通信用電源システムに用いる蓄電池放電残時間の推定法

正員 松島 敏雄 (NTT 境界領域研)

非会員 石塚 慎二 (NTT)

Prediction of Remaining Battery Discharge Time in
Telecommunications Power Systems

Toshio Matsushima, Member (NTT Interdisciplinary Research Laboratories), Shinji Ishizuka, Non-member (NTT)

This paper shows an algorithm for prediction of remaining battery discharge time that can be applied to the lead-acid batteries installed in telecommunications power systems. In this method, the remaining battery discharge time can be predicted by deducting the integrated discharge electricity from the battery's available capacity, assuming battery is discharged according to the load current profile stored in memory. In this deduction, the amount of discharged electricity and the battery's available capacity are transformed into a value equivalent to the 10 hour-rated current discharge, using the coefficient clarified in this study. This prediction algorithm is examined by applying it to several load current profile and the results show the prediction accuracy to be within a range of 5%. The construction of this prediction equipment is also shown.

キーワード：蓄電池，放電持続時間，停電，監視装置，放電時間の推定

1. ま え が き

電気通信を支える通信用電源システムには、高品質であるとともに高信頼であることが要求されており⁽¹⁾⁽²⁾、停電や整流装置などの故障による通信用機器への電源供給断を防ぐため、予備エネルギー源が必要不可欠である。予備エネルギー源としては、エンジン発電機や蓄電池が使用されているが、発電機のない交換センタでは蓄電池が用いられ、停電などの発生時の電力供給源となっている。しかし、蓄電池の放電時間には限界があるので、長時間停電や修理に長時間を要する整流装置などの故障が発生した場合には、放電が終了する前に必要な対策を講じる必要がある。更に、複数の交換センタが含まれる地域で停電が発生した場合、これら各々の交換センタにおいて蓄電池の放電が行われるので、災害対策用機器を効率良く移送するためには、蓄電池の放電状況を的確に把握する必要がある。従って、停電が発生した際に蓄電池の放電残時間を求めることは保守の観点から重要である。近年、通信用電源システムでは電源設備の運転状況や故障発生を遠方から監視する集中監視装置が導入され、保守者が常駐していない交換センタにおける停電や整流装置などの故障の遠隔監視が可能となっている⁽³⁾。従って、電池の放電残時間の推定方法が確立すれば集中監視装置によって停電時などにおける電池の放電残時間を遠隔から把握することが可能となり、極め

て効果的な保守・管理体制を構築することができる。

蓄電池の放電残時間の推定に関しては、蓄電池設備の機能向上の進展のなかでこれまでも試みられ、蓄電池の放電残時間の表示機能をもった直流電源装置も開発されてきている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、これらの装置における放電時間の算出は、まず停電開始時の電流における放電が継続するとして蓄電池の有する電気量を電流で除して算出され、停電中に電流が変化すると新たな電流での放電が継続されると仮定し、残存する電気量に基づいて計算が行われていた。そして、蓄電池に残存する電気量は単に放電電流と放電時間の積で求めた電気量を蓄電池の電気量から減じたものを使用していた。一方、通信用電源システムでは、蓄電池の放電が終了する、いわゆる最低使用電圧が数種類存在し、実際に蓄電池から放電できる電気量は最低使用電圧によって変化する。また、負荷電流には経時的な変動がある。従って、まず実際に蓄電池から放電できる電気量と、放電中の残存電気量を正確に把握しておく必要があり、また負荷電流の経時変化も考慮に入れた放電残時間の推定が要求されている。しかし、従来の方法では電気量の適切な補正が行われておらず、また計算の考え方そのものも経時的に変動する負荷に対しての適用性に欠けていた。

そこで今回、負荷電流に経時変化があり、また種々の最低使用電圧が存在する通信用電源システムにも適用可能な簡便な蓄電池放電残時間の計算法を提案し、その効果につ

いて検討した。

2. 通信用電源システムの構成

まず、通信用電源システムの構成を述べ、このシステムで使用される放電残時間の推定方法に対する要求事項を述べる。

種々の通信用電源システムの構成と蓄電池の最低使用電圧を表1に示す。負荷に供給する電源電圧は負荷の種類によって異なり、電話交換用は -48 V であるが、伝送・無線用はこのほかに -21 V と 150 V の二つの種類がある。そして、これらの各システムは二つの方式で構成され、方式によって蓄電池の使用個数は異なっている。そして、蓄電池の最低使用電圧は、負荷への供給電圧の下限値と配線内の電圧降下、更に電池個数によって決定されるため、たとえ供給電圧が同一であっても電源システムの方式によって異なったものとなる。この最低使用電圧は蓄電池から取り出すことのできる電気量に大きく影響しており、この電圧が高いと実際に放電可能な電気量は減少する。また、設置される蓄電池の機種は、負荷の消費電流や保持時間によって算出された電気量を基に選定されており、交換センタごとに様々なものが使用されている。これらが、通信用電源システムの構成とここでの蓄電池の使用形態であり、更に特徴的な点としては、負荷が消費する電流は一般的に通話量に依存するので、1日の負荷電流は時刻によって大きな変動を示すことである。

このような点を考慮すると、蓄電池放電残時間の推定法には以下の項目を満足することが要求される。

- (1) 負荷電流が一定ではなく、経時的に変化する場合でも推定できること。
- (2) 蓄電池の最低使用電圧がシステム構成によって異なっても推定できること。
- (3) 蓄電池の機種（容量）にかかわらず推定できること。
- (4) 蓄電池の放電可能電気量が最低使用電圧によって変わっても推定できること。

表 1 種々の通信用電源システムの構成と最低使用電圧

Table 1. Telecommunications power systems and cut-off voltage.

用途	供給電圧 (V)	配線電圧降下 (V)	組電池内電池数 (個)	電力供給方式	最低使用電圧 (V)
交換	-48 ± 5	2	25	SID	1.80
		3	27	EN	1.70
伝送・無線	$-21 \pm 4\%$	1.68	11	SID	1.88
		1.95	12	EN	1.75
	$-48 \pm 10\%$	3	25	SID	1.83
		4	27	EN	1.74
	$150 \pm 4\%$	2.7	76	SID	1.92

SID：シリコンドロップ方式，EN：端電池方式

3. 放電残時間の推定法

〈3・1〉蓄電池容量算出法に基づく従来の計算法

負荷電流が経時的に変動する場合における蓄電池の放電持続時間の推定法としては、これまでも蓄電池容量算出法に基づいた方法が提示されている⁽⁶⁾。これは、蓄電池工業規格 SBA 6001「据え置き鉛蓄電池の容量算出法」に添付された、図1のような電池の標準特性に基づいて行うものである。同図は容量換算時間と連続放電時間 T の関係を示したもので、通常 K - T 曲線と呼ばれ、本来、ある電流で一定の時間連続して放電させるために必要な蓄電池容量を算出するために使用されるものである。この特性を用いると、定電流放電であれば容量は(1)式のように容量換算時間 K と放電電流の単純な積として求められる。また、経時的に変動する負荷であっても(2)式によって容量を求めることができる。

$$C = \frac{1}{L} [KI] \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + \dots K_n (I_n - I_{n-1})] \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 C ：蓄電池容量(Ah)， L ：保守率， K ：連続放電時間 T ，最低使用電圧などによって定まる容量換算時間(h)， I ：電流値(A)

(2)式による電池の容量算出は、まず必要な連続放電時間 T が決まっているので、この値に対応した容量換算時間 K を求め、これによって右辺各項の値を計算しこれを積算することによって行われる。これを、図2の負荷パターンを例に、 T_1 時間の間 (C 点までの時間)、負荷に電力を供給するために必要な蓄電池容量の算出プロセスを示すと以下のとおりである。まず図1から T_1, T_2, T_3 の各時間に対応する K_1, K_2, K_3 の値を求め、この値と各電流値の積から各単位の容量 C_1, C_2, C_3 を求め、この和を求めるとこれが必要な蓄電池容量となる。

このような蓄電池容量算出法に基づく放電残時間の推定方法は、蓄電池容量 C (または放電可能容量) と各電流値 I を既知として連続放電時間 T を逆算するものであ

図 1 容量換算時間 K と放電時間の関係
Fig. 1. A chart of K - T curves.

図 2 放電パターンの一例

Fig. 2. An example of discharge pattern.

る。すなわち、図 2 において、 C_1, C_2, C_3 の値を求め、この和が電池の放電可能容量 C と一致した場合、 T_1 を放電可能時間として求めるものである。しかし、例えば C_1 は $C_1 = K_1 \times I_1$ となり K_1 は算出しようとしている時間の関数となり、他の部分の容量の算出においても、ここで求めようとしている時間の関数となった K 値を使用することになる。蓄電池容量の算出にあたっては連続放電時間 T が定められており、この時間によって決定される K 値を使用するだけであったが、ここでは連続放電時間 T が求める対象になる。従って、まず連続放電時間 T を仮定して K 値を算出し、これから(2)式右辺各項の値を算出しなければならない。そして、(2)式右辺各項の和と放電可能容量 C の値が一致するか否か比較し、一致するまで試行錯誤の計算を繰り返さなければならず、計算プロセスが複雑化するという問題があった。更に、連続放電時間が T_1 以上となり、その部分において負荷電流が減少する場合(例えば、図 2 の C 点で電流が I_3 から I_4 に減少)、 T_1 を放電時間の仮定値に設定して計算を行うことになるが、この時点で計算のベースとなる電流値が更改され、これに伴って図 2 においては C_1 の分割単位が C_1' に変更になり、更に I_1-I_4 の電流に対応した第 4 の単位を作成することになる。実際の通信用電源システムでは負荷電流が経時的に変動するので、残時間の計算を行うためにはある一定時間間隔ごとに平均電流を求め、これから作成してメモリーした負荷電流パターンを使用することが有効と考えられる。しかし、このような計算方法では電流値が変化する箇所が多く、計算アルゴリズムが複雑になるという問題があった。更に、実際に災害などが発生して電池放電が開始し、放電残時間を推定する場合、あらかじめメモリーした負荷電流パターンの値と実際の電流値に差が生じてくることも考えられる。従って、通信用電源システムに用いる放電残時間の推定法にはこのような電流のずれに対しても対応可能であることが望まれ、例えばメモリーした値を実際の電流値に置き換えて計算するとしても、この方法では計算プロセスが更に複雑化する。

〈3・2〉 新たな推定方法の提案 そこでここでは、上で示した方法と異なり負荷電流のパターンを等間隔の時間

図 3 定電流放電特性

Fig. 3. Constant current discharge characteristics.

図 4 放電電流と放電可能時間

Fig. 4. Discharge current versus discharge duration.

で分割し、この単位の電氣量を積分し積分した値と電池の放電可能容量を比較することとした。これにより、従来の方法のように求めようとする時間を仮定して行う試行錯誤の計算を除くことと、経時的に変化する負荷電流パターンへの適用を容易にすること、更に電池放電が開始された際のメモリーされた負荷電流と実電流のずれに対する順応性の向上を図ることとした。

ここで提案する計算方法は、蓄電池の放電特性に従ったもので計算の概念は以下のとおりである。

図 3 は、蓄電池を一連電流で放電させた際の放電特性である。ここで、「放電終止電圧」とは、一般に放電を終了する時点での電圧をいい、この値は放電電流に依存しているが、この電圧まで連続放電させた際に得られる電氣量がその電流での放電可能容量となる〔電池単体の特性に着目した場合の放電終止電圧は、放電電流に応じて定められている。また、 $0.1 C(A)$ の電流 (C : 蓄電池公称容量、通常 C 値に係数を乗じて電流の値を表す) を 10 時間率電流と呼び、この電流による放電で得られる容量 (電氣量: 電

流と時間の積)を10時間率容量といい公称容量としている。図3のような放電特性があれば、図中に示された特定の電流における放電可能時間を求めることができ、更に任意の放電電流における放電可能時間も、図3に基づいて放電電流と放電時間の関係(図4)を作図しておくことによって求めることができる。なお、図中には、電流と放電時間の積で求まる蓄電池の放電可能電気量も示したが、放電可能時間は放電された電気量の総和がこの値に一致するまでの時間であるので、定電流放電であれば放電可能電気量 C_{1a} と放電電流 I_a の値から放電可能時間 T が求まる。つまり、ある電流 I_a における放電可能時間 T は(3)式を満足する値として求まる。そして、放電中の放電残時間は放電可能時間から放電の継続時間を減じることによって求めることができる。

$$C_{1a} = \int_0^T I_a dt \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 C_{1a} :電流 I_a における蓄電池の放電可能電気量 (Ah), I_a :一定電流(A), T :放電可能時間(h)

しかし、このような放電残時間の算出は、放電電流が一定で放電終止電圧が各放電電流ごとに定まっている場合のみ適用可能である。通信用電源システムでは、負荷電流は経時的に変動し、また、蓄電池の最低使用電圧は電源システムによって決定されている。そこで、このような経時的に変化する負荷に対応するため、等間隔に時間分割した各区間の電気量を積算し、この放電電気量の積算値と蓄電池から実際に放電できる電気量の比較を行うこととした。ところで、(3)式の関係は一定電流の場合にのみ有効であるので、これを種々の異なった電流における電気量の積算と比較に適用するため、放電電気量と蓄電池の放電可能電気量のある基準電流における値に標準化した。

ここでは、10時間率電流を基準電流とし、種々の異なった電流における電気量を10時間率電流での電気量に標準化するための換算係数を求めた。この換算係数は、放電

電流と放電電気量の関係から算出するが、通信用電源システムでは蓄電池の最低使用電圧が電源システムの構成で決定されていることを考慮し、まず図5のような種々の最低使用電圧に対応した放電電流と放電可能時間の関係を求めた。同図における各曲線は、いずれの電流値においてもこれ以上の時間の放電ができないことを意味し、言い換えれば蓄電池は「放電が終了した状態」にあることを示す。従って、ある最低使用電圧に対応して求まる放電電気量(放電電流×放電可能時間)は電流値によって異なるものの、いずれも放電が終了した状態で得られる値である。すなわち、「放電が終了した状態」において、任意の放電電流 I_x で得られる放電電気量 $C_x[I_x \times \{I_x \text{ における放電可能時間 } f(I_x)\}]$ 、また10時間率放電電流0.1Cで得られる放電電気量 $C_{10}[0.1C \times \{0.1C \text{ における放電可能時間 } f(0.1C)\}]$ はともに完全放電状態での値であり、これらは放電深度としては等価とみなすことができる。この考えに基づくと、最低使用電圧が定められた条件において、任意の電流で放電させた際に得られた電気量を10時間率電流での値に変換する換算係数 $\alpha(I_x)$ を(4)式によって表すことができる。

$$\alpha(I_x) = \frac{0.1 C f(0.1 C)}{I_x f(I_x)} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 I_x :任意の放電電流(A), $f(I_x)$:電流 I_x における放電可能時間(h), $\alpha(I_x)$:電流 I_x における放電電気量を10時間率放電電流での値に変換する換算係数, 0.1C:10時間率放電電流(A), $f(0.1C)$:10時間率放電電流における放電可能時間(h), C:公称容量(Ah)

このようにして求めた換算係数の一例を表2に示す。この係数を用いると、例えば500Ahの電池で最低使用電圧を1.8Vとして完全放電させると、電流が0.05C(25A)の場合、放電可能時間は22時間で、このとき得られる電気量は1.1C(550Ah)となる。これを換算係数によって10時間率電流での放電電気量に置き換えると1.1C(Ah)×0.954=1.05C(525Ah)で、この値は100%の放電状態に相当していることになる。同様に、0.05C(25A)で5.5時間放電させた場合の電気量を、10時間率電流基準での値に換算すると25%の放電状態と同等になる。このようにして、任意の電流で任意の時間放電した際の放電電気量を10時間率基準の値に換算することができる。この係

図5 放電電流と放電可能時間
Fig. 5. Discharge current versus discharge duration.

表2 電気量換算係数の一例
Table 2. Transform coefficient.

放電電流 (A)	放電可能時間 (h)	放電電気量 (Ah)	換算係数 (-)
0.05 C	22	1.1 C	0.954
0.1 C	10.5	1.05 C	1
0.2 C	4.8	0.96 C	1.093
0.3 C	2.9	0.87 C	1.206

最低使用電圧:1.8V

数により、単位時間 t で分割された各区間における放電電気量は(5)式によって10時間率電流基準の値に変換され、この値の総和によって放電電気量を求めることができる。この結果、放電電流が経時的に変化する負荷の場合でも、(6)式を満足する m の最大値から放電開始直後での放電可能時間 T の算出が可能になる。

$$C_i = (I_i \times t) \times \alpha(I_i) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$C_B \geq \sum_{i=1}^m C_i \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$T = t \times m \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 C_i ：時間 t で分割された1区間当たりの放電電気量で、10時間率電流基準に換算されたもの(Ah)、 C_B ：10時間率放電電流における蓄電池の放電可能電気量(Ah)、 I_i ：区間 i における放電電流(A)、 $\alpha(I_i)$ ： I_i における放電電気量を10時間率放電電流での値に変換する換算係数、 T ：放電可能時間(h)、 t ：時間を等間隔の区間に分割する単位時間

この計算方法による放電可能時間の推定を、最低使用電圧を1.8Vとし、0.2Cで2h放電させた後、0.1Cで連続放電させる放電パターンを例として示すと以下のような(ただし、1区間の分割時間 t を0.25時間とし、換算係数は表2によった)。

蓄電池の放電可能容量 C_B は、

$$C_B = 1.05 C$$

また、時間 t で分割された各区間の放電電気量で、10時間率電流基準に換算されたもの C_i は、

$$C_i = (I_i \times t) \times \alpha(I_i)$$

で表され、各区間の放電電気量 C_i の総和は以下で示される。

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m C_i &= \sum_{i=1}^m (I_i \times t) \times \alpha(I_i) \\ &= 0.2 C \text{ による } 2 \text{ 時間の放電電気量} \\ &\quad + 0.1 C \text{ による (放電可能時間} - 2) \\ &\quad \text{時間の放電電気量} \\ &= 8 \times (0.2 C \times 0.25) \times 1.093 \\ &\quad + (m - 8) \times (0.1 C \times 0.25) \times 1 \\ &= 0.2373 \cdot C + 0.025 m \cdot C \end{aligned}$$

これを、 C_B (1.05C) と等置することで $m = 32.5$ が求まり、 C_B を超えない最大の m として32が得られる。従って、放電可能時間 $T = t \times m$ より、 $T = 0.25 \times 32 = 8.0$ 時間が求まる。このように停電開始直後に推定される放電可能時間は、8.0時間となり、放電残時間はこの値から放電の経過時間を減じたものとなる。

このように、ここで提案する計算概念によれば、最低使用電圧が様々に異なったとしてもこれに対応することができ、また負荷電流に経時的な変化がある場合にも電気量の積算と減算を容易に行うことができる。更に、蓄電池の機種が交換センタによって異なったとしても、その蓄電池の機種の放電特性から求めた電気量の換算係数を用いるだけ

で対応できる。また、最低使用電圧が1.8Vよりも高くなると図5から明らかなように、10時間率電流における放電可能時間も小さくなり、電池から放電できる放電可能電気量 C_B そのものが減少する。従って、計算にあたって、蓄電池の放電可能電気量 C_B の補正も必要となるが、本方法では、換算係数の算出にあたって所定の最低使用電圧に対応した放電可能時間を使用しており、10時間率電流における値もこの電圧と連動して変化しており、この値の使用によって放電可能電気量 C_B の補正が行われる。

4. 計算法の検証

〈4・1〉 種々の負荷電流パターンでの検証 ここで示した放電残時間の推定法の有効性を検証するため、種々の負荷電流パターンによって放電実験を行った。実験には、マイクロコンピュータで制御され、放電電流パターンの設定と設定したパターンによる放電および放電後の充電が可能な放電試験器を使用した。また、この試験器は内蔵した計算プログラムにより放電開始以降の放電電気量の累積とこれによる放電可能時間の計算、およびディスプレイ上への計算結果の表示も可能である。また、負荷電流パターンは先に述べた時間分割の概念により15分の等間隔で作成した。

図6(a)はステップ状の負荷電流パターンにおける実験結果である。放電電気量の累積曲線は、標準化された各分割単位ごとの放電電気量を累積したもので、累積値と電池が保有する放電可能電気量が一致する時点まで作成される。そして、累積曲線の終点に位置する時間が放電可能時間の計算値を示し、放電可能時間は13時間15分と予測される。一方、実際の放電による値は13時間11分であり、非常によく一致した。また、(b)図はステップ状に減少する負荷電流パターンにおける結果を表している。この場合、放電可能時間の計算値は14時間、これに対して実際の値は15時間45分となり、計算値と実放電時間には約10%程度の差が生じた。この理由は、一般的に蓄電池は大電流で放電した後も小さな電流であれば多少放電できるといった特性があり、このような特性の現れと考えられる。しかし、この場合でも安全サイドでの推定が行われている。

次に、本計算法を交換するセンタにおける、電流が経時的に変化する負荷電流パターンに適用して実験を行った。この実験結果の1例を図7に示す。(a)図はクロスバ交換機を設置した交換センタの典型的な電流パターンについて行った例、また(b)図は実際の交換センタで収集した消費電流パターンでの例である。(a)図では、パターン上で18時より放電を開始した。22時までは放電電気量が大きいので、累積カーブは直線状に増加し、0~6時の間では負荷電流が小さいため傾きも小さくなり、その後再び傾きが大きくなっている(放電可能時間：15時間45分)。一方、この放電パターンに従って実際に放電した際の端子電圧も放電電流の経時的な変化に対応して推移し、実際の放

図 6 放電可能時間の推定
Fig. 6. Total reserve time prediction.

図 7 放電可能時間の推定
Fig. 7. Total reserve time prediction.

図 8 放電可能時間の推定値と実験値の関係
Fig.8. Relation between predicted and actual reserve time.

電時間は15時間38分であり、計算値との差は7分であった。このように、この負荷パターンでは昼間の負荷が夜間の3~4倍にも達しているが、これにもかかわらず計算値と実際の値は非常に良い精度で一致した。一方、実際の交換センタにおける負荷パターンについても、(b)図に示すように良い一致を見た。このように本計算法は、負荷の消費電流が経時的に変化する実際の負荷電流パターンにも対応でき、通信用電源システムにも適用可能であることがわかる。

本計算法を種々の負荷電流パターンに適用して求めた放電可能時間の計算値と実際の放電時間の関係を図8に示した。計算値と実際の放電時間は、放電時間の大小にかかわらずよく一致し、両者のずれは一部を除き約5%であった。一部の実験では、実際の放電時間が計算値よりも10%程度大きくなったが、これらは放電開始直後に0.3C以上の電流での放電が行われ、その後小さな電流での放電が続く負荷電流パターンに多く認められた。しかし、通信用の電源としては通常0.1C以下が蓄電池の放電電流であり、このような大きな電流での放電はまれであると考えたと実用上の影響は少ないと考えられる。

以上示したように、時間分割した各区間の放電電気を10時間率電流における値に換算し、この値と蓄電池の放電可能容量の比較によって放電可能時間を推定する計算概念は、実用上有効であることが確認できた。従って、負荷電流のパターンがあらかじめ把握されていれば、放電可能時間が推定され、この値から停電の経過時間を減じることで停電中の放電残時間をリアルタイムで推定することができる。

〈4・2〉 放電中の実放電電流と負荷パターンとのずれに対する電圧 このように、本計算法による放電残時間の推定は負荷電流パターンをあらかじめ求めておくだけで可能である。しかし、災害などにより実際に停電となった場合には、一時的な電話使用量の増加により実際に負荷が要求する電流とあらかじめ求めた負荷電流パターンとの間に

図 9 実放電電流が放電パターンからずれた場合の放電可能時間の推定

Fig.9. Total reserve time prediction of actual load current deviation from memorized load pattern.

差が生じることも予想される。そこで、電源システムへの適用にあたっては、このような電流値のずれに対する補正機能も検討した。この機能について行った実験結果を図9に示す。実験には先に述べた放電試験器に電子負荷を併用し、放電開始後に電流を増加させて故意に電流値のずれを発生させた。まず、放電開始とともにメモリーされた電流パターンに従い、電気量の消費予測値を計算し、放電可能時間が算出される。次に、放電の途中に負荷電流が増加した2.5時間の区間内では、各分割時間ごとに新たな電流値に置き換え、放電開始時を基準として再計算を行う。この電流増加区間では各分割時間の終了ごとにこの再計算が行われる。そして、2.5時間経過以降は、電流値にずれがないので再計算は行われず、停電の継続時間の減算のみによって残時間が算出される(図では試験機の表示機能上、放電開始時点を中心とした曲線で表示してあるが、各再計算時点で常に放電開始時点からの放電可能時間を求め、これから経過時間を減じて放電残時間を算出する)。図には、電流増加がない初期の負荷電流パターンに従って計算した放電可能時間(13時間15分)と、電流増加区間の電流値を増加した値に置き換えた負荷電流パターンで計算した時間を示した(11時間15分)。この11時間15分は、放電開始時刻を基準とした放電可能時間であり、これから放電が経過した2.5時間を差し引いたものがこの時点での放電残時間となる。電流の増加によって、放電可能時間の計算

図 10 電源システムに接続された放電残時間推定装置の構成
Fig. 10. Configuration of remaining discharge time prediction equipment installed in a power system.

値は 13 時間 15 分から 11 時間 15 分に短縮され、この再計算値と実際の放電時間（10 時間 52 分）との差はわずか 3% であり、2.5 時間経過以降の残時間は極めてよく一致することがわかる。なお、電流が増加した場合、この増加区間内では各分割時間の終了ごとにこのような計算が行われているが、このときの計算精度は図 8 で示したように約 5% である。このように、災害などの蓄電池放電の際に、実際の負荷電流があらかじめ求められた負荷電流値から一時的にずれたとしても、負荷電流パターンを更新させることで残時間の推定が行えることになり、負荷電流の一時的なずれに対しても追従可能であることがわかる。

5. 放電残時間推定装置の構成と動作

本装置の構成図、および本装置と通信用電源システムとの接続状況を図 10 に示す。本装置は、既存の電源システムへの適用を容易にし、かつ停電などの発生を効果的に検出するため、電源システムとの接続を蓄電池の充放電線の両側に設けた二つの電流計（SH1 と SH2）の出力とした。この二つの電流計との接続によって、停電などの発生を検出するとともに、負荷電流の計測とデータ収集を行う。また、停電回復後の蓄電池の充電を二つの電流計の差から補正することができる。なお、本装置は通信用電源システムの監視装置との接続インタフェースを有し、放電残時間を監視装置によってリアルタイムに把握することができる。

本装置の動作プロセスを図 11 に示す。本装置の動作を

図 11 放電残時間推定装置における処理の実行手順

Fig. 11. Flowchart of remaining discharge time prediction equipment.

表 3 放電残時間推定装置の入力データ
Table 3. Input data in discharge time prediction equipment.

入力項目	備 考	データ内容
蓄電池公称容量	単電池容量	設置電池に対応した値
最低使用電圧	電池 1 個当たりの電圧値	
換算係数		定数

開始すると、通常は待機状態となり負荷電流の計測と停電監視を行い放電時間の基礎となる負荷電流パターンを作成する。負荷電流パターンは、推定精度の低下を抑えるため曜日別に作成され、放電可能時間の計算は停電が発生した曜日の負荷電流パターンを使用することとしている。停電などが発生すると即座に放電可能時間を計算し、この値に基づいて放電残時間を求め、転送する。そして、停電継続中に放電電流とメモリーした負荷電流との間に差が生じた場合には、先に示したような方法によって放電残時間の再計算を行う。停電が回復すると蓄電池への充電電気を測定し、これを蓄電池が保有する電気に加算する。このとき、充電後の蓄積池容量は、放電前の値を超えないものとしている。そして、蓄電池の充電が終了した後は、再び初期の待機状態となる。

なお、本装置の起動に際して必要なデータを表 3 に示した。データには、電池特性からのものと交換センタごとに定まるものの二つがあり、前者は定数であるのであらかじめメモリーしておくことができ、装置の起動時には後者の値を入力する。

6. む す び

蓄電池放電が開始された場合に放電残時間を算出する方法とその精度、および通信用電源システムに適用するための構成について述べた。通信用電源システムでは蓄電池の最低使用電圧が数種類あり、この値は蓄電池の放電可能容量に直接影響し、また負荷電流も経時的に変動している。このため、これらの電気の加・減算にあたって蓄電池の放電可能容量と放電電気を標準化することとし、このための換算係数を明らかにした。このような補正により、ここで示した計算方法は、経時的に変化する負荷電流に対しても約 5% の精度で放電残時間を推定することができた。また、この方法は、蓄電池放電中に負荷電流がメモリーした値から一時的にずれても電流値の更新によって再計算することができた。この計算方法を応用した蓄電池放電残時間推定装置は、通信用電力システムや集中監視装置との接続も容易であり、これによって遠方の交換センタに設置さ

れた蓄電池の放電状況を監視センタで即座に、しかもリアルタイムで把握することが可能となり、通信用電力システムの保守・安全性がいつそう向上されるものと考えられる。

なお、蓄電池の容量は周囲温度や経年劣化によって変化する。従って、今後これらに対する補正法の検討が必要と考えられ、今後このような点の解決を図り更に推定精度の向上を図っていきたい。

本研究を進めるにあたって御指導いただいた NTT 境界領域研究所通信エネルギー研究部部長 浅野 昇氏、同研究部主幹研究員 尾形 努氏、NTT ネットワークシステム開発センタ主幹技師 筒井清志氏、NTT ファシリティーズ取締役 四元勝一氏、同社首都圏支店 小山雄悟氏に感謝いたします。

(平成 5 年 4 月 23 日受付、同 5 年 7 月 28 日再受付)

文 献

- (1) 四元勝一：「通信用スイッチング電源」，信学誌，66，No. 8，802 (昭 58-8)
- (2) 足立泰男：「最近の通信用電源の技術動向」，NTT 施設，38，No. 9，21 (昭 61)
- (3) 木村 裕・武田 勉・山中敬史：「高度化される電力設備のオペレーションシステム」，NTT 技術ジャーナル，9，85 (平成)
- (4) 福井・松宮・友国：「蓄電池残時間表示を有するスイッチング式直流電源」，第 81 回パワーエレクトロニクス研資
- (5) 半村・村岡・渡辺：「自動的に最適な充電を実施するインテリジェント直流電源装置を開発」，OHM，No. 4，63 (平成)
- (6) 通信用電源，p. 134 (昭 61) オーム社

松 島 敏 雄 (正員) 1978 年東北大学大学院化学工学修士課程修了。同年日本電信電話公社〔現，日本電信電話(株)〕入社。以来、鉛蓄電池関係の研究開発に従事。現在、NTT 境界領域研究所通信エネルギー研究部主任研究員。

石 塚 慎 二 (非会員) 1981 年鹿児島大学工学部電気卒業。同年日本電信電話公社〔現，日本電信電話(株)〕入社。以来、整流装置、コンバータなどの電力変換装置、電池の開発に従事。NTT ネットワーク開発センタを経、現在、資材調達部課長。