عنوان ارایه:

مروری بر روش‌های کنترل ولتاژ شبکه‌های تغذیه جریان مستقیم راه‌آهن برقی

احسان منصوری

دانشجو کارشناسی ارشد

مهندسی راه‌آهن برقی

دکتر روزبه اسد

عضو هیئت علمی دانشکده

مهندسی راه‌آهن

فهرست مطالب

بخش اول: مقدمه

بخش دوم: اصول کنترل ولتاژ در سیستم‌های تغذیه DC راه‌آهن برقی

بخش سوم: روش‌های کنترل ولتاژ در سیستم‌های تغذیه DC

بخش چهارم: نتیجه‌گیری

بخش پنجم: منابع و مراجع

مقدمه

- در سالیان دور استفاده از شبکه تغذیه راه‌آهن برقی به دو صورت AC و DC
- گسترش صنعت برق و تغییرات چشمگیر در شبکه‌های تغذیه ← برتری سیستم تغذیه DC

❖ مزایا به‌کارگیری سیستم تغذیه DC

۱- سازگاری بیشتر با برخی بارهای الکتریکی و منابع جدید

۲- سازگاری بیشتر با اغلب سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

۳- عدم وجود توان راکتیو

۴- افزایش قابلیت اطمینان

۵- بهبود کیفیت توان

۶- افزایش سلامت و ایمنی انسان

❖ مزایا به‌کارگیری سیستم تغذیه AC

۱- امکان به‌کارگیری ترانسفورماتور

۲- حجم بیشتر اطلاعات و تحقیقات انجام‌شده درزمینه

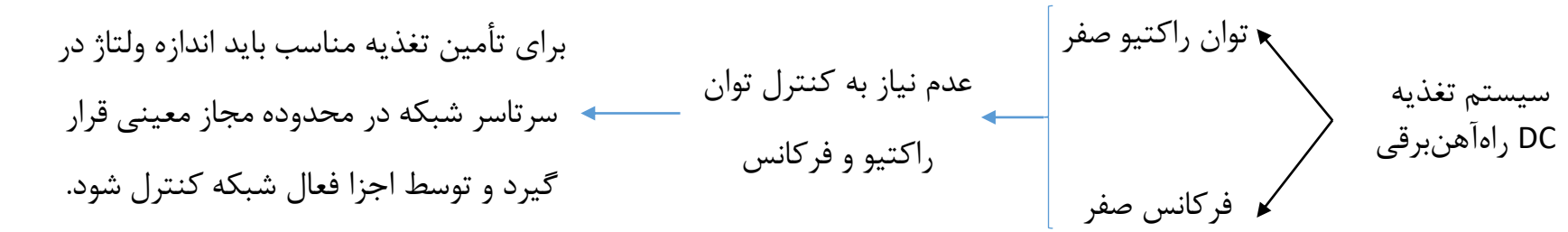
حفاظت شبکه AC

۳- پایداری ولتاژ

با توجه موارد بیان شده، احتمالا رویکرد آینده استفاده بیشتر از سیستم‌های DC برای سیستم‌های تغذیه راه‌آهن‌برقی باشد.

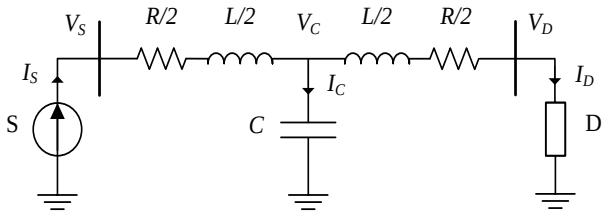
اصول کنترل ولتاژ در سیستم‌های تغذیه DC راه‌آهن برقی

- یکی از مسئله‌های بسیار مهم سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی ← مسئله کنترل ولتاژ
- به کارگیری روش مناسب کنترل ولتاژ ← بهبود کیفیت ولتاژ، کاهش هزینه‌ها، افزایش پتانسیل بازگشت توان و قابلیت اطمینان



- اولین قدم در کنترل ولتاژ شبکه تغذیه DC ← تعیین عوامل تاثیرگذار برعدم تنظیم ولتاژ
  - عدم تعادل در توان اکتیو مصرفی و تولیدی
  - عدم کنترل ولتاژ مناسب توسط منابع انرژی
  - عدم هماهنگی بین منابع انرژی در کنترل ولتاژ
  - افت ولتاژ در خطوط

اصول کنترل ولتاژ در سیستم‌های تغذیه DC راه‌آهن برقی



شبکه تغذیه DC ساده

- فرض: تعادل توان در شبکه تغذیه مذکور برقرار و ولتاژ DC آن ثابت

حالت اول: توان اکتیو مصرفی < توان اکتیو تولیدی ← شارژ شدن خازن ← افزایش ولتاژ سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی

حالت دوم: توان اکتیو مصرفی > توان اکتیو تولیدی ← دشارژ شدن خازن ← کاهش ولتاژ سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی

- در سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی جهت کنترل ولتاژ ← کنترل توان اکتیو-ولتاژ و یا بار-ولتاژ

عدم تعادل در توان اکتیو مصرفی و تولیدی و عدم رفع آن توسط اجزا فعال شبکه ← فراتر رفتن ولتاژ سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی از محدوده مجاز

اصول کنترل ولتاژ در سیستم‌های تغذیه DC راه‌آهن برقی

- تداوم عدم تعادل توان ← ناپایداری اندازه ولتاژ و در نتیجه ناپایداری سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی

- در صورت عدم وجود هماهنگی و قانون مشخص در بین منابع انرژی ← فعالیت یک منبع انرژی گران‌قیمت با حداکثر ظرفیت خود و فعالیت منابع انرژی ارزان‌قیمت با درصد کمی از ظرفیت نامی ← ممکن نبودن فعالیت شبکه در اقتصادی‌ترین حالت

- تمامی منابع مستقلاً، جهت به صفر رساندن خطای ولتاژ اقدام کنند ← اختلال در کنترل ولتاژ ← ناپایداری سیستم تغذیه DC راه‌آهن‌برقی

روش‌های کنترل ولتاژ سیستم‌های تغذیه DC

- با توجه به تحقیقات محدود موجود در زمینه کنترل ولتاژ شبکه تغذیه DC ← پنج دسته روش کنترل ولتاژ

۱) روش‌های کنترل ولتاژ شبکه‌های تغذیه DC خاص

- این روش‌ها به منظور کنترل ولتاژ یک شبکه تغذیه خاص
- عدم امکان استفاده از آنان در شبکه‌های تغذیه DC با ابعاد، توپولوژی و منابع مختلف
- تعدادی از این روش‌ها به صورت زیر می‌باشند:
  - روش کنترل ولتاژ باس DC متصل به چندین ژنراتور بادی آهنربا دائم
  - روش کنترل ولتاژ تطبیقی در یک مرکز داده
  - روش کنترل ولتاژ شبکه تغذیه DC بسیار کوچک شامل منابع انرژی خورشیدی و بادی و ...
  - و ...

۲) روش کنترل ولتاژ با استفاده از ارتباطات مخابراتی

- به شدت وابسته و نیازمند ارتباطات مخابراتی و ریزساخت‌های مربوطه
- عمدتا روش کنترلی متمرکز محسوب شده
- وجود هرگونه خطا در سیستم‌های مخابراتی منجر به اختلال در عملکرد
- قابلیت اطمینان پایین
- پیاده‌سازی گران قیمت
- روش کنترلی کاربردی نیست.

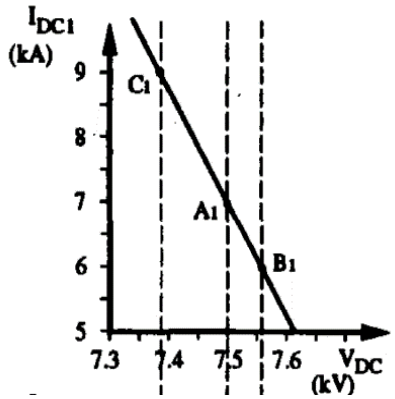
۳) روش کنترل ولتاژ با استفاده از نظریه بازی‌ها

- روش کنترل ولتاژ غیرمتمرکز بدون نیاز به استفاده از ارتباطات مخابراتی
- بازیکنان روش پیشنهادی منابع و بارها
- متغیر کنترل بارها، مقاومت بارها و متغیر کنترل منابع، ولتاژ منابع
- روند کنترل:
  - تعیین متغیر کنترل بارها و منابع
  - بررسی روابط موجود بین ولتاژ بار و جریان تزریقی
  - تعیین تابع هزینه هریک از متغیرها براساس روابط
  - بهینه‌سازی توابع هزینه به صورت همزمان و هماهنگ
- قابلیت اطمینان بالا
- پیچیدگی زیاد به دلیل استفاده از نظریه بازی‌ها و محدود بودن کاربرد

روش‌های کنترل ولتاژ سیستم‌های تغذیه DC

۴) روش کنترل ولتاژ شیب افتی

- متداول‌ترین روش کنترل ولتاژ و بدون نیاز به ارتباطات مخابراتی
- هر منبع دارای یک منحنی مشخصه ولتاژ – جریان (منحنی شیب افتی)
- منابع بر اساس ولتاژ شبکه اقدام به تزریق جریان یا تولید توان اکتیو مشخص
- باعث تقسیم وظیفه تامین انرژی بین منابع و جلوگیری از ناپایداری شبکه
- قابلیت اطمینان بالا، پیاده‌سازی ارزان، مدولار
- عدم اولویت‌بندی منابع
- عملکرد نامناسب در صورت وجود مقاومت در خطوط شبکه تغذیه DC
- کاربرد محدود در شبکه‌های کوچک یا شبکه‌های دارای خطوط بدون مقاومت و نیازمند تحقیقات و بررسی‌های بیشتر

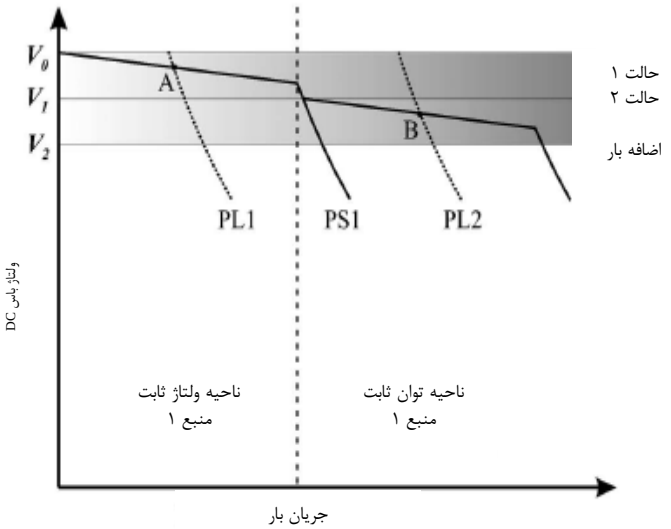


نمونه‌ای از منحنی شیب افتی یک منبع

روش‌های کنترل ولتاژ سیستم‌های تغذیه DC

۵) روش کنترل ولتاژ سیگنال‌رسانی باس DC

- تکامل‌یافته روش کنترل ولتاژ شیب افتی
- استفاده از ولتاژ DC به عنوان سیگنال ارتباطی جهت فعال کردن منابع
- نحوه کنترل:
  - ➢ هر منبع دارای یک ولتاژ آستانه فعال شدن
  - ➢ فعال شدن منابع با کاهش ولتاژ و رسیدن به آستانه فعال شدن
  - ➢ عملکرد هر منبع براساس منحنی شیب افتی متناظر با خود
- فراهم کردن قابلیت اولویت‌بندی منابع
- سیستم کنترلی ساده، مدولار، قابلیت اطمینان بالا، هزینه کم و کاربردی
- همانند روش کنترل شیب افتی، کاربرد محدود و نیازمند تحقیقات بیشتر به منظور بهبود عملکرد



نمونه‌ای از منحنی DBS یک شبکه DC

نتیجه‌گیری

- به کارگیری روش مناسب کنترل ولتاژ در شبکه تغذیه DC راه‌آهن برقی می‌تواند منجر به بهبود کیفیت ولتاژ، کاهش هزینه‌ها، افزایش پتانسیل بازگشت توان و افزایش قابلیت اطمینان گردد.
- به طور کلی روش‌های کنترل ولتاژ به پنج دسته تقسیم می‌شوند؛
  - دسته اول قابلیت استفاده در شبکه‌های تغذیه با ابعاد و توپولوژی مختلف را ندارد.
  - دسته دوم هرچند روش‌های کنترل ولتاژ عمومی‌تری هستند؛ اما وابسته به ارتباطات مخابراتی اند.
  - دسته سوم به علت پیچیدگی‌های زیاد و دشواری محاسبات کاربرد محدودی دارد.
  - دسته چهارم و پنجم روش‌های غیرمتمرکز، بدون نیاز به ارتباطات مخابراتی، ساده، با قابلیت اطمینان بالا، ارزان و مدولار هستند: اما عملکرد مناسبی در شبکه‌های تغذیه واقعی با خطوط مقاومتی ندارند.
- بنابراین هیچ کدام از روش‌های مذکور، روش کاملی برای کنترل ولتاژ شبکه‌های تغذیه DC واقعی، از جمله شبکه تغذیه راه آهن برقی، نمی‌باشند و پیشنهاد یک روش کنترل ولتاژ کارآمد برای شبکه های تغذیه DC واقعی یک زمینه تحقیقاتی مناسب برای کارهای آتی خواهد بود.

منابع

[1]-M. M. N. Amin, and O. A. Mohammed, “DC-bus voltage control technique for parallel-integrated permanent magnet wind generation systems,” IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 26, No. 4, pp. 1140–1150, 2011.

[2]- S. Anand, B. G. Fernandes, and M. Guerrero, “Distributed Control to Ensure Proportional Load Sharing and Improve Voltage Regulation in Low-Voltage DC Microgrids,” IEEE Trans. Power Electronics, vol. 28, No. 4, pp. 1900–1913, 2013.

[3]- H. Kakigano, Y. Miura, and T. Ise, “Distribution Voltage Control for DC Microgrids Using Fuzzy Control and Gain-Scheduling Technique,” IEEE Trans. Power Electronics, vol. 28, No. 5, pp. 2246–2258, 2013.

[4]- D. Chen, and L. Xu, “Autonomous DC Voltage Control of a DC Microgrid with Multiple Slack Terminals,” IEEE Trans. Power Systems, vol. 27, No. 4, pp. 1897–1905, 2012.

[5]- K. Sun, L. Zhang, Y. Xing, and J. M. Guerrero, “A Distributed Control Strategy Based on DC Bus Signalling for Modular Photovoltaic Generation Systems with Battery Energy Storage,” IEEE Trans. Power Electronics, vol. 26, No. 10, pp. 3032–3045, 2011.