

# 技術解説書

## 低周波 $\tan \delta$ 測定装置 DAC-LFM-3 LOW FREQUENCY C and Tan $\delta$ METER

### DAC-LFM-3 製品概要

DAC-LFM-3は超低周波電源を内蔵したタンデルタ、静電容量測定器です。

この装置は0.1Hzまたは0.01Hzの超低周波電源でタンデルタと静電容量を測定します。

DAC-LFM-3は32ビットMPUを採用し、完全デジタル処理による超低周波タンデルタ測定と静電容量測定を可能にしました。

タンデルタ、静電容量値は電力用ケーブルなどの絶縁物劣化の判断指標として非常に重要な項目です。従来においてはタンデルタ、静電容量測定は商用周波数で行うのが一般的でしたが、そのためには巨大な電源設備を要し設備コストが膨大になります。また設備の運用にもコストと時間を要します。

従来はこれらの障害があったため商用周波数による測定は敬遠され、直流耐電圧試験やその他の簡便な測定手法で絶縁劣化の判定を行っておりました。

超低周波領域では供試品のインピーダンスは極めて高くなるので測定に必要な電源設備の容量は商用周波数に比べはるかに小さくて済み、商用周波数に対して数千分の1の設備容量です。

DAC-LFM-3はそのコンパクトな形状にもかかわらず電力用ケーブルなど、静電容量が非常に大きい供試品のタンデルタ測定、静電容量測定を可能にしました。

またDAC-LFM-3は超長尺電力ケーブルのような分布定数回路にも適応し非常に正確な測定結果をもたらします。

分布定数回路は複雑な分布パラメーターで構成されており、測定の障害になります。

従来の商用周波数による測定方法ではこれらの障害を除去することが困難でしたが、DAC-LFM-3においては超低周波で測定することにより複雑なパラメータを取り除くことができタンデルタ値や静電容量値を正確に測定します。

装置は極めて小型軽量で現場へのハンドキャリアが可能です。

取り扱いには極めて簡単で測定ケーブルを供試品に接続するだけで済みます。

USBインターフェースを標準で装備しPCによるデータ取得が容易です。

DAC-LFM-3は装置単体で完璧な電力ケーブル用の絶縁診断ツールとして機能いたします。

### DAC-LFM-3 適応例

#### OFケーブル、MIケーブルの乾燥工程管理

OFケーブルやMIケーブルは直流海底送電用ケーブルとして製造されております。

これらのケーブルには絶縁油や樹脂が含浸されておりますが、含浸する前の絶縁材料中に残る水分はケー

ブルの品質に大きく影響するので、水分量を管理することは製造行程上非常に重要です。

過去においては経験的に管理されておりましたが、本装置を使用するとOFケーブルの乾燥プロセスを数値で正確に把握することができます。一般的に絶縁油を含浸する前のOFケーブルが水分を含んでいるとタンデルタ値は大きくなり乾燥が進むにつれて小さくなって行きます。

またタンデルタ値は周波数を低くすると顕著になりますので超低周波で測定したタンデルタ値は水分量検出の指標とすることができます。このようにタンデルタ値を管理することで定量的に水分量を把握することができるので、前工程を的確に終了させてから次の行程に進むことができ、生産効率を著しく向上させることができます。

**本装置はOFケーブルやMIケーブルなどの製造行程の省力化や品質向上に大いに貢献します。**

### **光ファイバー海底ケーブルの故障点標定**

光ファイバー海底ケーブルは中継器のための電力を送電する役目も担っております。

ケーブルが損傷（破断）した時、故障点を標定するために静電容量測定は重要な測定項目です。

光ファイバー海底ケーブルは長距離であるため静電容量が非常に大きく、ケーブル導体抵抗（直列抵抗）やケーブル絶縁材料の漏れ抵抗（並列抵抗）が測定に影響を与え静電容量やタンデルタを正確に測定することは困難です。

DAC-LFM-3はこのような条件下でも例えば0.01Hz仕様では5000 $\mu$ Fまでの静電容量測定が可能です。

**直列抵抗や並列抵抗の影響を受けないので高精度な静電容量測定が可能で、破断した海底ケーブルなどの精密な故障点標定に役に立ちます。**

### **商用周波数用電力ケーブルの絶縁診断**

商用周波数による電力用ケーブルの測定は電源設備が巨大になり、膨大な設備コストと運用リスクを伴い、現場での測定は困難を極めます。

DAC-LFM-3は超低周波で測定しますので電源設備コストは商用周波数の数千分の1で済みます。

電力用ケーブルの絶縁劣化に伴う異常は、ケーブルの静電容量に対する並列抵抗の微少な変化となって現れますが、通常の絶縁耐圧試験では並列抵抗による漏れ電流とケーブルの充電電流を合わせた電流を測定することになり検出感度は著しく劣ります。

ケーブルの絶縁診断は並列抵抗による漏洩電流や絶縁材料中の欠陥による損失電流を正確に測定しなければなりません。

DAC-LFM-3はこの漏洩電流や損失電流を充電電流に対する比（タンデルタ値）で表します。

**この値はケーブルの静電容量の大きさとは無関係に絶縁劣化の状態を示す指標として用いることができます。**

しかも超低周波で測定するタンデルタ値は顕著であり、微少な絶縁状態の変化もとらえることができます。

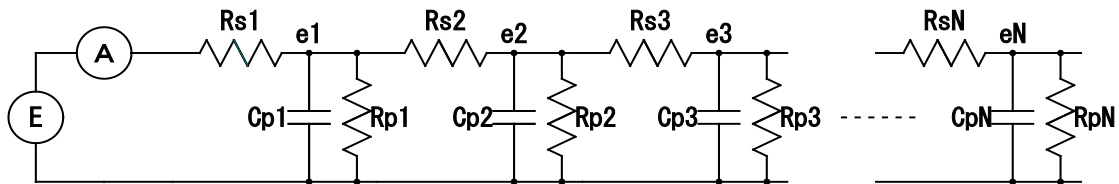
## 技術解説 超長距離ケーブルの静電容量

直流送電ケーブルのような長距離ケーブルは静電容量が非常に大きく、直列抵抗や並列抵抗が分布した分布定数回路と考えられます。

このようなケーブルの静電容量やタンデルタ値を測定するには等価回路の特性を良く考慮しなければなりません。図1は直流送電ケーブルのような長距離ケーブルに交流電圧を印加した時の等価回路です。

図1

長尺ケーブルに交流電圧を印加した時の等価回路



ここで  $R_{s1} \sim R_{sN}$  はケーブルのシース抵抗や導体抵抗、 $R_{p1} \sim R_{pN}$  はケーブル絶縁材料の漏れ抵抗、 $C_{p1} \sim C_{pN}$  はケーブルの分布静電容量を示します

交流回路（商用周波数）ではほぼ分布定数回路と見なされるので、電圧  $E$  に対して  $E > e_1 > e_2 > e_3 \dots > e_N$  の関係となり  $C_{p1} \sim C_{pN}$  には等しく電圧が掛かりません。

回路が集中常数で並列抵抗を無視したとすれば、電流計に流れる電流  $i$  は

$$i = j \omega C_x \cdot E \quad \dots \quad (1)$$

となり、(1)式から静電容量  $C_x$  が求まりますが、実際には並列抵抗が存在すると  $E > e_1 > e_2 > e_3 \dots > e_N$  であるため真値  $C_x = (C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + \dots + C_{pN})$  を求めることはできません。

次に長尺ケーブルに電荷  $Q_s = E \cdot C_s$  を注入して静電容量を求める方法について説明します。

図2

長尺ケーブルに既知の電荷を注入した時の等価回路

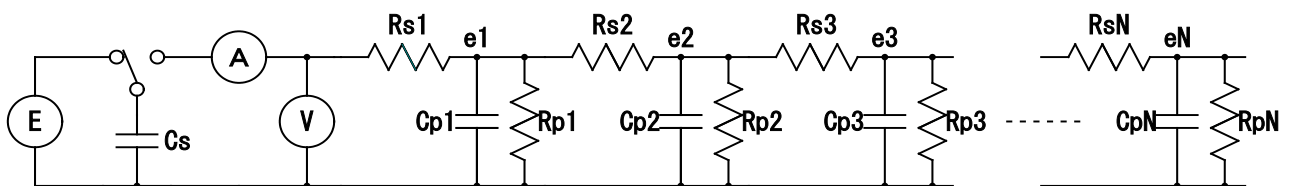


図2のようにスタンダードキャパシタ  $C_s$  を  $E$  で充電してのちスイッチをケーブル側に切り替えると  $C_s$  に蓄積した電荷がケーブルに移動し、電流計の電流が0になった時、直列抵抗の影響は無視され分布静電容量には等しく電圧がかかり  $V = e_1 = e_2 = e_3 = e_N$  となります。

回路の合成容量を  $C_t = (C_s + C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + \dots + C_{pN})$  とすると  $Q = C_s \cdot E = V \cdot C_t = V \cdot (C_s + C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + \dots + C_{pN}) \dots (2)$  となり

(2) 式から  $C_x = (C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + \dots + C_{pN})$  が求まります。

しかし、実際には並列抵抗  $R_{p1} \sim R_{pN}$  によって電荷が失われ  $V$  は時間で減衰していくので  $Q \neq V \cdot C_t$  となり、正確に静電容量を求めることはできません。

DAC-LFM-3 は超低周波電源によるタンデルタ測定器でありこのような分布定数回路でもタンデルタと静電容量を正確に求めることができます。

図3

超低周波交流電圧時の等価回路

$ZR_p \gg ZC_p$  を考慮した等価回路 ベクトル図

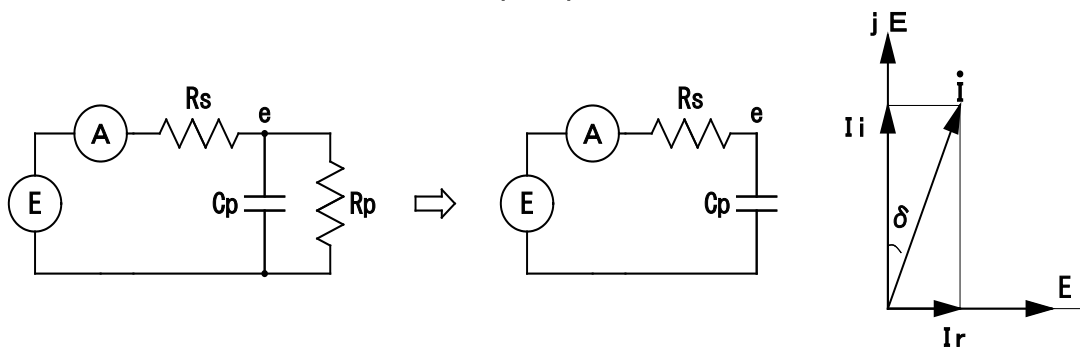


図3は超低周波電圧を分布定数回路に印加した時の等価回路です。

超低周波電源であれば等価回路はほぼ集中定数回路になります。

この場合、静電容量は分布ではなく集中しておりますので  $R_s$ 、 $C_p$ 、 $R_p$  で構成される単純な直並列等価回路になります。

$R_s$  はケーブル導体抵抗及びシース抵抗、 $C_p$  はケーブルの静電容量、 $R_p$  はケーブルの静電容量に対して並列に接続される抵抗でケーブルの絶縁抵抗を示します。

この絶縁抵抗  $R_p$  は  $C_p$  に蓄積した電荷を消失（エネルギーを損失）させることとなりますので、図2の方法で静電容量を求めると測定誤差が大きくなります。

交流低周波定電圧電源によればケーブルには有効電流と無効電流の合成電流が流れ、その比をタンジェントで表すことができます。

超長距離海底ケーブルのように静電容量  $C_p$ 、直列抵抗  $R_p$  が非常に大きくて並列抵抗  $R_p$  が大きければ絶縁抵抗が高い正常なケーブルと見なされ、その場合  $ZR_p \gg ZC_p$  となるので  $R_p$  をほぼ無視することができ、等価回路は  $R_s$  と  $C_p$  による単純な直列等価回路に簡略化されます。

ケーブルが途中で破断し、かつ  $R_p$  が大きいような故障モードの場合も同様な等価回路になります。

このような等価回路に低周波交流電圧  $E$  を印加すると、回路に流れる電流は  $jE$  から  $\delta$  だけ位相が遅れた電流  $I_i$  になり、DAC-LFM-3 はこの遅れ角をタンデルタ値として  $\tan \delta$  で表します。

測定された静電容量  $C$  とタンデルタ値には  $C = 1 / (1 - \tan^2 \delta)$  の関係がありますので、真の静電容量  $C_p$  は静電容量測定値とタンデルタの値から計算で求めます。

このようにDAC-LFM-3 は超長距離ケーブルに直列抵抗や並列抵抗が存在してもその影響を受けることなく正確に静電容量のみを測定することができます。



**SOKEN**

総研電気株式会社

<http://www.soken-jp.co>

〒182-0035 東京都調布市飛田給 1-34-22

TEL 042-490-6926 (営業部直通) FAX 042-490-6806

TEL 042-490-6925 (代表)

■大阪営業所: 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-6-3 TEL06-6304-0538 FAX06-6309-4188