



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

تحلیل و ارزیابی کارایی پیوندهای انتقال برق VSC-HVDC دو سطحی و سه سطحی

چکیده:

یک روش تحلیلی برای محاسبه کارایی پیوندهای VSC-HVDC براساس VSC های دوسطحی و سه سطحی در این مقاله ارائه شده است. این روش از متوسط جریان مبدل VSC و ریشه میانگین مربعات آن برای تخمین تلفات تبدیل در مبدلها (تلفات هدایتی و کلیدزنی) استفاده می کند. بقیه تلفات توان (تلفات انتقال کابل DC به دلیل I^2R ، تلفات ترانسفورماتور کوپلینگ، و تلفات فیلتر هارمونیک AC) با استفاده از روشهای معمول و شناخته شده ارزیابی می شوند. نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی بوسیله شبیه سازی های دیجیتالی تایید می شوند.

کلیدواژه ها: تلفات تبدیل، دستگاه های IGBT، مبدل VSC دو سطحی، مبدل VSC سه سطحی، سیستم

VSC-HVDC

1-مقدمه

سیستم انتقال DC ولتاژ بالا مبتنی بر مبدلهای منبع ولتاژ (VSC-HVDC) یک راه حل برای بسیاری مسائل پیش رو در شبکه های قدرت امروزی نظیر ازدحام شبکه، تقویت مجدد شبکه، اتصال به مزارع برق بادی، راه اندازی چند ترمینالی و اتصالات غیرهمزمان می باشد.

در حال حاضر، دو شیوه محرز برای ساخت یک سیستم VSC-HVDC وجود دارد. اولین شیوه از یک مبدل دو سطحی استاندارد یا یک مبدل محدود کننده نقطه خنثی با دستگاه های نیروی کموتاسیون نظیر IGBTها استفاده می کند. این شیوه یک الزام عایق کاری بالا را روی ترانسفورماتور بینابینی به دلیل نسبت dv/dt بالا اعمال می کند که ناشی از ولتاژ بالای کلیدزنی با فرکانس های کلیدزنی نسبتا پایین می باشد. این ترتیبات همچنین نیازمند فیلترهای نسبتا بزرگ در مدخل خروجی برای ضعیف کردن مولفه های فرکانس کلیدزنی از ولتاژ خروجی در نقطه کوپلینگ مشترک می باشد.

روش دوم استفاده از یک مبدل چندسطحی مودولار دوکلیدی است که دارای دستگاه های ولتاژ متوسط نظیر IGBTهای 4.5 kV می باشد. این شیوه dv/dt پایین تری را تولید می کند (که باعث استفاده از یک ترانسفورماتور با الزامات عایق کاری استاندارد می شود) و به طور برجسته ای باعث انحراف هارمونیک ولتاژ پایین

تری می شود (که می تواند نیاز به فیلترهای AC را حذف کند). ولی این شیوه نیازمند یک تعداد زیادی دستگاه های کلیدزنی و خازن ها و یک راهکار مودولاسیون نسبتا پیچیده در مقایسه با اولین روش دارد.

هر دو روش منجر به عملکرد دینامیک سریع، کنترل مستقل قدرت اکتیو و راکتیو، عدم خرابی های ارتباطی طی خرابی های AC، قابلیت بهتر گذر از خرابی، و توانایی فراهم سازی میرایی و پشتیبانی فرکانس از طریق مودولاسیون قدرت اکتیو و راکتیو می باشد. ولی، هر دو روش باعث تولید تلفات تبدیل بالاتر در مقایسه با سیستم معمولی HVDC می شود. تخمین تلفات قدرت طی مرحله طراحی VSC-HVDC امری ضروری است، چرا که باعث می شود طراحان کل عملکرد سیستم را با رسیدگی به چندین شاخص طراحی بهینه سازی کنند. همچنین به انتخاب تجهیزات مستهلک کننده حرارت و سیستم خنک کننده برای مبدل ها کمک می کند.

2- روشهای محاسبه تلفات VSC

بسیاری روشها برای محاسبه و ارزیابی تلفات در یک مبدل VSC وجود دارد.

2-1- اندازه گیری ذره

در این روش قدرت توان ورودی و قدرت توان خروجی در هر مولفه VSC-HVDC اندازه گیری می شود و تفاوت برابر با تلفات داخل آن مولفه است. این روش به نحو منطقی در ولتاژ پایین و انتقال قدرت پایین قابل اتکا است.

2-2- روش مدل نرم افزاری

شبیه سازی کامپیوتری یکی از روشهای قدرتمند برای نشان دادن انتقال برق در سیستم VSC-HVDC می باشد. سیستم انتقال برق VSC-HVDC با استفاده از برنامه شبیه سازی نرم افزاری ساخته شده است، از اینرو ولتاژها، جریان ها و تلفات در هر مولفه منفرد می تواند محاسبه گردد. در این خصوص صحت محاسبه تلفات سیستم VSC-HVDC بستگی به میزان صحت مدل ساخته شده دارد.

2-3- روش تحلیلی

معادله عددی برای تلفات قدرت برای هر مولفه بدست آمده است. در این مقاله یک رابطه براساس متوسط جریان و ریشه میانگین مربع جریان مبدل VSC برای تخمین تلفات تبدیل در مبدلهای VSC استفاده شده است، درحالیکه معادلات قبلی و معمولی برای محاسبه تلفات در ترانسفورماتور کوپلینگ، راکتور هموارسازی و فیلتر

ac استفاده می شود. تنها معایب این روش ناشی از پارامترهایی است که می تواند متفاوت از پارامترهای عملیاتی واقعی استفاده شده در یک کاربرد واقعی باشد.

در رفرانس 10، نویسندگان روش تحلیلی را برای ارزیابی تلفات هدایتی در اینورترها براساس احتمال دریافت سیگنال ON توسط دستگاه های کلیدزنی اینورتر ارائه کرده اند و معادلات عددی ساده ای را برای محاسبه تلفات در: پیوند-DC-رزونانس، جریان کنترل شده هیستری، و اینورترهای PWM سینوسی بدست آورده اند. در این مقاله ارزیابی کارایی یک سیستم VSC-HVDC با استفاده از مبدل های محدودکننده نقطه خنثی دو سطحی و سه سطحی انجام می شود، فرمولهای تلفات تبدیل مبدل VSC براساس پالس سینوسی مشتق گردیده است، برگ داده 3.3 kV برای یافتن مشخصات دستگاه های مبدل استفاده می شود.

3- ساختار سیستم VCS-HVDC

شکل 1 نشان دهنده دیاگرام تک خطی سیستم VSC-HVDC می باشد که اجزای اصلی این سیستم عبارتند از:

- 1- ترانسفورماتور کوپلینگ: ولتاژ سیستم ac را به سطح مناسب برای مبدل تبدیل می کند.
- 2- راکتور هموارسازی: برای کنترل جریان قدرت اکتیو و راکتیو استفاده می شود.
- 3- فیلتر هارمونیک AC: هارمونیک را در شکلهای موجی ولتاژ و جریان حذف می کند.
- 4- مبدل VSC: ترکیبی از یک مجموعه کلیدها برای تحمل توان نامی ولتاژ بالای سیستم می باشد، مولفه پایه کلید منفرد همان دستگاه IGBT است که دارای دیود چرخش آزاد غیرموازی می باشد.
- 5- کابل DC: قدرت را میان دو ایستگاه مبدل انتقال می دهد.
- 6- خازن DC: تعادل قدرت را طی انتقال ها حفظ می کند و ریپل را در ولتاژ DC کاهش می دهد.

3-1- تلفات مبدل VSC

تلفات تبدیل روی دستگاه های VSC را می توان به دو نوع ذیل تقسیم بندی نمود.

3-1-1- تلفات هدایتی

تلفات هدایتی به دلیل افت ولتاژ در حالت روشن دستگاه رخ می دهد و با میانگین گیری تلفات هدایتی در هر چرخه کلیدزنی طبق معادله ذیل محاسبه می شود:

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T V_f(\omega t) \cdot i(\omega t) d\omega t \quad (1)$$

که در آن P_C تلفات هدایتی دستگاه می باشد، T دوره کلیدزنی می باشد، $V_f(\omega t)$ ولتاژ مستقیم دستگاه می باشد، $i(\omega t)$ جریان عبوری از دستگاه در دوره هدایتی می باشد. مقدار $V_f(\omega t)$ طبق رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$V_f = V_{f0} + r_f i(t) \quad (2)$$

که در آن V_{f0} ولتاژ مستقیم دستگاه در حالت بی باری و r_f مقاومت مستقیم دستگاه می باشد. مقادیر V_{f0} و r_f با استفاده از برگ داده مشخصات دستگاه که توسط شرکتهای تولیدی فراهم شده است بنا به شکل 2 محاسبه می شود. r_f نسبت میان تفاوت ولتاژ جمع کننده-منتشرکننده می باشد و تفاوت جریان جمع کننده $(r_f = \Delta V_{CE}/\Delta I_C)$ می باشد، در حالیکه V_{f0} مقدار در منحنی مربوطه به جریان جمع کننده واقعی است که در دستگاه جاری است. با جانشینی عبارت ولتاژ مستقیم معادله 2 در معادله 1 عبارت ذیل بدست می آید:

$$P_C = V_f I_{av} + r_f I_{rms}^2 \quad (3)$$

که در آن به ترتیب I_{av} و I_{rms} متوسط جریان و جریان rms از طریق دستگاه در دوره هدایتی می باشد. اینها به ترتیب ذیل محاسبه شده اند:

$$i_{av} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_a(t) d\omega \quad (4a)$$

$$i_{rms}^2 = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} i_a^2(t) d\omega \quad (4b)$$

3-1-2- تلفات کلیدزنی

تلفات کلیدزنی عبارت است از حاصل جمع کل تلفات کلیدزنی در حالت روشن و تلفات کلید زنی در حالت خاموش و به مشخصات دستگاه، فرکانس کلیدزنی، و جریان دستگاه بستگی دارد. انرژی کلیدزنی را می توان به شکل تابعی از جریان دستگاه به ترتیب ذیل بیان نمود:

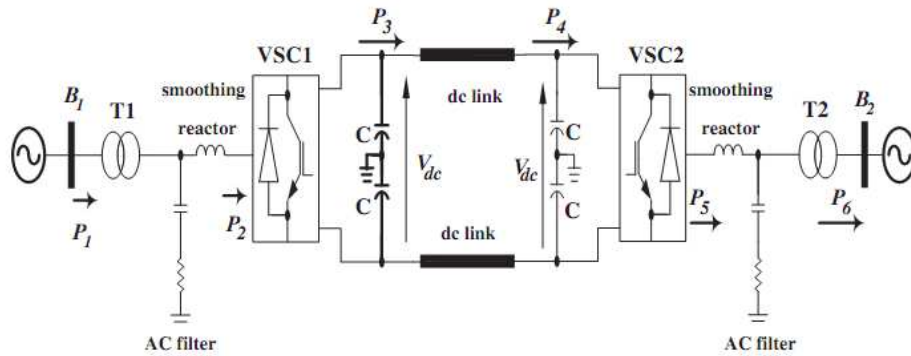
$$E_{sw} = k_1 I \quad (5)$$

که در آن k_1 بدست آمده از گراف انرژی کلیدزنی در برگ داده دستگاه در شکل 2 نشان داده شده است. تلفات کلیدزنی برای دستگاه به نحو ذیل محاسبه می شود:

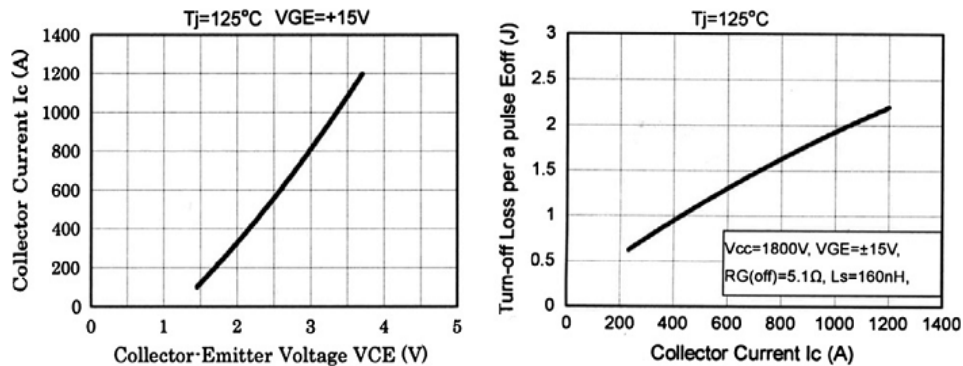
$$P_{sw} = \frac{f_s}{2\pi} \int_0^{T_s} k_1 i d\omega t \quad (6)$$

4- ارزیابی تلفات تبدیل در مبدل‌های دوسطحی

شکل 3 و جدول 1 نشان دهنده جهت جریان در یک ستون از مبدل دوسطحی طی دوره کلیدزنی می باشد.



شکل 1- ساختار انتقال برق در سیستم VSC-HVDC



شکل 2- برگ داده مشخصات دستگاه

اگر جریان بار را طبق رابطه $i_a(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$ فرض کنیم، آنگاه ولتاژ ستون فاز با رابطه $V_a(t) = V_m \sin \omega t$ تعریف می شود و چرخه کاری برای کلیدهای دستگاه عبارت است از:

$$d_{T1} = d_{D2} = \frac{1}{2} [1 + M \sin \omega t] \quad (7a)$$

$$d_{T2} = d_{D1} = 1 - d_{T1} = \frac{1}{2} [1 - M \sin \omega t] \quad (7b)$$

متوسط جریان‌ات و جریان rms برای IGBT‌های T1 و T2 با استفاده از معادله 4 محاسبه می شود و چرخه

کاری که طبق رابطه 7 تعریف شده است عبارت است از:

$$I_{T1,av} = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta}^{\pi+\theta} d_{T1} i_a d\omega = I_m \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{M \cos \theta}{8} \right] \quad (8)$$

$$I_{T2,av} = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta}^{\pi+\theta} d_{T2} i_a d\omega = I_m \left[\frac{1}{2\pi} - \frac{M \cos \theta}{8} \right] \quad (9)$$

$$I_{T1,rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta}^{\pi+\theta} d_{T1}^2 i_a^2 d\omega = I_m^2 \left[\frac{1}{8} + \frac{M \cos \theta}{3\pi} \right] \quad (10)$$

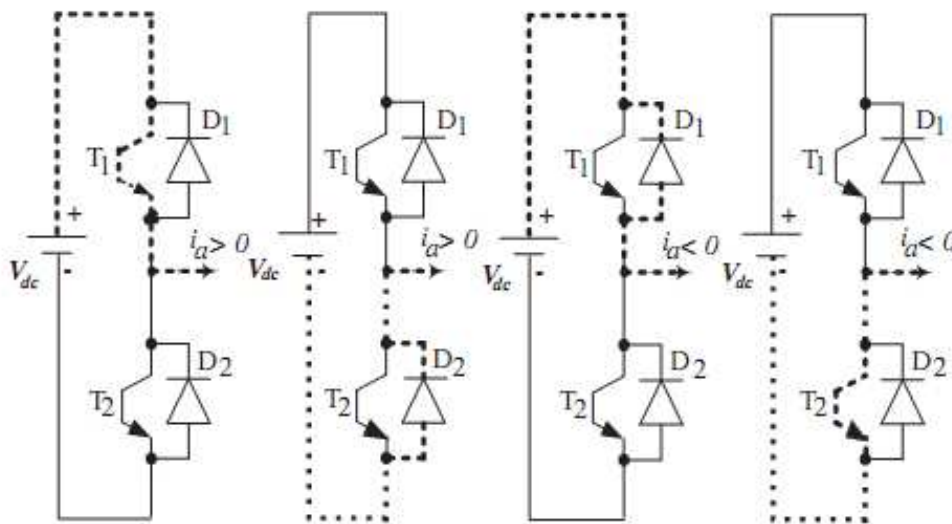
$$I_{T2,rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta}^{\pi+\theta} d_{T2}^2 i_a^2 d\omega = I_m^2 \left[\frac{1}{8} - \frac{M \cos \theta}{3\pi} \right] \quad (11)$$

متوسط جریانات و جریان rms برای دیود چرخش آزاد پایین تر مشابه با مقادیر مربوط به دستگاه IGBT بالایی است ولیکن در جهت عکس می باشد، بنابراین:

$$I_{D1,av} = -I_{T2,av} = -I_m \left[\frac{1}{2\pi} - \frac{M \cos \theta}{8} \right] \quad (12)$$

$$I_{D2,av} = -I_{T1,av} = -I_m \left[\frac{1}{2\pi} + \frac{M \cos \theta}{8} \right] \quad (13)$$

$$I_{D1,rms}^2 = I_{T2,rms}^2 = I_m^2 \left[\frac{1}{8} - \frac{M \cos \theta}{3\pi} \right] \quad (14)$$



شکل 3- جهت جریان در یک ستون از مبدل دو سطحی

جدول 1- حالت کلیدزنی مبدل دو سطحی

(عنوان ستون از چپ: دستگاه ها، حالت دستگاه ها)

| Devices | Devices state | |
|---------|---------------|-----------|
| | $i_a > 0$ | $i_a < 0$ |
| T1 | ON | OFF |
| T2 | OFF | ON |
| D1 | OFF | ON |
| D2 | ON | OFF |

$$I_{D2,rms}^2 = I_{T1,rms}^2 = I_m^2 \left[\frac{1}{8} + \frac{M \cos \theta}{3\pi} \right] \quad (15)$$

دیود چرخش آزاد در مقایسه با IGBT خیلی سریع به حالت روشن/خاموش کلید می خورد بنابراین تلفات کلیدزنی آن در مقایسه با مال IGBT نسبتاً کوچک می باشد، بنابراین در محاسبه لحاظ نمی شود. تلفات کلیدزنی برای IGBT با استفاده از معادله 6 به ترتیب ذیل محاسبه می شود:

$$P_{sw} = \frac{k_1 f_s}{2\pi} \int_0^{\pi+\theta} I_m \sin(\omega t - \theta) d\omega t = \frac{k_1 f_s I_m}{\pi} \quad (16)$$

5- ارزیابی تلفات تبدیل در مبدل NPC سه سطحی

شکل 4 و 5 به خلاصه سازی کلیه مسیرهای توان ممکن و حالات کلیدزنی در مبدل NPC سه سطحی می پردازد. جریان بار برابر است با $i_a(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$ و ولتاژ ستون فاز برابر است با

و چرخه کاری $V_a(t) = V_m \sin \omega t$ بین دستگاه های کلیدزنی عبارتند از:

$$d_{T1} = \begin{cases} M \sin \omega t & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 0 & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases} \quad d_{T2} = \begin{cases} 1 & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 1 + M \sin \omega t & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$d_{T3} = 1 - d_{T1} \quad d_{T4} = 1 - d_{T2} \quad (17)$$

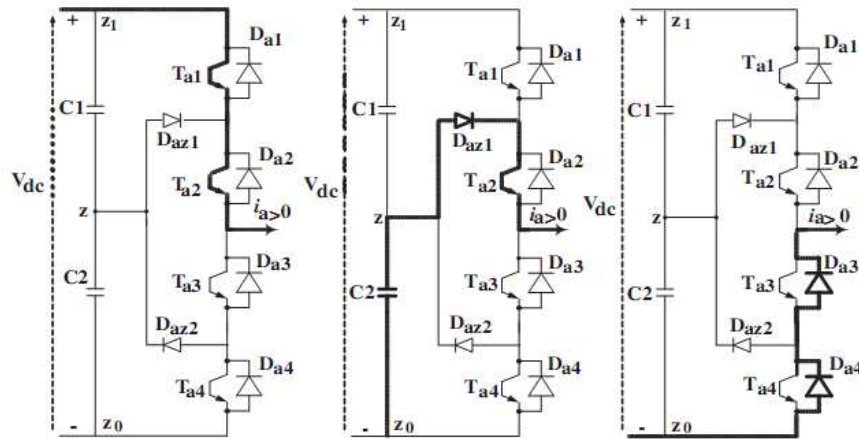
آنگاه، متوسط جریان و جریانات rms در IGBTها به ترتیب ذیل محاسبه می شود:

$$I_{T1,av} = I_{T4,av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} d_{T1} i_a d\omega t = \frac{M I_m}{4\pi} [(\pi - \theta) \cos \theta + \sin \theta] \quad (18)$$

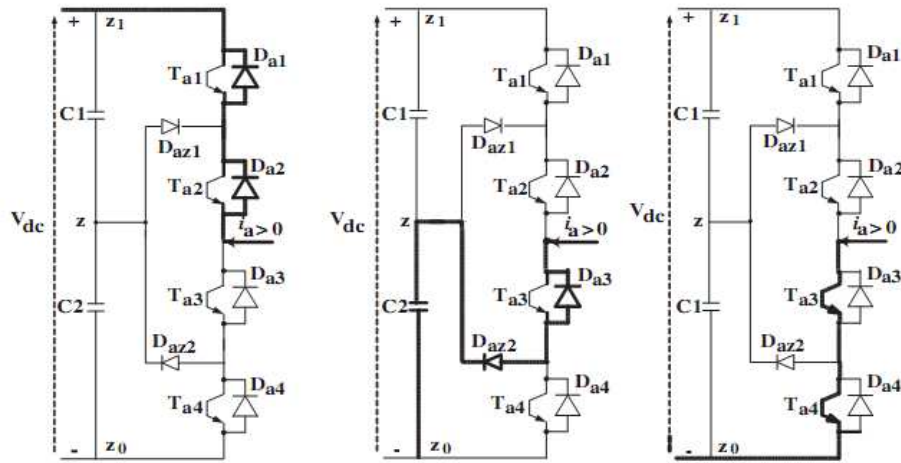
$$I_{T2,av} = I_{T3,av} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\pi} i_a d\omega t + \int_{\pi}^{\pi+\theta} d_{T2} i_a d\omega t \right]$$

$$= \frac{I_m}{4\pi} [4 + \theta M \cos \theta - M \sin \theta] \quad (19)$$

$$I_{T1,av}^2 = I_{T4,av}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} d_{T1}^2 i_a^2 d\omega t = \frac{M^2 I_m^2}{12\pi} [3 + 4 \cos \theta + \cos 2\theta] \quad (20)$$



دستگاه های هدایتی برای $i_a > 0$



Taomefa.Com
دستگاه های هدایتی برای $i_a < 0$

شکل 4- جهت جریان در یک ستون از مبدل سه سطحی

جدول 2- حالت کلیدزنی مبدل سه سطحی

(عنوان ستون از چپ: علامت کلیدزنی، دستگاه های کلیدزنی)

| Switching symbol | Switching devices | | | |
|------------------|-------------------|----|-----|-----|
| | T1 | T2 | T3 | T4 |
| P | ON | ON | OFF | OFF |
| 0 | OFF | ON | ON | OFF |
| N | OFF | OF | ON | ON |

$$\begin{aligned}
 I_{T2,rms}^2 = I_{T3,rms}^2 &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^\pi i_a^2 d\omega t + \int_\pi^{\pi+\theta} d_{T2} i_a^2 d\omega t \right] \\
 &= \frac{I_m^2}{12\pi} [3(\pi - M) + 4M \cos \theta - M \cos 2\theta] \quad (21)
 \end{aligned}$$

و متوسط جریان و جریانات rms در دیودهای چرخش آزاد عبارتند از:

$$\begin{aligned}
 I_{Da1,av} = I_{Da4,av} = I_{Da3,av} = I_{Da4,av} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\theta d_{da1} i_a d\omega t \\
 &= \frac{MI_m}{4\pi} [\theta \cos \theta - \sin \theta] \quad (22)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{Da1a\nu}^2 = I_{Da2,rms}^2 = I_{Da3,rms}^2 = I_{Da4,rms}^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\theta d_{T1} i_a^2 d\omega t \\
 &= \frac{MI_m^2}{4\pi} [3 - 4 \cos \theta + \cos 2\theta] \quad (23)
 \end{aligned}$$

متوسط و ریشه میانگین مربعات جریان ها در دیودهای محدودکننده عبارتند از:

$$\begin{aligned}
 I_{Ta5,av} = I_{Ta6,av} &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^\pi d_{da3} i_a d\omega t + \int_\pi^{\pi+\theta} d_{da2} i_a d\omega t \right] \\
 &= \frac{I_m}{\pi} - \frac{MI_m}{4\pi} [(\pi - 2\theta) \cos \theta + 2 \sin \theta] \quad (24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{sa5,rms}^2 = I_{sa6,rms}^2 &= \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^\pi d_{sa3} i_a^2 d\omega t + \int_\pi^{\pi+\theta} d_{sa2} i_a^2 d\omega t \right] \\
 &= \frac{I_m^2}{12\pi} [3\pi - 6M - 2M \cos 2\theta] \quad (25)
 \end{aligned}$$

طبق معادله 6 و برای مبدل NPC سه سطحی، تلفات کلیدزنی در IGBTهای T1 به T2 عبارتند از:

$$P_{T1,sw} = P_{T4,sw} = \frac{f_s}{2\pi} \int_0^\pi k_1 I_m \sin(\omega t - \theta) d\omega t = \frac{k_1 f_s I_m}{2\pi} [1 + \cos \theta] \quad (26)$$

$$P_{T2,sw} = P_{T3,sw} = \frac{f_s}{2\pi} \int_\pi^{\pi+\theta} k_1 I_m \sin(\omega t - \theta) d\omega t = \frac{k_1 f_s I_m}{2\pi} [1 - \cos \theta] \quad (27)$$

6-1- تلفات ترانسفورماتور کوپلینگ

تلفات عملیاتی ترانسفورماتور عبارت است از حاصل جمع تلفات هسته و مس. تلفات مس در سیم پیچ اولیه و

ثانویه را می توان با استفاده از فرمول $(3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 + 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2)$ محاسبه نمود، که در آن به ترتیب I_1 ، I_2 ، R_1 و

R_2 جریان اولیه، مقاومت موثر اولیه، و مقاومت موثر ثانویه می باشند. تلفات هسته با انرژی رسانی

به ایستگاه مبدل VSC-HVDC با دریچه های مسدود تعیین می شود. تلفات هسته همیشه به شکل درصد تلفات مس تحت بار کامل تعیین می شوند.

6-2- تلفات فیلتر AC

در سیستم برق VSC-HVDC، کلیدزنی IGBT ها با استفاده از تکنیک PWM فرکانس بالا تنها مولفه های هارمونیک رده بالا را در حدود مولفه های فرکانس کلیدزنی و بالاتر از آن تولید می کنند. تنها فیلتر بالاگذر منفعل را می توان برای حذف این هارمونی های رده بالا استفاده کرد که تلفات نسبتا کمی را در مقایسه با فیلترهای دارای فرکانسهای تنظیم شده پایین تر بکار رفته در سیستم برق معمولی HVDC تولید می کند. مولفه های بنیانی و هارمونیک جریان جاری در فیلتر AC برای تعیین تلفات در هر مولفه فیلتر به ترتیب ذیل استفاده می شوند:

6-2-1- تلفات مقاومت فیلتر

تلفات در مقاومت های فیلتر با استفاده از جریان rms که در مقاومت فیلتر جاری ست براساس قانون اهم محاسبه می شوند.

6-2-2- تلفات راکتانس فیلتر

جریانهای بنیانی و هارمونیک در راکتورهای فیلتر محاسبه می شود و تلفات راکتور به ترتیب ذیل محاسبه می گردد:

$$P_R = \sum_{n=1}^{n=49} \frac{(I_{Ln})^2 X_{Ln}}{Q_n} \quad (28)$$

که در آن n ترتیب هارمونیک است، I_{Ln} جریان محاسبه شده از طریق راکتور در هارمونیک n ام می باشد، X_{Ln} راکتانس راکتور در هارمونیک n ام می باشد، Q_n برابر با فاکتور کیفیت فیلتر در هارمونیک n ام می باشد و P_R تلفات راکتور فیلتر است.

در این مقاله، چون فیلتر بالاگذر AC تلفات نسبتا اندکی را در مقایسه با تلفات انتقال برق کل تولید کرده است، تلفات فیلتر تقریبا صفر در نظر گرفته می شود (در واقع صفر نیست ولی این فرض برای ساده سازی محاسبات است) و طی ارزیابی کارایی سیستم برق VSC-HVDC نادیده گرفته می شود.

6-3- تلفات کابل DC

تلفات در کابل dc را می توان به ترتیب ذیل محاسبه نمود:

$$P_{dc} = R_{dc} \cdot (P_4/V_{dc})^2 \quad (29)$$

که در آن R_{dc} مقاومت کابل است، V_{dc} ولتاژ dc در طرف گیرنده کابل است، و P_4 توان dc در طرف گیرنده کابل می باشد (شکل 1).

7- ارزیابی کارایی سیستم برق VSC-HVDC دو سطحی

پارامترهای سیستم معمول در سیستم آزمایش VSC-HVDC در شکل 1 و در جدول 3 آمده است. تلفات سیستم با استفاده از روش تحلیلی و نیز روش اندازه گیری با نرم افزار ارزیابی شده اند.

7-1- روش تحلیلی

تلفات مس ترانسفورماتور در T1 و T2 بعد از بدست آوردن جریان rms که از ترانسفورماتورها عبور می کند، محاسبه می شود. تلفات آهن به اندازه 20 درصد تلفات مس برآورد شده است. بنابراین تلفات کل عبارتند از:

جدول 3- پارامترهای سیستم

| مقدار واقعی | مولفه |
|---------------------------|-------------------------|
| 400 kv | ولتاژ نامی باس 1 |
| 400/132 kv, 200 MVA | توان نامی ترانسفورماتور |
| 0.2178 Ω | مقاومت ترانسفورماتور |
| 55.49 mH | راکتانس ترانسفورماتور |
| 41.6 mH | راکتور کوپلینگ |
| 200 MVA | توان نامی مبدل VSC |
| 0.0125 Ω/km (150 km long) | مقاومت کابل DC |
| 300 kv | ولتاژ پیوند DC |

$$I_{T1} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot V_{P1}} = \frac{200 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 132} = 875 \text{ A,}$$

$$I_{T2} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot V_{P2}} = \frac{195 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 132} = 853 \text{ A}$$

$$P_{T1} = 3 \cdot 1.20 \cdot I_{T1}^2 \cdot R_{T1} = 0.6 \text{ MW}$$

$$P_{T2} = 3 \cdot 1.20 \cdot I_{T2}^2 \cdot R_{T2} = 0.57 \text{ MW}$$

کلیدهای دریچه مبدل دو سطحی ترکیبی از 105 کلید IGBT با اتصال سری 3.3 kV می باشد که برای تحمل 300 kV (ولتاژ پیوند dc) دارای 15 درصد افزونه می باشد.

با استفاده از پارامترهای فراهم شده در برگ داده های شکل 2 :

-تعداد IGBT های سری سازی شده=105

-مقاومت مستقیم IGBT =3.5mΩ

-ولتاژ آستانه IGBT ای $V_T = 3.5 \text{ V}$

-مقاومت مستقیم دیود چرخش آزاد=3.0mΩ

-ولتاژ مستقیم دیود چرخش آزاد=2.5 V

انرژی کلیدزنی به دلیل تلفات روشن/خاموش با فرمول $E = ki$ بیان می شود که در آن $k = 225 \text{ J/A}$ می باشد.

پارامترهای عملیاتی مبدل عبارتند از: $I_M = \sqrt{2} * I_{T1} = 1237 \text{ A}$ ، فاکتور توان مبدل=0.85، شاخص

مودولاسیون=0.856

بنابراین تلفات هدایتی و کلیدزنی عبارتند از:

$$P_{con} = 6 * [I_{T1,av} \cdot V_{f0T1} + r_{T1} \cdot I_{T1,rms}^2 + I_{D1,av} \cdot V_{f0D1} + r_{D1} \cdot I_{D1,rms}^2] \\ = 2.438 \text{ MW}$$

$$P_{sw} = \frac{f_s}{2\pi} \int_0^{T_s} k_1 id \omega t = 0.00852 \text{ MW}$$

تلفات پیوند dc (برای 192 MW و 300 kV در انتهای گیرنده کابل) برابر است با:

$$I_{dc} = \frac{P_4}{V_{dc2}} = \frac{192 \times 10^3}{300} = 640 \text{ A} \quad P_{dclosses} = 2 \cdot I_{dc}^2 \cdot R_{dc} = 1.875 \text{ MW}$$

7-2- روش اندازه گیری با نرم افزار

بعد از کار مدلسازی برای سیستم انتقال برق VSC-VHDC در نرم افزار Matlab/Simulink، توانهای ورودی و خروجی در هر مولفه با استفاده از اندازه گیری های اکتیو و راکتیو توالی مثبت سه فازی جداگانه اندازه گیری گردید.

جدول 4-تلفات در سیستم برق VSC-HVDC دو سطحی

| مولفه | تلفات اندازه گیری شده | % از تلفات کل | تلفات تحلیلی | % از تلفات کل |
|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------|---------------|
| AC side1 | 0.55 | 06.88 | 0.6 | 07.58 |
| VSC ₁ | 2.55 | 31.87 | 2.438 | 30.79 |
| DC cable | 1.8 | 22.50 | 1.875 | 23.68 |
| VSC ₂ | 2.55 | 31.87 | 2.438 | 30.79 |
| AC side2 | 0.55 | 0.688 | 0.57 | 07.20 |
| Total | 8.0 | 100 | 7.921 | 100 |

جدول 5- تلفات در سیستم برق VSC-HVDC سه سطحی

| مولفه | تلفات اندازه گیری شده (MW) | % | تلفات تحلیلی (MW) | % |
|------------------|----------------------------------|-------|-------------------------|-------|
| AC side1 | 0.55 | 08.45 | 0.6 | 08.76 |
| VSC ₁ | 1.8 | 27.70 | 1.9 | 27.74 |
| DC cable | 1.8 | 27.70 | 1.875 | 27.37 |
| VSC ₂ | 1.8 | 27.70 | 1.9 | 27.74 |
| AC side2 | 0.55 | 08.45 | 0.57 | 08.32 |
| Total | 6.5 | 100 | 6.85 | 100 |

تلفات در سیستم برق VSC-HVDC بنا به جدول 4 می تواند برای تایید تلفات در بخش قبلی با استفاده از روش تحلیلی مورد استفاده قرار گیرد.

8- ارزیابی کارایی سیستم VSC-HVDC سه سطحی

همان سیستم با پارامترهای قبلی برای ارزیابی کارایی سیستم VSC-HVDC سه سطحی استفاده می شود. در این حالت کلیدهای دریچه مبدل سه سطحی به نصف مقدار مبدل دو سطحی کاهش می یابد و متشکل از 53 کلید IGBT با اتصال سری 3.3 kV با 15 درصد افزونه سازی برای تحمل 150 kV (ولتاژ پیوند dc) می باشد. با استفاده از شرایط عملیاتی و پارامترهای مشابه استفاده شده در بخش قبلی با سیستم VSC-HVDC دو سطحی، تلفات محاسبه شده با استفاده از تکنیک های اندازه گیری تحلیلی و نیز نرم افزاری در جدول 5 آمده است.

9- نتیجه گیری ها

این مقاله یک روش ریاضی و تحلیلی را برای محاسبه تلفات عملیاتی در سیستم های انتقال برق VSC-HVDC دو سطحی و سه سطحی ارائه داده است و شبیه سازی نرم افزار برای تایید نتایج بدست آمده استفاده می شود. نتایج بدست آمده نشان می دهد که:

-استفاده از یک مبدل سه سطحی NPC باعث کاهش تلفات تبدیل در مبدل می شود چرا که فرکانس کلیدزنی موثر در هر وسیله در مقایسه با مبدل دو سطحی به نصف کاهش می یابد.

-تلفات تبدیل حدود 63.74% کل تلفات در مبدل دوسطحی نشان داده شده است و 55.5% در مبدل سه سطحی بوده است.

-تلفات تبدیل را می توان با استفاده از یک شیوه چندسطحی بالاتر کاهش داد.

References

- [1] Bahrman MP, Johnson BK. The ABCs of HVDC transmission technologies. *Power Energy Mag IEEE* 2007;5:32-44.
- [2] Hammons TJ et al. Role of HVDC transmission in future energy development. *Power Eng Rev IEEE* 2000;20:10-25.
- [3] Meah Kala et al. A new simplified adaptive control scheme for multi-terminal HVDC transmission systems. *Int J Electr Power Energy Syst* 2010;32(4):243-53.
- [4] Flourentzou N et al. VSC-based HVDC power transmission systems: an overview. *IEEE Trans Power Electron* 2009;24:592-602.
- [5] Agelidis VG, et al. Recent advances in high-voltage direct-current power transmission systems. In: *IEEE international conference on industrial technology 2006, ICIT 2006*; 2006. p. 206-13.
- [6] Latorre HF et al. Improvement of power system stability by using a VSC-HVDC. *Int J Electr Power Energy Syst* 2011;33(2):332-7.
- [7] Senthil Kumae N et al. Impact of FACTS controllers on the stability of power connected with doubly fed induction generator. *Int J Electr Power Energy Syst* 2011;33(5):1172-84.
- [8] Hui P, et al. Evaluation of losses in VSC-HVDC transmission system. In: *Power and energy society general meeting - conversion and delivery of electrical energy in the 21st century*, 2008 IEEE; 2008. p. 1-6.
- [9] Ackermann T. *Wind power in power system*. John Wiley & Sons, Ltd.; 2005.
- [10] Dahono PA et al. Analysis of conduction losses in inverters. *Electr Power Appl IEE Proc* 1995;142:225-32.
- [11] Arrillage YHLLJ, Watson NR. *Flexible power transmission systems - the HVDC options*. John Wiley & Sons Publication; 2007.
- [12] Cole S, Belmans R. *Transmission of bulk power*. *Ind Electron Mag IEEE* 2009;3:19-24.
- [13] Ramadan HS et al. Performance enhancement and robustness assessment of VSC-HVDC transmission systems controllers under uncertainties. *Int J Electr Power Energy Syst* 2012;35(1):34-46.
- [14] Blaabjerg F et al. Power losses in PWM-VSI inverter using NPT or PT IGBT devices. *IEEE Trans Power Electron* 1995;10:358-67.
- [15] Tae-Jin K, et al. The analysis of conduction and switching losses in multi-level inverter system. In: *Power electronics specialists conference, PESC. IEEE 32nd annual, vol. 3*; 2001. p. 1363-8.
- [16] Oh KS. Application note 9016: IGBT basics 1, FAIRCHILD Semiconductor, Rev. A2; February 2001.
- [17] Kolar JW et al. Influence of the modulation method on the conduction and switching losses of a PWM converter system. *IEEE Trans Ind Appl* 1991;27:1063-75.
- [18] Zhang Yushu, et al. Voltage source converter in high voltage application: multilevel versus low-level converters. In: *Presented at the ACDC 2010, the 9th international conference on AC and DC power transmission, London, UK, October 2010*.
- [19] Yazdani A, Iravani R. *Voltage-sourced converters in power systems: modeling control, and applications*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, Inc.; 2010.
- [20] IEEE recommended practice for determination of power losses in high-voltage direct-current (HVDC) converter stations. *IEEE Std. 1158-1991*; 1992. p. 1.
- [21] Barberis Negra N et al. Loss evaluation of HVAC and HVDC transmission solutions for large offshore wind farms. *Electr Power Syst Res* 2006;76(11):916-27.



برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمایید.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی