

液晶素子による電力系統の課電表示

田原 徳夫* 永野 泰男** 大長 芳雄***

(昭和62年10月31日受理)

An Applied Voltage Indicator Using a Liquid Crystal Element for Electric Power Systems

Norio TAHARA, Yasuo NAGANO
and Yoshio DAICHO

From the standpoint of promoting the personal safety in the inspection and maintenance job on high voltage apparatus for electric power systems, an indicator capable of displaying the charging condition of bare conductor parts was designed and put into an examination on the construction and performance dependent on the usage. The indicator consists essentially of a display employing a liquid crystal element and an electric collector for supplying energy to the display. The indicator is characterized in that the liquid crystal element requires so small operative energy as to be supplied with its working current from a simple condenser voltage divider making use of stray capacitance. The parameter examination has established the relation between the construction and performance of the collector and setting positions and conditions of the indicator.

1. ま え が き

高電圧，特別高電圧の電気機器においては，保守作業の際の感電事故が後を断たない¹⁾。従来，電気機器の充電部には，危険に関する注意を喚起するために，朱色の塗装を施しているのが現状であるが²⁾，この塗装された充電部分は実際に電圧が印加されていてもいなくても表示が変わらないので，充電状態の判別がつかない。本研究は作業時等の安全を確保するために開発した，液晶素子を用いた充電状態表示器に関するものである。この表示器は母線またはブッシング端子等の高電圧が印加される導体表面に取り付けて，電圧が印加されているか否かを液晶の記号で表示する器具である³⁾。

本報告では，表示器の基礎的な動作特性および種々の電力機器を対象とした集電板の構造と特性について述べる。

* 電気工学科 助教授

** 電気工学科 教授

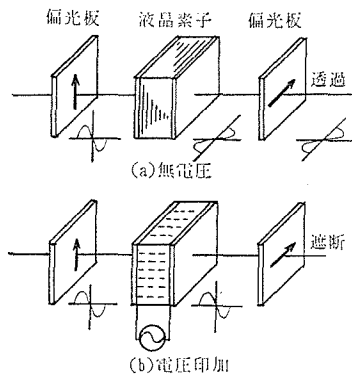
*** 株式会社 高岳製作所

2. TN液晶素子の構造と動作^{4,5)}

2.1 液晶素子の構造

現在、時計や電卓の表示素子としてはTN液晶素子が最も広く用いられており、充電状態の表示器もこの表示素子を採用している。一般に、液晶を表示素子に応用する場合、2枚のガラス基板で構成されたセル中に液晶を封入し、外部から電圧や温度によって液晶分子の配列を制御する。そのため、ガラス基板の表面にはセル中の液晶分子の配列状態が一定方向に揃うように予め配向処理が施されている。TN液晶素子はネマティック液晶の分子が2枚のガラス基板上で 90° 異なる方向に配列するように処理されており、したがって、分子はガラス面と平行を保ちつつ、左右のガラス基板間で軸方向が 90° ねじれている。一方、電圧を印加して分子配列を制御するために、両ガラス面には透明な導電膜が取り付けられており、さらに両ガラスの外側には光の進路を設定するために偏光板が配置されている。

2.2 液晶素子の動作



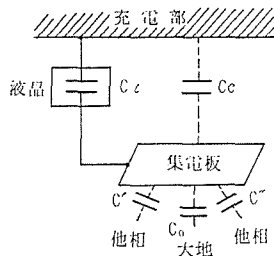
第1図 TN液晶素子の動作原理

第1図はTN液晶素子の動作原理を示す。同図(a)は印加電圧が0のときの状態を示す。TN配列セルのねじれのピッチは光の波長に比べ十分大きいので、図のように垂直に入射した光はセル中を通過する間に液晶分子のねじれに沿って 90° だけ回転する。この場合、偏光板が互いに平行ならば光は阻止され、直交ならば光は通過する。同図(b)に示すように電圧を印加したとき、しきい値電圧以上ならば分子がほぼ垂直に立つので、液晶は旋光性を失ってしまう。その結果、偏光板が平行ならば光は通過し、直交ならば阻止される。したがって、透明導電膜にパターンをつけ、偏光板を直交させれば、電圧の印加されたパターンの部分だけが旋光性を失ってパターンが表示される。

加されたパターンの部分だけが旋光性を失ってパターンが表示される。

3. 課電状態表示器の動作原理と表示特性⁶⁾

3.1 動作原理



第2図 課電表示器の動作原理

一般に、液晶素子は極めて少ない電力で動作し、特別に電源がなくても浮遊容量を利用した簡単なコンデンサー分圧で駆動電力を取り出すことができるので、低圧から超高圧までの広範囲にわたって電圧の印加状態を表示できる。また、液晶の表示記号は昼間の強烈な光の中でも明確に識別できる。本課電表示器はこのような液晶素子の優れた機能を利用している。

第2図は本表示器の動作原理を示す。液晶をはさむ2枚の電極のうち、文字電極は課電状態を表示しようとする導体

に、また、共通電極は集電板に接続する。集電板は液晶に十分な駆動電力を与えるための電極板で、導体表面とは電氣的に絶縁して取り付けられている。この集電板には大地との間に静電容量 C_0 、他相との間に C' 、 C'' また、導体の間に C_e が存在する。したがって、これらの静電容量と線間電圧および対地電圧により集電板には誘導電圧が発生する。導体の対地電圧を V_0 とすると、電極間にかかる電圧 V_i は、他相の影響を無視し、かつ、 $C_i + C_e \gg C_0$ および $C_i \gg C_e$ ならば

$$V_i \doteq (C_0/C_i)V_0 \tag{1}$$

また、液晶を流れる電流 I_i は

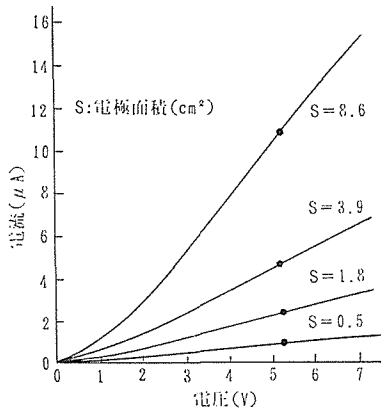
$$I_i \doteq I_0 = \omega C_0 V_0 \tag{2}$$

また、その駆動電力 W_i は

$$W_i = V_i I_i \doteq \omega C_0^2 V_0^2 / C_i \tag{3}$$

となる。ただし、 I_0 は集電板と大地間を流れる電流である。すなわち、液晶の電極間には集電板の対地静電容量 C_0 と素子の静電容量 C_i とで分圧された電圧 V_i がかかり、液晶中には C_0 で定まる電流 I_i が流れる。

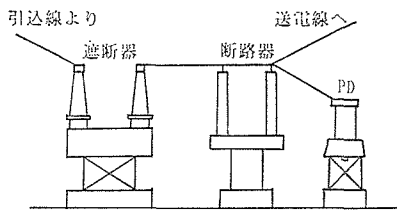
3.2 表示面積と集電板⁷⁾



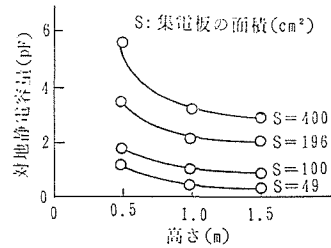
第3図 液晶素子の電圧—電流特性

一般に、特別高圧機器の充電部は対地絶縁距離が大きく、充電部に取り付けた液晶表示器は見る人の位置から遠くなり、内容確認のために十分な表示面積を必要とする。第3図は液晶の厚さを一定にして、電極面積を変えた場合の $V-I$ 特性を示す。図において黒丸で示した点は液晶のしきい値電圧であり、液晶輝度が無電圧の場合を100%、飽和表示輝度を0%としたときの相対値で、輝度が5%になるときの電圧をしきい値とした。図から表示面積の増加に伴って駆動電流が増加することがわかる。また、このことは第(2)式から C_0 を大きくする必要があり、集電板の面積が大形になる。

第4図は東長野一吉田1号線77kV系統で実施した試験現場の周辺部の概略図を示す。液晶表示素子および集電板はコンデンサ形計器用変圧器(P.D.)の頂部に設置した。実験に使用した表示器の総表示面積は26.6cm²、その静電容量は1.2×10⁴pFであり、動作電流は64μAである。したがって、この表示器を動作させるためには(1)、(2)式から C_0 が3.8pFになるような集電板を設置する必要がある。 C_0 の値は集電板の形状、大きさ、取り付け位置等により異なり、矩形平板を集電板として用いるものとする、そのときの対地静電容量は第5図のようになる。実験では集電板と対地間の距離が約1mであるから、同図より面積が400cm²の集電板を必要とする。



第4図 試験場周辺の状況



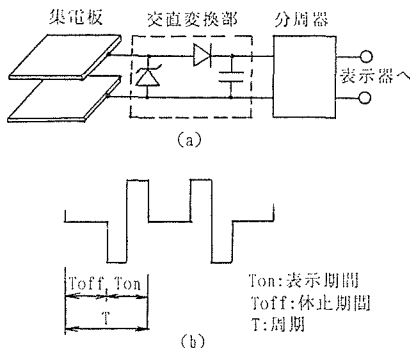
第5図 集電板の対地静電容量

なお、上記実験では表示機能の確認と他回線からの誘導による誤表示の有無を調査した。試験の結果は十分離れた位置から表示内容が明瞭に識別でき、他回線からの誘導は認められなかった。

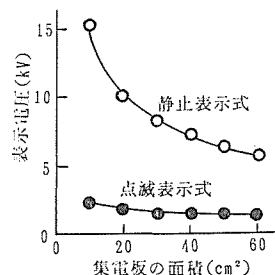
3.3 点滅式課電表示器⁸⁾

前述のように表示用の文字が大きくなると集電板も大形化し、その取り付けに支障を来すことがある。このような場合、液晶表示素子の駆動電力が(3)式に示すように電源の周波数に比例することから、駆動電圧の周波数を下げ、集電板のエネルギー効率を向上させることによって、その形状を小形化することができる。第6図(a)は点滅式課電表示器の概略図を示す。集電板と液晶表示素子間に接続した周波数変換器は交直変換部と分周器から構成されており、同図(b)は駆動電圧波形の一例を示す。图中、 T_{on} は表示期間、 T_{off} は休止期間であり、周期は $T = T_{on} + T_{off}$ となる。

第7図は表示面積 3 cm^2 、静電容量 $2.6 \times 10^3\text{ pF}$ の液晶素子を用いて集電板面積と表示電圧の関係を調べたものである。この結果、点滅表示にすると表示電圧は静止表示の場合に比べて $1/5$ 以下となり、集電板の面積を小さくできることが分かる。なお、この実験では周期 T は約 $1/2$ 秒とした。



第6図 点滅式表示器の駆動部と電圧波形

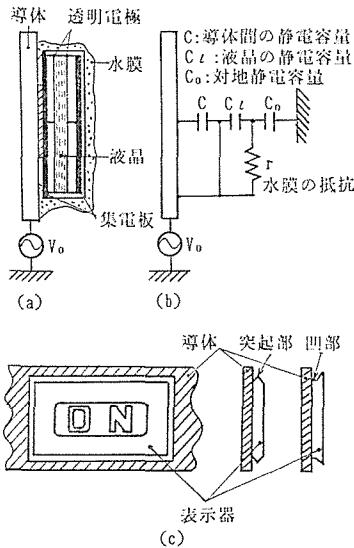


第7図 集電板の面積に対する表示電圧

また、表示と休止の時間間隔およびその周期を適切に選定することにより、人間の目に適当な刺激を与え、静止状態での表示に比べより効果的に注意を喚起させることができる。

3.4 屋外設置用課電表示器⁹⁾

屋外などの厳しい気象条件下で使用される課電表示器は紫外線、雨水、温度変化等の影響を常に受けており、安全器具としてその信頼性や寿命については十分な検討が必要である。



第8図 降雨時における表示機能の低下

結果、液晶表示素子の電極間にかかる電圧が減少して表示が消失する。同図(b)はこのときの等価回路であり、液晶の静電容量 C_L が抵抗 r の雨水の膜で短絡された様子を示す。このような現象に対しては同図(c)に示すように、表示器の側面に突起部や凹部を設け、表示器を覆う雨水の膜が高圧母線に接触しないような対策が施されている。

紫外線は液晶素子の駆動電圧、電流を増加させるといわれているが、現在では紫外線防止を兼ねた偏光板を用いることによって、信頼性の向上が図られている。一方、表示器のアースや内部の構成部品が雨水や結露でぬれると、沿面漏れ電流が増大し、表示に必要な電気エネルギーが不足するため表示機能が低下する。このため、本表示器は液晶表示素子、集電板およびリード線などを絶縁性能の優れたモールド樹脂やプラスチック製ケースで密封し、漏れ電流を防止する構造になっている。しかし、このような対策を施した屋外用課電表示器でも、屋外での使用期間が長くなると、降雨の激しい場合には表示が薄くなったり、完全に消えてしまうことがある。その原因は、屋外暴露期間が長くなると、表示器のケースの表面劣化によりはっ水性が弱くなり、激しい降雨があると第8図(a)に示すように、その側面に雨水の膜ができるようになる。抵抗率の比較的小さい雨水の膜が高電圧母線に接触すると、表示器は雨水の膜で電氣的にシールドされることになり、その

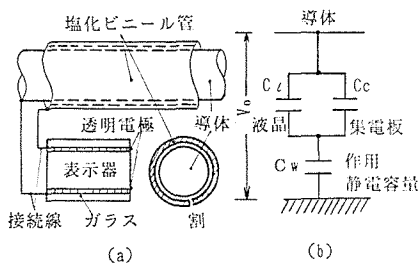
4. 集電板の構造^{10,11)}

各種の電気機器における充電状態を表示するためには、液晶素子とともにそれぞれの機器に適した集電板が必要となる。ここでは各種の集電板の構造とその特性について述べる。

4.1 円筒集電板

前章で述べたように表示面積が大きくなると、集電板が大形化するが、一般に、特別高圧機器の充電部に前述のような矩形の大形集電板を取り付けることは、外観上ばかりでなく保守上も好ましくない。

第9図(a)はこのような大形表示器用に開発した円筒状の集電板であり、厚さ数 mm 程度の薄い硬質塩化ビニール管の表面に金属薄膜を蒸着したものである。この集電板は電気機器のリード線等に被せて用いるもので、外観上も目立たず、また、縦方向に割りを入れて簡単に取り付けられる構造になっている。同図(b)は表示器が正三角形に配置された



第9図 円筒集電板

三相線路に取り付けられたときの等価回路を示す。図から液晶表示器にかかる電圧 V_l は

$$V_l = V_0 C_w / (C_l + C_c + C_w) \quad (4)$$

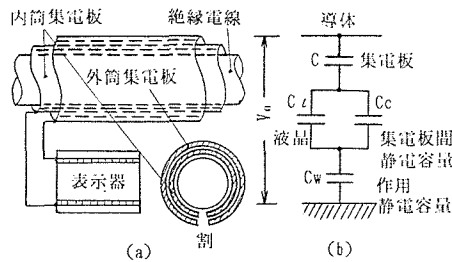
となる。ここで、円筒の長さを l 、内径および外径を r_1, r_2 、硬質塩化ビニールの比誘電率を ϵ 、また、電線の半径および電線間距離を r_1, D とすると、 C_c および C_w は

$$C_c = 2\pi\epsilon l / \log(r_2/r_1) \quad (5)$$

$$C_w = 2\pi\epsilon_0 l / \log(D/r_1) \quad (6)$$

で与えられる。

4.2 二重円筒集電板



第10図 二重円筒集電板

通常、電気機器の配線には絶縁電線が用いられることが多い。このような場合には、液晶素子の片側の電極を直接導体に取り付けることができない。このため、絶縁電線用の集電板は導体側と対地側の2枚が必要になる。第10図(a)は単心絶縁電線用の二重円筒集電板であり、厚さ数 mm 程度の硬質塩化ビニール管を2枚重ね合わせたもので、管の内面には金属薄膜を蒸着してある。また、同図(b)はその等価回路であり、

液晶素子と導体は浮遊容量 C で電氣的に接続されている。なお、液晶素子にかかる電圧 V_l は図から

$$V_l = V_0 C C_w / \{C_w(C_l + C_w) + C C_w + C(C_l + C_c)\} \quad (7)$$

となる。ここで、各円筒は密着しているものとし、それぞれの半径を r_1, r_2, r_3 とすると C および C_c は

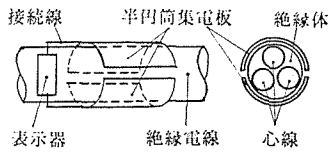
$$C = 2\pi\epsilon l / \log(r_2/r_1) \quad (8)$$

$$C_c = 2\pi\epsilon l / \log(r_3/r_2) \quad (9)$$

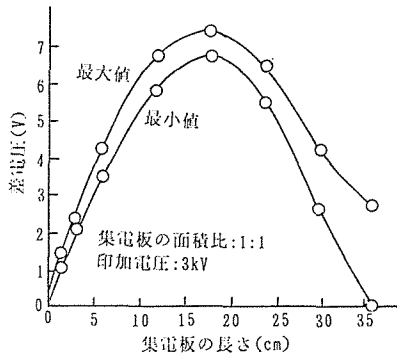
で与えられる。

4.3 半円筒集電板

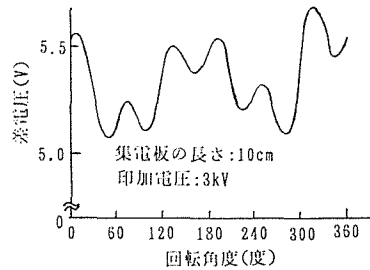
対称多相回路に用いられる多心絶縁電線では、前述の円筒集電板を用いても、集電板に現れる各相誘導電圧のベクトル和は線路に故障のない限り0となり、表示器の駆動電力を得ることができない。このような場合には、第11図のように円筒集電板を縦方向に2分割したものを一組として絶縁被覆上に取り付け、この2枚の半円筒集電板の間の差電圧で液晶素子を動作させる。この場合、心線の配置が対称であっても絶縁電線の設置位置によ



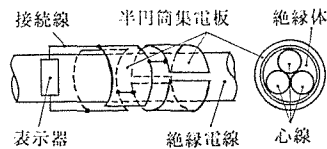
第11図 半円筒集電板



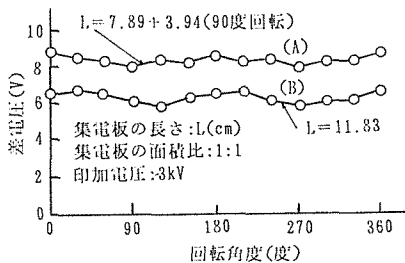
第13図 心線の撚りによる差電圧の変化



第12図 浮遊容量による差電圧の変化



第14図 二重構造半円筒集電板



第15図 差電圧特性の改善

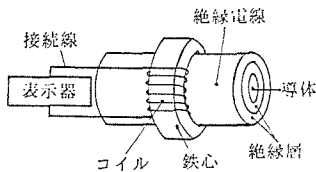
ては集電板と周囲の機器間の静電容量の影響が異なり、差電圧が変化する。第12図は絶縁電線の周囲で集電板を回転させたときの差電圧の測定例を示す。この傾向は集電板の取り付け状況によって変わるので、差電圧が最小となる位置においても液晶素子を駆動できるように十分な長さの集電板を選定しなければならない。

一方、多心絶縁電線の心線には通常、撚りが施されているので、長さ方向に沿って各相と集電板間の相対位置の変化に伴って差電圧が変

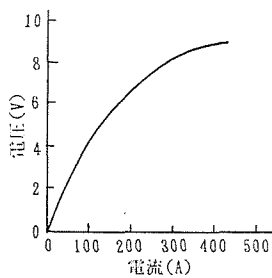
化する。第13図は半円筒集電板の長さに対する差電圧特性であり、絶縁電線の回りで360度回転したときの最大値と最小値を示す。この実験に用いた絶縁電線の心線に施された撚りのピッチは約35cmであり、集電板の長さが1/2ピッチに等しいとき差電圧は最大となり、一致したときに最小となる。したがって、集電板は撚りのピッチの1/2の長さに設計することが望ましいといえる。しかしながら、既設の絶縁電線に表示器を取り付けようとする場合、心線の撚りの状態を確認することは実際上不可能であり、何らかの方法で集電板と心線の相対位置による差電圧の変化を改善する必要がある。このような場合、ここでは第14図に示すような、二組みの半円筒集電板を相互にある角度回転した位置に取り付け、それらの出力を並列に接続した集電板を提案している。第15図は半円筒集電板が一組み及び二組みのときの差電圧特性を比較したものであり、(A)曲線は長さが7.89cmと3.94cmの二組みの集電板を90度回転した角度に取り付けたときの、また(B)曲線は長さが

$(7.89 + 3.94) = 11.83\text{cm}$ の一組みの集電板の特性を示す。

4.4 集電コイル



第16図 集電コイル



第17図 集電コイルの電圧-電流特性

ケーブル工事に際して、ダクトに納められたケーブル群の中で各ケーブルの充電状態が一目で確認できる表示器が取り付けられていれば、点検時装置の確認が容易になる。しかし、金属シースのあるケーブルに集電板を取り付けても、シースの外側には電界がほとんど存在しないので、電圧で液晶表示器を動作させることができない。このような場合、金属シースからの僅かな漏れ磁束を拾い出すことによって表示器を動作させる集電コイルを用いる。試作した集電コイルは長さ 145mm、幅 22mm、厚さ 0.35mm の珪素鋼板を 3枚重ねてリング状にし、これにコイルを2000回巻いたものである。第16図はケーブルに表示器を取り付けた状況を、また第17図はその電圧-電流特性を示す。この場合、液晶の動作電圧はケーブル電流50Aに対応する。なお、実験に用いたケーブルは 6kV、500~650A用の CVケーブルで、金属シースは厚さ 0.1mmの軟銅テープである。

5. あとがき

液晶素子を用いた電気機器の課電表示器は、液晶が反射光によって表示するので、駆動電力が極めて少なく、簡単な C-C 分圧で必要な電圧を供給できる。また、反射光であることは、暗い場所での使用には補助光源を必要とするが、発光表示のように周囲の光線が強すぎて確認の邪魔になる心配がなく、かえって好都合である。さらに液晶の特性として電圧-輝度曲線が急峻で内容指示が明確となり、かつ、電極間の破壊電圧がしきい値電圧の100倍以上あるため壊れにくく、十分な耐圧が確保できる。その他に、現在使用しているネマティック液晶は温度特性と過渡応答特性が劣るが、機器の充電状態を ON や OFF で表示する通常の使用状態では問題にならない。

一方、有機シール形液晶素子の寿命は10年以上と推定されているが¹²⁾、液晶素子が表示器として利用されてから10数年を経過しており、早晚実証試験を通じ寿命の問題も明らかにされるものと思われる。

参考文献

- 1) 西田：「感電災害の発生状況と対策」, 電気評論, 71巻5号, p 450 (1986)
- 2) 菅原：「安全標識とその使用例」, 電気評論, 71巻5号, p 478 (1986)
- 3) 永野, 田原, 柴田, 山本：「液晶による充電状態の表示」, 電気学会全国大会, No. 1074, (1985)
- 4) 松本, 角田：「液晶の最新技術」, 工業調査会, p 141 (1983. 5)
- 5) 岡野, 小林：「液晶, 応用編」, 培風載, p 16 (1985. 4)
- 6) 永野, 田原, 柴田, 大長：「液晶を用いた課電表示器」, 電気学会論文誌B, 106巻7号, p 642

(1986)

- 7) 永野, 田原, 大倉, 柴田, 大長: 「充電状態表示用液晶表示器とその特性」, 電気関係学会東海支部連大, No. 80, (1985)
- 8) 亀谷, 加藤, 大長, 地内, 佐野: 「点滅式課電表示器」, 電気学会全国大会, No. 1168, (1987)
- 9) 柴田, 大長, 永野, 田原: 「課電表示器」, 電気学会全国大会, No. 1098, (1986)
- 10) 永野, 田原, 大倉, 柴田, 大長: 「電力機器の課電表示器用集電板」, 電気学会全国大会, No. 1099 (1986)
- 11) 永野, 田原, 大倉, 柴田, 大長: 「電力用ケーブルの課電表示」, 電気関係学会東海支部連大, No. 87 (1986)
- 12) 鹿沼, 関矢, 石田: 「液晶表示素子の信頼性」, 電子通信学会機構部品研究会, EMC 84-51 (1985)