Schéma homoplárneho vedenia (s uzemnenými elektródami na oboch stranách) [2]

Homoplárne vedenie s kovovým neutrálnym (zemným) vodičom:



Obr. 14 Schéma homoplárneho vedenia s kovovým neutrálnym (uzemneným) vodičom [2]

ZHRNUTIE

Pretože prevádzka jednosmerného vedenia bez návratu v zemi je vhodnejšia, bipolárne vedenie je najčastejšie používané. Homoplárne vedenie má výhodu v znížení nákladov na izoláciu, ale nevýhodu zemného návratu, ktorá prevažuje jeho výhodu. Účinky koróny v jednosmerných vedeniach sú podstatne menšie pri zápornej (-) polarite vodiča. Monopolárna prevádzka sa používa a slúži ako prvý stupeň k vývoju bipolárneho vedenia, keďže investície konvertorov môžu byť odložené, až do nárastu zaťaženia, ktoré si vyžaduje bipolárnu prevádzku na zdvojnásobenie kapacity monopolárnej linky [2].

HVDC Back-To-Back systémy

V tomto type systému sú konverzné prvky, usmerňovač a striedač umiestnené v tej istej stanici. Vo všeobecnosti platí, že sa používa na poskytovanie asynchrónneho vzájomného prepojenia dvoch striedavých systémov (50Hz/60Hz). Amplitúda napätia je všeobecne malá, okolo 150 kV (500 kV) na optimalizáciu nákladov na kaskády [3].

HVDC Multi - Terminálové systémy (MTDC):

Týka sa to HVDC systémov, ktoré sa skladajú z troch alebo viacerých terminálových staníc. Jeho architektúra je zložitejšia v porovnaní so systémom dvoch terminálov. Vyžaduje si značnú zložitosť na uľahčenie komunikácie a riadenia medzi jednotlivými stanicami. Avšak, tento systém je považovaný za relatívne novú technológiu a má rozsiahly potenciál pre veterné využitie v budúcnosti. Pričom sú dva typy MTDC liniek - paralelný a sériový typ [3].

MTDC systém má viac ako dve konvertorové stanice, pričom niektoré sú prevádzkované ako usmerňovacie a iné ako striedacie terminály [2].

IV. PORUCHY, SKRATY A OCHRANA VOČI NEŽIADUCIM VPLYVOM

A. Poruchy na strane DC linky

Poruchy musia byť detekované a systém musí byť chránený pomocou spínačov a riadiacich činností tak, že narušenie v prenose je minimalizované.

Okrem narušenia normálnej prevádzky rôzne poruchy, ktoré sa môžu vyskytnúť v systémoch HVDC spôsobujú namáhanie zariadení v dôsledku nadprúdov a prepätí. V konvertorových staniciach sú najkritickejšími zariadeniami kaskády, ktoré musia byť chránené pred poškodením spôsobeným stúpaním teploty v PN prechode spínačov, čo zapríčiňuje nadmerné straty výkonu v zariadení. Významnú rolu pri ochrane zariadení hrá riadenie [2].

Poruchy konvertora

Existujú tri základné typy porúch, ktoré sa môžu nastať v konvertoroch:

1. Poruchy spôsobené v dôsledku nefunkčnosti kaskád a regulátorov;
2. Porucha komutácie v striedačoch.
3. Skrat v konvertorovej stanici.

B. Ochrana na strane DC linky

Ochrany na jednosmernej strane sú špeciálne navrhnuté pre HVDC prenos a tvorí ich:

- Skratová ochrana
- DC nadprúdová ochrana
- Ochrana pri komutačných poruchách
- Ochrana voči vyšším DC harmonickým kmitom
- Ochrana proti napäťovému namáhaniu
- Ochrana proti nadmernému oneskoreniu uhla
- DC ochrana proti zemnému spojeniu
- DC ochrana proti prepätiu
- Ochrana proti minimálnemu DC napätiu
- Ochrana DC vedenia [3]

C. Typy využívaných filtrov v AC a DC sieťach pre HVDC systémy

HVDC konvertory generujú ako striedavé tak aj jednosmerné harmonické frekvencie, ktoré sú jednotlivo vnášané do striedavého systému a jednosmerného vedenia jednotlivo [2].

AC filtre sa stále používajú na odfiltrovanie harmonických frekvencií striedavých prúdov, ktoré sú kritické. Jednosmerná vyhladzovacia tlmivka spolu s jednosmernými filtermi vykonávajú funkciu filtrovania harmonických v jednosmerných vedeniach. Zatiaľ čo väčšina filtrov použitých v konvertorových staniciach sú pasívne filtre používajúce tlmivky a kondenzátory, aktívne filtre na báze VSC boli zavedené od roku 1993 v spolupráci s pasívnymi filtermi [2].

Pasívne a aktívne DC filtre

Ladené aj tlmené filtre sú používané pre jednosmerné filtre. Back To Back (BtB) HVDC linky a tie, ktoré používajú káblové systémy nemajú jednosmerné filtre, pretože indukovaný šum nie je problémom [2].

Aktívne filtre boli považované pre jednosmerné filtrovanie, aby spĺňali prísne podmienky z energetických podnikoch pri obmedzovaní telefónneho rušenia. Použitie len pasívnych filtrov môže podstatne zvýšiť náklady a preto sa používajú v sérii s aktívnymi filtermi [2].

V. MODERNÉ TRENDY A DOPYT V NÁVRHOCH NA VYUŽITIE HVDC SYSTÉMOV

Budúce výkonové polovodičové zariadenia

Návrh HVDC je priestorovo náročný obzvlášť pre pobrežné použitie. Pôdorys konvertorov môže byť zmenšený použitím konceptu hybridných výkonových zariadení. S touto koncepciou môže byť viac zariadení hybridno-integrovaných na rovnakej polovodičovej štruktúre. Príkladom je späťne priepustný IGBT vyvinutý firmou ABB, kde FWD a IGBT sú integrované do takzvaných BI-ódu IGBT za účelom dosiahnutia vyššej výkonovej schopnosti pre rovnaký pôdorys výkonového modulu [1].

Výkonové zariadenia na báze karbidu kremíka (SiC). U SiC bolo dokázané, že má lepšiu širokopásmovú medzeru v polovodičovom materiáli ako Si, pretože dosahuje 10 krát vyššie blokovanie napätia a významné spínacie straty [1].

ABB 1 100 kV HVDC systém

Firma ABB vyvinula kompletne riešenie pre 1 100 kV HVDC prenosový systém. Napätie 1 100 kV zvyšuje prenosový výkon na 10 GW na viac ako 3 000 km. Kde spoločnosť ABB úspešne vyvinula všetky významné zariadenia potrebné pre toto nasadenie [5].

ZÁVER

Použitie výkonovej elektroniky postupne odstránilo technologické bariéry, ktorým čelila AC technológia. Vývoj HVDC systémov je dôležitý pre vytváranie už projektovanej siete SuperGrid, ktorá umožní ľudskej spoločnosti integrovať v širšej škále veterné a solárne elektrárne, čo zabezpečí príjem čistejšej a stabilnejšej energie [1].

So začiatkom novej energetickej éry a potreby vybudovania inteligentnejšej siete SmartGrid sa očakáva, že HVDC bude rásť ďaleko za svoju tradičnú pozíciu ako doplnok ku striedavému prenosu. HVDC je teraz metódou vhodne volenou pre podmorský prenos a vzájomné prepojenie asynchrónnych striedavých sietí, ktoré poskytujú efektívny, stabilný prenos a schopnosť riadenia výkonu. HVDC je taktiež technológiou vhodnou pre prenos výkonu na veľmi dlhé vzdialenosti s nízkymi elektrickými stratami. Dôvody pre voľbu HVDC namiesto striedavého prenosu energie, sú v konkrétnych prípadoch často početné a komplexné. V mnohých prípadoch sú HVDC linky opodstatnené na základe kombinácie technických, ekonomických a environmentálnych výhod [8].

Danú problematiku je možné ďalej rozšíriť aj pre prax kde by týmto spôsobom by bolo možné odľahčiť určité prenosové vedenia jednotlivých štátov, ktoré sú vplyvom liberalizácie trhu s elektrinou preťažované a to niekedy až po hranicu ich maximálnych zaťažení a následného tzv. stavu BlackOut. Vhodným projektom s využitím HVDC linky, HVDC spojky alebo FACTS systémov je možné stabilne riadiť tok výkonu a tým zabezpečiť spoľahlivé dodávky elektrickej energie spotrebiteľom s možnosťou vyvarovania sa preťažovaní vedenia.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA č. 1/0372/18. Na tomto mieste by som sa rád poďakoval môjmu školiteľovi, Ing. Zsoltovi Čonkovi, PhD., za jeho cenné rady, odbornú pomoc, usmerňovanie pri písaní tohto článku a užitočné rady, ktoré mi bol ochotný zveriť v korektnom prístupe.

LITERATÚRA

- [1] Mircea Eremia, Chen-Ching Liu, Abdel-Aty Edris. Advanced Solutions in Power Systems; HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence, First Edition. IEEE Press, © 2016 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Published 2016 by John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-1-119-03569-5
- [2] K. R. Padiyar. HVDC Power Transmission System (2nd Edition). India Institute of Science, Bangalore India. © 2011 by New Academic Science Limited. ISBN: 978-1-906574-77-2, Replika Press Pvt. Ltd.
- [3] Chan-Ki Kim, Vijay K. Sood, Gil-Soo Jang, Seong-Joo Lim and Seok-Jin Lee. HVDC TRANSMISSION, Power Conversion Applications in Power System. Korea Electric Power Corporation, © June 2009 John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, ISBN: 978-0-470-82295-1, Wiley-IEEE Press.
- [4] ABB: HVDC Light, [Online], It's time to connect, [cit. 2016-10-11]. Dostupné na internete: <<https://library.e.abb.com/public/2742b98db321b5bfc1257b26003e7835/Pow0038%20R7%20LR.pdf>>
- [5] ABB develops complete system solution for 1 100 kV HVDC power transmission, [Online], [cit. 2017-03-02]. Dostupné na internete: <<http://www.abb.com/cawp/seitp202/d83ce03a99b85dd7c1257d400041aab5.aspx>>
- [6] ENTSO-E, Technologies for Transmission System, [Online], [cit. 2017-03-27]. Dostupné na internete: <<http://tyndp.entsoe.eu/insight-reports/technology/>>
- [7] Jean-Paul Burnet; Basics of Accelerator Science and Technology at CERN. [Online] Magnet power supplies.- CAS, Budapest, 2016/10/08, [cit. 2017-02-06]. Dostupné na internete: <<https://cas.web.cern.ch/cas/Hungary2016/Lectures/BudapestLectures/Burnet.pdf>>
- [8] ABB: Why HVDC ? [Online], [cit. 2017-05-10]. Dostupné na internete: <<http://new.abb.com/systems/hvdc/why-hvdc>>