U.D.C. (621. 314. 222 + 621. 318. 43). 027. 85:621. 315. 051. 024

変換器用変圧器と直流リアクトルの開発 Developement of the Converter Transformers and Smoothing Reactors

UHV-AC機器の開発によって得られた新技術を踏まえ,将来のUHV-DC(DC500 kV)実用化に向け,基礎研究を実施した。特に,UHV-DC変換器用変圧器の直流巻 線端部構造を模擬した,縮小絶縁モデルによる直流電圧破壊実験を行なった結果, L形バリヤ,誘電体シールドリングの採用により,UHV-DC変換器用変圧器や直流 リアクトルもUHV-AC変圧器と同等の小形化を実現できる見通しを得た。また,直 流部分放電測定装置を開発し,前記直流電圧破壊実験を通じてその性能を確認した。 この装置の利用によって,今後いっそう機器の信頼性向上が期待できる。

渡辺 優*	Masaru Watanabe
小幡俊光*	Toshimitsu Obata
高橋英希**	Eiki Takahashi

1 緒 言

我が国での直流送電は,電源開発株式会社の北海道-本州間 電力連系設備で,既にDC250kVまで実用化されている¹⁾。一 方,交流送電の分野ではUHV機器の研究・開発が行なわれ, 種々の成果が得られている。現在これらの技術的成果は,500 kV級変圧器,更には超高圧変圧器に応用され,機器の省エネ ルギー・小形化に大きく貢献している。直流送電用変換所の 主要構成機器である変換器用変圧器,及び直流リアクトルに 関し,このUHV-AC機器の開発によって得られた新技術を踏 まえ,将来のUHV-DC実用化に向けて基礎研究を実施した。 また,従来不可能であった直流部分放電測定を可能にする装 置を開発した。

すべき特有の現象がある。これらのうち、将来のUHV-DC実用化に際し特に重要な項目は直流絶縁である。

2.1 直流絶縁²⁾

交流の電位分布が構成絶縁物の誘電率により支配されるの に対し,直流の電位分布は構成絶縁物の体積抵抗率により支 配される。誘電率の交流電界依存性は小さいが,図1,2に 示すように変換器用変圧器の主要な絶縁構成物である変圧器 油とプレスボードの体積抵抗率は直流電界の値によって変化 する。したがって,変圧器内部の直流電界を解析する場合, この体積抵抗率の非線形性を考慮する必要がある。図3に示 す試料により,プレスボードのラップ長さ対直流フラッシオ ーバ電圧特性を実測した結果,及び計算値を図4に示す。同 図から次のことが分かる。

2 変換器用変圧器

一般の電力用変圧器と比べて変換器用変圧器には,(1)直流絶縁,(2)鉄心の直流偏磁,(3)高調波電流,などの設計上考慮



(1) プレスボードのラップ長さが大きくなるほど油中の直流 フラッシオーバ電圧が高くなる。

(2) ラップ長さが小さくなり,不平等電界になるほど絶縁物の非線形性の影響が大きく現われる。



図 | 変圧器油の体積抵抗率の電界依存性 直流電界中の変圧器油の体積抵抗率 poil は,電界 E によって変化する。

図2 プレスボードの体積抵抗率の電界依存性 直流電界中のプレスボードの体積抵抗率 ρ_{PB} は、電界Eによって変化するが、変圧器油とは特性が異なっている。

25

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所

446 日立評論 VOL. 67 No. 6 (1985-6)





図4 ラップ長さ対直流フラッシオーバ電圧特性 図3の試料によって測定したラップ長さ1と直流フラッシオーバ電圧との関係を示す。計算値 (線形)は油、プレスボードの体積抵抗率を一定とした場合、計算値(非線形)は 図1、2に示す各体積抵抗率を考慮した場合である。

したがって、直流電圧の加わる電極を積極的にプレスボードなどで覆ったり、また直流巻線端部を絶縁物のL形バリヤで覆うなどによって直流絶縁性能を向上できる。

また、一定極性の電圧で運転中に潮流反転を行なった場合、 その電圧の極性が反転し、特徴的な沿面フラッシオーバ特性 を示す。例えば、負極性直流電圧 V_{ac}が長時間印加された後、 瞬時に正極性電圧 V_{DC} に変わるような電圧が試料に加えら れると、電圧の極性が反転した直後に部分放電、あるいはフ ラッシオーバが起こる。図5に、*l*=10mmの試料での極性反 転による放電特性を示した。V_{DC}の高いほど試料内の空間電 荷の影響が大きくなり、反転後には低い V'_{DC}でも沿面フラッ シオーバあるいは部分放電の起こることを示す。このような 極性反転時の部分放電は、計算により予測が可能である。な お実験によると、極性反転による放電は単発的で、その材料 劣化に及ぼす影響は軽微であることが分かった。したがって、 本稿ではこれ以上の詳細は割愛した。

2.2 縮小絶縁モデル実験

UHV-ACプロトタイプ変圧器の製作を通じて,実用化されたプレスボード成形絶縁物の直流絶縁性能を検証し,合わせ



図6 直流部分放電耐電圧試験回路 縮小絶縁モデルによる直流電圧 破壊試験を行なった回路を示す。合わせて直流部分放電の測定も行なった。



て直流部分放電の測定を行なうため、図6、7に示す縮小絶縁モデルによる直流電圧破壊実験を行なった。モデルの寸法、形状の選定に際しては、次の項目を考慮した。
(1) 直流巻線端部のUHV-DC実器絶縁構造を模擬する。特に、電界的に最も過酷となる端部の電界緩和用シールドリングの構造を模擬する。
(2) 試験用500号ブッシングでフラッシオーバ電圧を確認で

を確認で 図7 モデル外観 縮小絶縁モデルの外観例を示す。

 $\mathbf{26}$

きる。

この一連の実験の結果,巻線端部電極絶縁紙の厚さ適正化 及びL形バリヤ,誘電体シールドリングの採用により,従来ネ ックになっていた直流巻線端部の絶縁寸法を合理的に縮小で き,UHV-AC変圧器と同等の小形化を実現できる見通しを得 た。また,直流部分放電の測定が可能であることを検証でき た。

2.3 鉄心の直流偏磁

サイリスタバルブの制御角のばらつきにより,直流巻線に 流れる電流には直流分が含まれる。このために鉄心が直流偏 磁される。従来は最悪条件を想定した制御角のばらつきから 計算した偏磁量に基づき鉄心を設計していた。しかし,実際 にバルブと組み合わせて測定した偏磁量は,計算値の約80% 程度であった例がある³⁰。したがって,いっそう高電圧・大容 量化し,輸送重量の低減が大きな課題の一つになるUHV-DC 変圧器では,単に最悪条件だけを想定するのではなくバルブ の制御特性と十分協調を図り設計することが必要となる。

2.4 高調波電流

変換器用変圧器内部の漏れ磁束分布解析例を図8に示す。 高調波電流による漂遊損失の増加現象は直流用としての特殊 条件ではあるが、

(1) 図8に示すように解析により詳細に把握できる。

(2) 実器により解析結果の検証が可能である。

変換器用変圧器直流巻線の直流絶縁技術をそのまま応用できる。(2),(3)についても変換用変圧器と同様に現象の新規性はなく,従来の解析技術で設計できる。

4 直流部分放電測定技術⁴⁾

直流送電用機器の絶縁試験として,直流耐電圧試験が従来 から実施されているが,その他,直流部分放電試験の実施も 望まれている。直流部分放電現象は,交流部分放電現象と異 なり再現性のない発生頻度の低い過渡現象である。このため, 直流部分放電の測定では,放電信号と障害雑音とを分離する ことが重要な技術課題となる。従来の障害雑音除去技術は不 完全であるため,商業試験としての直流部分放電試験は世界 的にみても実施例がない。そこで新しい直流部分放電測定装 置を開発した。装置の外観を図9に示す。

4.1 原 理

直流耐電圧試験回路と信号検出法を図10に示す。 $Z_1 \sim Z_5$ の インピーダンス中を信号電流が流れることによって生ずる表 1に示す各電圧 $v_1 \sim v_5$ の極性パターンをミニコンピュータで 識別することにより、供試体から発生する部分放電パルスと 電源雑音、電波雑音などを判別する。

4.2 特 徴

試作した直流部分放電測定装置の主な性能を表2に示す。 この装置は、次のような特徴がある。

(3) 直流回路電圧が500kVに増加しても漏えい現象の面から は新規性はない。

の理由により従来と同じ設計手法で設計できる。

3 直流リアクトル

UHV-DC直流リアクトルの実用化の上での技術課題としては,(1)直流絶縁,(2)高調波電流による漂遊損失,(3)高調波電流による振動・騒音,などがある。このうち(1)はUHV-DC

(1) 電源から侵入する雑音のほか,従来除去不可能であった 結合コンデンサのコロナ,高圧印加線に発生するコロナ,ブ ッシングから発生するコロナ,空間から侵入する電源雑音を 完全に除去でき,部分放電を正確に測定できる。

(2) 部分放電発生の定常現象はもちろん,過渡現象をも測定できる。

27

(3) 直流部分放電, 交流部分放電ともに測定できる。

(4) 屋内試験用に有効である。



図8 漏れ磁束分布解析例 タンクに磁気シールドを設けた変換器用変 図9 直流部分放電測定装置の外観 開発した直流部分放電測定装置 圧器内部の漏れ磁束分布解析例を示す。の外観を示す。



図10 直流耐電圧試験回路と信号検出法 各インピーダンスZ1~Z5 中に信号電流が流れた場合の電圧 $v_1 \sim v_5$ の極性パターンを識別することにより 雑音を除去する。

信号極性の組合せ 表丨 各信号発生源とそれらに対応した電圧極性パ ターンを示す。このパターンをミニコンピュータに記憶させておき、信号と雑



音を判別する。

	信号発	生源	v_{1}	v_2	v_3	v_4	v_5
信	供試体部分放電		+	-	+	_	
号	(S)	-	+		+	+
	電源	雑 音	+	+		+	+
雑	(N_p)			+	N <u></u>	-	
	結合コンデンサコロナ		+	-			-
	((<i>Nk</i>)		+	+	+	+
音	電磁誘導 電波雑音 (Nø) 静電誘導	×	-	+	+	-	
		\times	+	-		+	
		热雨沃道	+	+	+	×	×
		盱电 动导				×	×

注:+(正極性), -(負極性), ×(極性不定)

表2 試作装置の性能 試作した直流部分放電測定装置の主な特性を 示す。

項目	性能		
最小入力電圧	10µV		
帯 域 幅	10~500kHz		
除去雑音	電源雑音 印加線コロナ 結合コンデンサコロナ ブッシングコロナ 電波雑音		
雑音除去比(pu)	3,000以上		

直流部分放電特性の実測例 図日 試作した直流部分放電測定装置に よって実測した結果の一例を示す。これらは、ミニコンピュータによって自動 解析及び出力したものである。

5 結 言

将来のUHV-DC変換器用変圧器と直流リアクトルの開発 を目指して研究を行ない, UHV-AC機器と同等の小形化を実 現できる見通しを得, 直流部分放電の測定が可能であること を検証した。今後も引き続きUHV-DC機器の実用化のため, 鋭意研究を進めてゆく。

終わりに、本開発に当たり終始御指導、御援助をいただい た電源開発株式会社,東京電力株式会社の関係各位に対し, 厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

1) 竹之内,外:電源開発株式会社北海道·本州間電力連系計画の 概要と函館変換所用変換設備,日立評論,61,2,104~107(昭 54-2)

 $\mathbf{28}$

直流部分放電の実測例として、図11に油中直流部分放電の 特性を示す。これらのデータ解析及びグラフ出力は、ミニコ ンピュータにより自動的に行なえる。

2)高橋、外:油浸絶縁物の内部直流電界分布と直流フラッシオ ーバ電圧, 電気学会論文誌, 99-A, 194~199(昭54-5) 3) 栗田,外:125kV,37.5MWサイリスタ変換装置用主変圧器, 直流リアクトル, 直流変成器, 日立評論, 53, 4, 406~412(昭 46 - 4)高橋,外:直流部分放電測定装置の開発,電気学会高電圧研究 4) 会, HV-83-25(昭58-4)