www.sbargh.ir

کابل

تعیین سطح مقطع مناسب کابل

با استفاده از جریان مجاز و افت ولتاژ

محمد باقر پورعبدالله

۱۳۹۱/۲/۱۴

www.sbargh.ir

در طراحی شبکه های برق و تنظیم پروژه های توزیع انرژی نیاز به شناخت کابل و کاربرد آن داریم.

هر کابلی با سطح مقطع مشخص قادر به انتقال جریان معینی است که اگر جریان از آن حد تجاوز کند سبب تلفات انرژی الکتریکی، کوتاهی عمر کابل و یا سوختن آن می شود.

لذا در طراحی شبکه سه اصل زیر را باید در نظر گرفت:

الف – جریان برق از حد جریان مجاز کابل بیشتر نشود.

ب – افت ولتاژ نباید بیشتر از حد مجاز باشد.

ج – محاسبات اقتصادی در مورد سطح مقطع انتخابی از نظر افت توان انجام شود.

در اینجا در مورد چگونگی انتخاب سطح مقطع کابل با در نظر گرفتن این سه اصل شرح مختصری داده می شود.

الف- انتخاب کابل با توجه به جریان مجاز آن

جریان مجاز کابلهای برق و کابلهای مخصوص روشنایی و سیم کشی به ترتیب در جداول ۱ تا ۴ داده شده است. لازم به یادآوری است که اگر از کابلهای برق (جدول ۱) بخواهیم به طور دایم بارگیری کنیم بسته به نوع خاک باید خشک شدن آن و بالا رفتن مقاومت حرارتی آن را در نظر گرفت و محاسبات دقیق انجام داد.

تعیین سطح مقطع کابل

برای پیدا کردن سطح مقطع کابل مورد نظر ابتدا باید جریان گذرنده (مقدار آمپر) از این کابل را مشخص کنیم و در این مورد می توان روابط زیر را به کار برد:

برای جریان مستقیم $I_n = \frac{P}{V}(DC)$

برای جریان متناوب تک فاز $I_n = \frac{P}{V\,(pf)}(\ AC\ )$

www.sbargh.ir

برای جریان متناوب سه فاز $I_n = \frac{P}{1.73\ V\ (pf)}$ (AC)

که در آن :

P توان واقعی برداشتی به وات

V ولتاژ خط به ولت

I جریان عبوری به آمپر

pf ضریب توان

در این حال پیش از پیدا کردن سطح مقطع کابل باید با توجه به شرایطی که کابل در آن قرار می گیرد، ضرایب مربوطه را از جداول ۲ و ۳ به دست آوریم و از رابطه زیر جریان مجاز کابل را محاسبه کنیم:

$$I_c = \frac{I_n}{\text{ضرایب به آمدهدست}}$$

که در آن I_c جریان مجاز کابل به آمپر است.

سپس از روی این جریان و با توجه به جریان مجاز کابلهای برق (جدول ۱) و کابلهای مخصوص روشنایی و سیم کشی (جدول ۴) سطح مقطع کابل مورد نظر به دست می آید.

باشد تا درصورت I_c بهتر است جریان مجاز سطح مقطع انتخاب شده دست کم ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از جریان لزوم کابل قادر به انتقال جریان بیشتری در صورت توسعه آینده باشد.

ب- تعیین افت ولتاژ

همیشه در طراحی شبکه ها باید سطح مقطع کابل طوری انتخاب شود که افت ولتاژ در کابل درصد کوچکی باشد. این افت ولتاژ بر حسب نوع شبکه و نیز ولتاژ شبکه متغیر است. مثلاً برای شبکه شهری ۳۸۰ / ۲۲۰ ولت، افت ولتاژ مجاز حدود ۵ درصد است. بنا بر این پس از تعیین سطح مقطع باید بررسی شود که آیا سطح مقطع انتخابی این شرط را نیز برآورده می سازد یا نه؟

www.sbargh.ir

اگر درصد افت ولتاژ در حد مجاز نباشد باید سطح مقطع بالاتری را انتخاب کنیم.

برای تعیین درصد افت ولتاژ می توان روابط زیر را به کار برد :

برای جریان مستقیم (DC)

$$\Delta V\% = \frac{2\,R\,I_n\,L}{V}\,100$$

برای جریان متناوب تک فاز (AC)

$$\Delta V\% = \frac{2\,Z\,I_n\,L}{V}100$$

برای جریان متناوب سه فاز (AC)

$$\Delta V\% = \frac{1.73\,Z\,I_n\,L}{V}100$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

که در آن:

R مقاومت هادی در ۷۰ درجه به اهم

V ولتاژ خط به ولت

L طول کابل به متر

X مقاومت القایی (اندوکتانس) به اهم (ستون چهارم جدول ۵)

ج- بررسی اقتصادی

برای طراحی اقتصادی شبکه و بهینه سازی نیازمند داده های آماری و مقادیر واقعی نظیر قیمت کابل، هزینه نصب و نگهداری، بهای هر کیلو وات ساعت مصرفی، مدت زمان بهره برداری از کابل و غیره هستیم.

چنین ارزیابی در این توضیح مختصر نمی گنجد و فقط به این موضوع اشاره می کنیم که با افزایش سطح مقطع چون مقاومت کاهش می یابد ، افت ولتاژ نیز کم می شود و در نتیجه از افت توان نیز کاسته می شود . بنا بر این قیمت توان تلف شده در کابل نیز تقلیل می یابد، از طرفی کابل با سطح مقطع بزرگتر دارای قیمت بیشتری نیز می باشد. بهینه سازی به این دو مورد بستگی دارد.

برای روشن شدن مطالب گفته شده به بررسی مثال زیر می پردازیم.

www.sbargh.ir

مثال:

می خواهیم برای برق رسانی به موتور سه فاز ۳۸۰ ولتی به قدرت ۹۰ کیلو وات و با ضریب توان ۰.۸ که در فاصله ۱۰۰ متری از تابلوی توزیع قرار دارد از کابل پلاستیکی نوع NYY-O استفاده کنیم. در صورتی که موتور روزانه ۱۰ ساعت با بار کامل کار کند و دست کم به همان مدت هم بار آن از ۶۰ درصد بار کامل تجاوز نکند و کابل به طور مستقیم در عمق ۷۰ سانتیمتری در خاک قرار گرفته و حداکثر دمای محیط هم ۴۰ درجه سانتیگراد باشد، سطح مقطع کابل مورد نظر را برای موتور مورد نظر حساب کنید.

ابتدا جریان برداشتی را حساب می کنیم.

$$I_n = \frac{P}{1.73\ V\ (pf)} = \frac{90000}{1.73\ (380)\ (0.8)} = 171 \qquad \text{آمپر}$$

از جدول ۲ ضریب تصحیح دما برای دمای ۴۰ درجه ۰.۷۷ است، پس جریان مجاز کابل برابر است با:

$$I_c = \frac{I_n}{k} = \frac{I_n}{0.77} = 222 \qquad \text{آمپر}$$

از جدول می توانیم مشاهده کنیم که کابل 3 x 70 می تواند ۲۳۰ آمپر را منتقل کند پس برای این کار مناسب است.

برای بررسی درصد افت ولتاژ در این کابل از جدول ۲-۵ می توانیم مقاومت اهمی و القایی کابل را به دست آوریم:

R = 0.321 ohm / km

X = 0.074 ohm / km

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0.321^2 + 0.074^2} = 0.329 \qquad \text{ohm / km}$$

$$\Delta V\% = \frac{1.73\ Z\ I_n\ L}{V} 100 = \frac{1.73\ (0.329)\ (171)\ (100)}{380\ (1000)} 100 = 2.6\ \%$$

www.sbargh.ir

نکته ای که باید در هنگام تعیین سطح مقطع کابل در نظر داشت این است که در فاصله های کوتاه توانایی انتقال جریان عامل تعیین کننده است، در حالی که در شبکه های با طول بلند افت ولتاژ نقش اساسی دارد.

د- چند توصیه در مورد نصب کابل

کابل برق مانند هر وسیله برای استفاده صحیح و افزایش عمر نیاز به رعایت نکاتی است که به پاره ای از آنها اشاره می کنیم:

- کابل پلاستیکی (پی وی سی) را نباید در زمستان که دمای هوا زیر صفر است کابل کشی نمود. در شرایط خاص کار در سرما می توان از پیش قرقره کابل را در محیط گرم قرار داد و پس از گرم شدن بی درنگ آن را نصب کنیم. البته پس از نصب مانعی ندارد دمای محیط به حد ۳۰- هم برسد.
- هنگام نصب کابل شعاع خمش آن نباید از ۱۲ برابر قطر خارجی آن کمتر باشد.
- در صورتی که کابل در خاک دفن شود، باید کانالی به عمق ۷۰ سانتیمتر حفر کرد و کابل را در این کانال داخل خاک نرم (الک شده) به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر قرار داد و سپس روی آن آجر و در پایان خاک معمولی ریخت. این کار از فشار طبقات خاک بر روی کابل و آسیب دیدگی آن در هنگام کندن زمین با بیل و کلنگ جلوگیری میکند.

www.sbargh.ir

جدول شماره ۱ جریان مجاز کابلهای برق به آمپر

حداکثر دمای هادی ۷۰ درجه سانتیگراد

عمق کابل در خاک ۷۰ سانتیمتر

سه کابل یک سیمه سه فاز				کابلهای ۳ و ۴ سیمه		کابلهای ۲ سیمه		کابلهای ۱ سیمه DC		سطح مقطع mm^2
در هوا ○ ○ ○	در خاک ○ ○ ○	در هوا ○ ○ ○	در خاک ○ ○ ○	در هوا	در خاک	در هوا	در خاک	در هوا	در خاک	
–	–	–	–	۱۸	۲۷	۲۱	۳۰	۲۶	۳۷	۱.۵
–	–	–	–	۲۵	۳۶	۲۹	۴۱	۳۵	۵۰	۲.۵
–	–	–	–	۳۴	۴۶	۳۸	۵۳	۴۶	۶۵	۴
–	–	–	–	۴۴	۵۹	۴۸	۶۶	۵۸	۸۳	۶
–	–	–	–	۵۰	۷۷	۶۶	۸۸	۸۰	۱۱۰	۱۰
۸۶	۱۱۰	۱۰۰	۱۲۰	۸۰	۱۰۰	۹۰	۱۱۵	۱۰۵	۱۴۵	۱۶
۱۲۰	۱۴۰	۱۳۵	۱۵۵	۱۰۵	۱۳۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۴۰	۱۹۰	۲۵
۱۴۵	۱۷۰	۱۷۰	۱۸۵	۱۳۰	۱۵۵	۱۵۰	۱۸۰	۱۷۵	۲۳۵	۳۵
۱۸۰	۲۰۰	۲۰۵	۲۲۰	۱۶۰	۱۸۵	–	–	۲۱۵	۲۸۰	۵۰
۲۲۵	۲۴۰	۲۶۰	۲۷۵	۲۰۰	۲۳۰	–	–	۲۷۰	۳۵۰	۷۰
۲۸۰	۲۹۵	۳۲۰	۳۲۵	۲۴۵	۲۷۵	–	–	۳۳۵	۴۲۰	۹۵
۳۳۰	۳۳۵	۳۷۵	۳۷۰	۲۸۵	۳۱۵	–	–	۳۹۰	۴۸۰	۱۲۰
۳۸۰	۳۸۰	۴۳۰	۴۲۰	۳۲۰	۳۵۵	–	–	۴۴۵	۵۴۰	۱۵۰
۴۴۰	۴۳۰	۴۵۰	۴۷۰	۳۷۰	۴۰۰	–	–	۵۱۰	۶۲۰	۱۸۵
۵۳۰	۴۹۰	۵۹۰	۵۴۰	۴۳۵	۴۶۵	–	–	۶۲۰	۷۲۰	۲۴۰
۶۱۰	۵۵۰	۶۸۰	۶۲۰	–	–	–	–	۷۱۰	۸۲۰	۳۰۰
۷۴۰	۶۵۰	۸۲۰	۷۱۰	–	–	–	–	۸۵۰	۹۶۰	۴۰۰
۸۶۰	۷۴۰	۹۶۰	۸۲۰	–	–	–	–	۱۰۰۰	۱۱۱۰	۵۰۰

شرایط محیط

- دمای محیط در خاک ۲۰ درجه سانتیگراد
- دمای محیط در هوای آزاد ۳۰ درجه سانتیگراد

www.sbargh.ir

- مقاومت ویژه حرارتی عایق و روکش پی وی سی 600 deg C . Cm / W
- مقاومت ویژه حرارتی خاک 600 deg C . Cm / W
- بار روزانه : ۱۰ ساعت با بار کامل و دست کم ۱۰ ساعت با ۶۰ درصد بار کامل

جدول شماره ۲ ضریب تصحیح برای دمای محیط

حداکثر دمای هادی ۷۰ درجه سانتیگراد

	دمای محیط بر حسب درجه سانتیگراد									
	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
کابل در خاک	1.05	1	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63	0.55	0.45
کابل در هوای آزاد	1.17	1.12	1.06	1	0.94	0.87	0.79	0.71	0.61	0.5

جدول شماره ۳ ضریب تصحیح (به ٪)جریان مجاز برای سیمها و کابلهای سیم کشی در صورت تغییر دمای محیط از ۲۵ درجه سانتیگراد

دمای محیط بر حسب درجهسانتیگراد	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵
در صد جریان مجاز	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۰	۱۰۵	۱۰۰	۹۴	۸۸	۸۲	۷۵	۶۷	۵۸	۴۷	۳۳

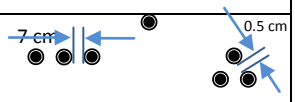
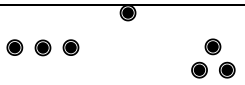
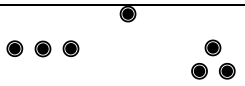
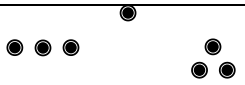
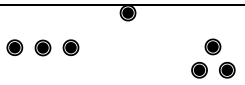
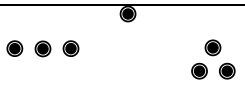
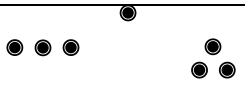
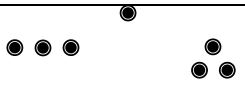
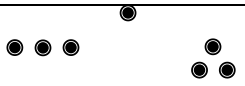
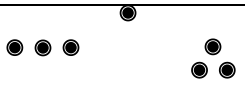
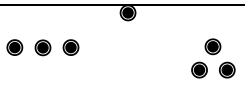
www.sbargh.ir

جدول شماره۴ جریان مجاز سیمهای عایقدار و کابلهای سیم کشی با حد اکثر دمای هادی مسی۷۰ درجه و دمای محیط ۲۰ درجه سانتیگراد

گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
سیمهای نصب در هوای آزاد و مراکز توزیع به فاصله یکقطر از یکدیگر	کابلهای سبک چند سیمه	یک یا چند سیم عایقدار در لوله خرطومی	
	ISIRI (607) 10یاNYM	ISIRI (607) 01 یاNYA	
جریان مجاز A	**جریان مجاز** A	**جریان مجاز** A	**سطح مقطع** mm^2
۲۰	۱۶	۱۲	۱
۲۵	۲۰	۱۶	۱.۵
۳۴	۲۷	۲۱	۲.۵
۴۵	۳۶	۲۷	۴
۵۷	۴۷	۳۵	۶
۷۸	۶۵	۴۸	۱۰
۱۰۴	۸۷	۶۵	۱۶
۱۳۷	۱۱۵	۸۸	۲۵
۱۶۰	۱۴۳	۱۱۰	۳۵
۲۱۰	۱۷۸	۱۴۰	۵۰
۲۶۰	۲۲۰	۱۷۵	۷۰
۳۱۰	۲۶۵	۲۱۰	۹۵
۳۶۵	۳۱۰	۲۵۰	۱۲۰
۴۱۵	۳۵۵	–	۱۵۰
۴۷۵	۴۰۵	–	۱۸۵
۵۶۰	۴۸۰	–	۲۴۰
۶۴۵	۵۵۵	–	۳۰۰
۷۷۰	–	–	۴۰۰
۸۸۰	–	–	۵۰۰

www.sbargh.ir

جدول شماره ۱–۵

سطح مقطع mm^2	مقاومت DC هادی در ۲۰درجه	مقاومت AC هادی در 70 درجه	رآکتانس تقریبی ohm / Km	طرز قرار گیری کابل ها
1 x 1.5	12.1	14.29	-	
1 x 2.5	7.41	8.54	-	
1 x 4	4.61	5.35	-	
1 x 6	3.08	3.55	-	
1 x 10	1.83	2.12	-	
1 x 16	1.15	1.35 1.35 1.35	- 0.254 0.11	
1 x 25	0.727	0. 852 0.852 0.852	- 0.242 0.107	
1 x 35	0.524	0.615 0.615 0.615	- 0.228 0.097	
1 x 50	0.387	0.453 0.454 0.454	- 0.189 0.096	
1 x 70	0.268	0.313 0.314 0.315	- 0.210 0.094	
1 x 95	0.193	0.226 0.226 0.227	- 0.203 0.091	
1 x 120	0.153	0.180 0.180 0.181	- 0.196 0.088	
1 x 150	0.124	0.146 0.147 0.148	- 0.192 0.086	
1 x 185	0.0991	0.1163 0.1184 0.1171	- 0.086 0.184	
1 x 240	0.0754	0.0886 0.0916 0.0896	- 0.082 0.174	
1 x 300	0.0601	0.0706 0.0742 0.0720	- 0.082 0.170	

اعداد جدول برای محاسبه افت ولتاژ و افت توان کافی می باشد .

www.sbargh.ir

جدول شماره ۲–۵

	سطح مقطع mm^2	مقاومت DC هادی در ۲۰درجه	مقاومت AC هادی در 70 درجه	راکتانس تقریبی ohm / Km
تک مفتولی	2 x 1.5	12.1	14.48	0.108
	2 x 2.5	7.41	8.71	0.104
	2 x 4	4.61	5.46	0.100
	2 x 6	3.08	3.62	0.094
	2 x 10	1.83	2.16	0.088
نیمه افشان	2 x 16	1.15	1.37	0.083
	2 x 25	0.727	0.870	0.080
	2 x 35	0.524	0.627	0.078
	3 x 1.5	12.1	14.48	0.108
	3 x 2.5	7.41	8.71	0.104
	3 x 4	4.61	5.46	0.100
	3 x 6	3.08	3.62	0.094
	3 x 10	1.83	2.16	0.088
	3 x 16	1.15	1.37	0.083
	3 x 25	0.727	0.870	0.080
	3 x 35	0.524	0.627	0.077
	3 x 50	0.387	0.463	0.077
	3 x 70	0.268	0.321	0.074
	3 x 95	0.193	0.232	0.074
	3 x 120	0.153	0.184	0.072
	3 x 150	0.124	0.150	0.072
	3 x 185	0.0991	0.1203	0.071

www.sbargh.ir

اعداد جدول برای محاسبه افت ولتاژ و افت توان کافی می باشد .

ارتباط سطح مقطع کابل ، مسافت و جریان مجاز

	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
1.5	27	15	7	5												
2.5	36	25	12	8	6											
4	46	40	20	13	10	8	6									
6	58	58	30	20	15	12	10	8	7	6.5	6	5				
10	77	77	50	33	25	20	16	14	12	11	10	8	7	6	5	5
16	100	100	80	53	40	32	26	22	20	17	16	13	11	10	8	8
25	130	130	125	83	62	50	41	35	31	27	25	20	17	15	13	12
35	155	155	155	115	86	69	57	49	43	38	34	28	24	21	18	17
50	185	185	185	156	117	93	78	66	58	52	46	38	32	28	25	23
70	230	230	230	222	166	133	111	95	83	74	66	55	47	41	36	33
95	275	275	275	275	225	180	150	129	112	100	90	75	64	56	50	45
120	315	315	315	315	278	222	185	159	139	123	111	92	89	69	67	55
150	355	355	355	355	330	264	220	189	165	147	132	110	94	82	73	66
185	400	400	400	400	393	314	267	224	196	174	157	131	112	98	87	78
240	465	465	465	465	437	349	291	249	218	194	174	145	124	109	97	87
300	550	550	550	550	496	397	331	283	248	220	198	165	141	124	110	99

مثال: کابل با سطح مقطع ۱۰ میلیمتر مربع به طول ۱۵۰ متر می تواند ۳۳ آمپر از خود عبور دهد.

www.sbargh.ir