船用EPゴム絶縁ケーブルの 間欠負荷許容電流*

村山元久**

Current Ratings in Intermittent Service
of EP Rubber Insulated Cables Used for Ships

By Motohisa Murayama

Rising of conductor temperature of cable when running the constant current intermittently is lower than that of cable when running the same constant current continuously, therefore current ratings of cable used for intermittent service is larger than those of cable used for continuous service.

In case of IEC Pub. 92-352, for supplying cable used for such equipments loaded on ship as cargo winches, engine room cranes and similar devices, it is specified that the current ratings in intermittent service shall be those which were increased by applying the correction factor to the continuous current ratings.

Therefore in this paper, we have reported the fundamental consideration of current ratings in intermittent service and also reported the result of the current ratings in intermittent service of EP rubber insulated cable used for ships in JIS C 3410 by applying the calculating method of the current ratings in intermittent service specified in IEC Pub. 92-352.

1. ま え が き

電線・ケーブルに、一定の電流を間欠的に通電した場合のケーブルの導体温度上昇は、同一の電流を連続的に通電した場合の導体温度上昇よりも少ない。従って、間欠負荷で使用されるケーブルの許容電流は、そのケーブルの連続許容電流よりも大きく取れるものである。

IEC Pub. 92-352では、船舶にとう載される装置のなかで、一般用揚貨機やエンジンルームクレーン及び同様な装置のように間欠的に使用されるものの給電ケーブルについては、定められた連続許容電流に、補正係数 (Correction factor) を乗じて増加させたものを間欠負荷許容電流とすることが規定されている。

そこで、本資料では、間欠負荷許容電流の基本的な考え方について述べるとともに、IEC Pub. 92-352に規定された間欠負荷許容電流算出方法について、JIS C 3410の船用EPゴム絶縁ケーブルを例として検討した結果について述べるものとする。

2. 間欠通電による導体温度上昇について

ケーブルの導体に電流を通じると、ジュール熱により導体温度が上昇する。これは、図1に示す静電容量 C と

図1 RC並列回路

電気抵抗 R が並列にある電気回路に、電流 I を通じた時の端子電圧 V の変化に近似している。

図1の電気回路において、端子電圧 V を導体温度上昇 θ に、電流 I を発生熱量 W に、静電容量 C をケーブルの熱容量 C に、電気抵抗 R をケーブルの熱抵抗 R に各々おきかえ、熱回路として考えると、導体に一定電流 I を時間 t 通じた後の導体温度上昇 θ の関係は、次の微分方程式で表わされる。

$$C \frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{R} \theta = W = nI^2r \quad (1)$$

ここで、

n : ケーブルの線心数

r : ケーブルの導体抵抗

* 原稿受付 昭和55年1月22日

** 藤倉電線(株)(東京都品川区西五反田2-11-20)

(1)式を解くと、

$$\theta = n I^2 r R (1 + A e^{-t/CR}) \quad (2)$$

となる。ここで、 A は定数であり、初期条件 $t=0$ において、 $\theta=0$ であることにより、 $A=-1$ となり、(2)式は、

$$\theta = n I^2 r R (1 - e^{-t/CR}) \quad (3)$$

となる。

また、導体温度上昇が θ' になった時に、通電を停止し、時間 t 経過した後の導体温度上昇 θ について考えると、前述(1)式の発生熱量 W を $W=0$ として方程式を解けば良い。よって、

$$C \frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{R} \theta = 0 \quad (4)$$

として、(6)式を解くと、

$$\theta = A e^{-t/CR} \quad (5)$$

となる。ここで、 A は定数であり、初期条件 $t=0$ において、 $\theta=\theta'$ であることより、 $A=\theta'$ となり、(5)式は、

$$\theta = \theta' e^{-t/CR} \quad (6)$$

となる。

次に、一定電流を一定周期で間欠通電する場合の温度上昇について考えると、前述(3)式と(6)式の温度上昇の繰り返しと考えられ、次のとおりとなる。

今、図2に示すように、通電時間 t_a 、通電停止時間 t_b 、周期 $t_p (= t_a + t_b)$ とする間欠負荷を考えると、 m 回通電後の導体温度上昇 θ は、

$$\begin{aligned} \theta = & n I^2 r R (1 - e^{-t_a/CR}) \\ & + n I^2 r R (1 - e^{-t_a/CR}) e^{-t_p/CR} \\ & + n I^2 r R (1 - e^{-t_a/CR}) e^{-2t_p/CR} \\ & \dots\dots\dots \\ & + n I^2 r R (1 - e^{-t_a/CR}) e^{-(m-1)t_p/CR} \end{aligned}$$

図2 間欠通電による温度上昇

$$= n I^2 r R (1 - e^{-t_a/CR}) \frac{(1 - e^{-m t_p/CR})}{(1 - e^{-t_p/CR})} \quad (7)$$

となる。従って、間欠通電回数 m を $m=\infty$ とすると、

$$\theta = n I^2 r R \frac{(1 - e^{-t_a/CR})}{(1 - e^{-t_p/CR})} \quad (8)$$

となる。

3. 間欠負荷許容電流の算出方法

ケーブルの連続許容電流は、(3)式の時間 t を無限大として、式変形を行えば、

$$I = \sqrt{\frac{\theta}{n r R}} = \sqrt{\frac{T_1 - T_0}{n r R}} \quad (9)$$

ここで、

T_1 : ケーブルの導体最高許容温度

T_0 : 周囲温度

となる。同様にして、間欠負荷許容電流は、(8)式を変形して、

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{\theta}{n r R} \cdot \frac{(1 - e^{-t_p/CR})}{(1 - e^{-t_a/CR})}} \\ &= \sqrt{\frac{T_1 - T_0}{n r R} \cdot \frac{(1 - e^{-t_p/CR})}{(1 - e^{-t_a/CR})}} \quad (10) \end{aligned}$$

となる。ここで、(10)式は(9)式の連続許容電流に、

$$\sqrt{\frac{(1 - e^{-t_p/CR})}{(1 - e^{-t_a/CR})}} \quad (11)$$

を乗じたものであることがわかる。従って、間欠負荷許容電流は、ケーブルの連続許容電流に、(11)式の間欠負荷許容電流補正係数を乗じることによって求めることができる。この考え方は、IEC Pub. 92-352 においても採用されており、Correction factor として、その算出方法が定められている。

IEC Pub. 92-352 では、間欠通電条件を周期 10 分として、通電時間 4 分、通電停止時間 6 分と定めており、補正係数 (Correction factor) を次式により算出する。

$$\text{補正係数} = \sqrt{\frac{(1 - e^{-10/T})}{(1 - e^{-4/T})}} \quad (12)$$

ここで、(12)式中の T は熱時定数といわれるもので (11) 式中の CR を意味し、IEC では次式により算出する。

$$T = 0.245 \times d^{1.35} \quad (13)$$

ここで、

T : 熱時定数(分)

d : ケーブル外径(mm)

JIS C 3410 に規定された単心と 3 心の EP ゴム絶縁ケーブルについて、JCS 第 168 号により、ケーブルの熱抵抗 R 及び熱容量 C を算出し、熱時定数 T を求めると、表 1 に示すとおりであり、(13)式で求めた IEC の熱時定数と比較すると、図 3 のとおりとなる。

IEC による熱時定数は、JCS による熱時定数よりも若干小さい値となっており、JCS による 3 心ケーブルの熱時定数と近似している。次に、これらの熱時定数を、

表 1 JCS法による船用ケーブルの熱時定数 T

導 体 断 面 積 mm ²	660V TPYC ^{*1}				660V SPYC ^{*2}			
	仕 上 外 径	R	C	T	仕 上 外 径	R	C	T
	mm	℃・cm/W	W・sec/℃・cm	($CR/60$) 分	mm	℃・cm/W	W・sec/℃・cm	($CR/60$) 分
2.0	13.6	221	2.44	8.99	7.8	333	0.92	5.1
3.5	15.5	204	3.20	10.9	8.6	304	1.13	5.7
5.5	16.8	192	3.78	12.1	9.2	282	1.32	6.2
8	18.7	181	4.73	14.3	10.2	264	1.63	7.2
14	21.9	161	6.55	17.6	11.6	237	2.16	8.5
22	25.1	142	8.65	20.5	13.2	218	2.84	10.3
30	27.5	131	10.5	22.9	14.2	204	3.33	11.3
38	30.3	120	12.6	25.2	15.6	194	4.01	13.0
50	33.1	112	15.3	28.6	16.8	186	4.77	14.8
60	35.8	105	17.9	31.3	18.2	173	5.57	16.1
80	39.1	97.7	21.9	35.7	19.6	170	6.68	18.9
100	42.9	91.4	26.4	40.2	21.4	158	7.98	21.0
125	46.6	84.9	31.4	44.4	23.0	148	9.38	23.1
150	51.9	78.2	37.7	49.1	25.5	135	11.1	25.0
200					28.2	123	14.0	28.7
250					31.3	113	16.9	31.7
325					34.8	104	21.4	37.1

*1 660V 3心EPゴム絶縁ビニルシースあじろがい装ケーブル

*2 660V単心EPゴム絶縁ビニルシースケーブルあじろがい装ケーブル

表 2 間欠負荷許容電流補正係数

導 体 断 面 積 mm ²	IEC法			JCS法	
	660V SPYC	660V DPYC	660V TPYC	660V SPYC	660V TPYC
1.25	1.185	1.317	1.330	—	—
2	1.200	1.340	1.353	1.257	1.367
3.5	1.229	1.368	1.383	1.281	1.398
5.5	1.248	1.388	1.400	1.298	1.413
8	1.278	1.408	1.420	1.327	1.436
14	1.313	1.437	1.448	1.389	1.460
22	1.346	1.460	1.468	1.400	1.476
30	1.363	1.471	1.480	1.404	1.486
38	1.384	1.483	1.491	1.423	1.494
50	1.400	1.493	1.500	1.440	1.504
60	1.415	1.502	1.508	1.450	1.510
80	1.429	1.510	1.516	1.468	1.518
100	1.444	1.518	1.523	1.478	1.525
125	1.455	1.524	1.529	1.487	1.530
150	1.470	1.531	1.536	1.493	1.535
200	1.483	1.538	1.541	1.504	—
250	1.495	—	—	1.511	—
325	1.505	—	—	1.520	—

図 3 ケーブルの熱時定数

(12)式に代入し、補正係数を求めると、表 2のとおりとなり、JCSの熱時定数により求めた補正係数より、IECの補正係数が若干小さくなるので、IECは安全側の規定になっているものと言える。

4. 船用EPゴム絶縁ケーブルの間欠負荷許容電流

JIS C 3410に規定されている、単心、2心、3心のEPゴム絶縁ケーブルの間欠負荷許容電流を、IEC Pub. 92-352により算出した結果を表 3に示す。

表 3 船用EPゴムケーブルの間欠負荷許容電流

導 体 断 面 積 mm ²	単 心 (直流)			2 心 (交流, 直流)			3 心 (交流, 直流)		
	周囲温度 (40℃)	周囲温度 (45℃)	周囲温度 (50℃)	周囲温度 (40℃)	周囲温度 (45℃)	周囲温度 (50℃)	周囲温度 (40℃)	周囲温度 (45℃)	周囲温度 (50℃)
	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1.25	22	21	20	21	19	18	17	15	15
2	31	28	27	29	26	25	24	23	21
3.5	45	43	39	42	39	36	34	33	31
5.5	61	57	53	56	54	51	47	44	42
8	79	74	70	73	68	64	61	58	53
14	115	108	102	107	100	94	88	83	78
22	157	148	138	144	135	128	118	113	105
30	193	182	171	176	166	157	146	137	130
38	226	214	202	207	195	183	171	161	152
50	273	257	242	247	232	219	204	193	181
60	309	291	274	279	262	247	230	217	205
80	374	352	331	335	317	297	277	262	245
100	434	410	385	388	365	344	321	303	284
125	503	475	446	488	423	397	370	348	328
150	570	538	505	505	476	447	417	393	370
200	689	649	610	607	572	538	500	473	443
250	798	753	708						
325	948	893	839						

5. あ と が き

IEC Pub. 92-352 によって算出される間欠負荷許容電流補正係数は、JCS 法によって算出した、3 心ケーブルの補正係数と近似しており、一般的に安全側の値となっていることがわかる。

また、間欠負荷許容電流は、そのケーブルの連続許容電流よりも、約 1.2 倍～1.5 倍大きく取れるものであり、

ケーブルサイズの軽減に有効なものと考えられる。

間欠負荷許容電流の採用は、省資材の見地より重要なことであり、本資料がその一助となればさいわいと考ええる。

文 献

- 1) IEC Pub. 92-352, First edition 1979.
- 2) 日本電線工業会規格 JCS 第 168 号 C, 1973.