

学生番号	13674038	氏名	吉富 邦和
論文題目	超伝導直流送電ケーブルの リップル電流による交流損失の解析		

1. はじめに

現在、送電網における送電損失を大幅に低減する方法として超伝導直流送電が注目されている。超伝導直流送電ケーブルには交流から変換された直流電流が流されるが、交直変換によるリップル電流が重畳している。リップル電流は超伝導線に交流損失を発生するため、その見積もりが必要である[1]。本研究では、交直変換に6相、12相、24相の整流電流を用いた際のヒステリシス損失と結合損失からなる交流損失について評価した。

2. 交流損失の評価

超伝導線に流れるリップル電流による交流損失の評価式として、磁界に対し臨界電流密度を一定とするBeanモデルが用いられる。このBeanモデルが成り立つ円柱状の超伝導線に振幅 I_m の交流電流を通電した場合の交流1周期・単位長さ当たりのヒステリシス損失 Q_{ripple} は次式で与えられる[2]。

$$Q_{ripple} = Q_0 \left[(1 - i_m) \ln(1 - i_m) + \frac{(2 - i_m)i_m}{2} \right] \quad (1)$$

ここで、臨界電流 I_c を用いて $i_m = I_m/I_c$ 、 $Q_0 = \mu_0 I_c^2/\pi$ である。3相交流電流の角周波数を ω としたとき、 p 相の整流電流は次式のように表される。

$$I_p(t) = \cos\left(\omega t - \frac{n\pi}{p}\right) \quad (2)$$

$|\omega t - n\pi/p| < \pi/p$ 、 n は整数である。図1は式(2)の整流電流波形を示したものである。整流電流の直流成分は $(p/\pi) \sin(\pi/p)$ であり、交流成分のピークピーク値は $2 \sin^2(\pi/2p)$ であるから、この交流電流の振幅と直流成分の比は $k_p = (\pi/2p) \tan(\pi/2p)$ となる。6相、12相、24相整流に対してこの比はそれぞれ7.01%、1.72%、0.43%となる。 p 相整流電流の直流成分が直流 I_{DC} のとき、交流振幅は $I_m = k_p I_{DC}$ とみなして式(1)からヒステリシス損失を求めることができる。

3. 結果及び考察

ここでは超伝導直流送電ケーブルの一例として、39本の並列線材で構成されたケーブル[2]を考える。このケーブルに周波数60 Hzの3相交流から得られた2 kAの整流電流を流すと、線材1本あたりの直流電流は $I_{DC} = 2000/39 = 51.3$ Aとなる。したがって、6相、12相、24相の整流電流に対する線材1 mあたりの交流

損失は、式(1)から表1に示す値となる。交流損失は目標としている0.5 W/mに比べて十分小さい。結合損失 P_c [3]についてはブロック状複合導体モデル[4]を用いて評価した。結合時定数を $\tau_s \gg 1/2\pi$ と仮定して P_c を見積もると、非ツイスト線材であるため表1に示す程度の値となり、十分小さい。そのため、結合損失は無視できる。このことから、交直変換に整流電流を用いた際の交流損失はヒステリシス損失のみで考えてよいことがわかる。したがって、6相、12相、24相整流のいずれでも十分交流損失の小さい超伝導直流送電が可能であると考えられる。

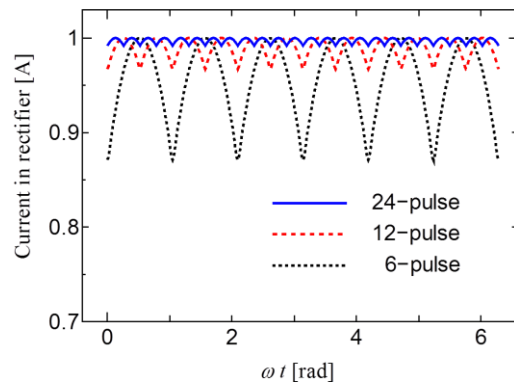


図1. 整流電流波形 (6相、12相、24相)

表1. 整流電流の交流損失

相数 p	ヒステリシス損失 P_h (μ W/m)	$f_c = 1$ の時の結合損失 P_c (μ W/m)
6	444	68.2
12	13.0	4.12
24	0.399	0.255

参考文献

1. E.S. Otabe et al.: Physics Procedia 27 (2012) 248-251.
2. E.S. Otabe et al.: 24th International Symposium on Superconductivity (ISS2011) (2011) WTP-61.
3. R. Inada et al.: Supercond. Sci. and Tech. 22 (2009) 085014(8pp).
4. 山村ほか：超伝導工学(改訂版), 電気学会 (1996) 131-133.

業績

1. 吉富ほか：2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会 (2013) 同志社大学京田辺キャンパス.
 2. Yoshitomi et al.: Physics Procedia 58 (2014) 326-329.
- ほか3件