

محاسبه کابل‌های ترانسفورماتور ولتاژ

هدف از بررسی این مدرک محاسبه سطح مقطع مناسب برای کابل‌های ترانسفورماتور ولتاژ میباشد بنحوی که این کابل توانایی عبور مجموع جریان نامی بارهای متصل به ترانسفورماتور ولتاژ را داشته باشد.

در این مدرک، سطح مقطع مناسب براساس افت ولتاژ مجاز در کابل (حدفاصل بین ترانسفورماتور ولتاژ و بارها) بدست می آید. لازم به توضیح است که حداقل این سطح مقطع می بایست $2/5 \text{ mm}^2$ باشد. یعنی اگر در محاسبات سطح مقطع کابل عددی کمتر از $2/5 \text{ mm}^2$ بدست بیاید ما حداقل سطح مقطع $2/5$ را برای کابل در نظر میگیریم.

در ابتدا توضیح این مطلب ضروری است که بارهای متصل به ترانس ولتاژ به سه گروه عمده بار تکفاز، باردوفاز، بار سه فاز تقسیم بندی میشوند که با مراجعه به نحوه اتصال به ترانسفورماتور ولتاژ و یا با مراجعه به کاتالوگ مربوطه میتوان تشخیص داد که هر بار در کدام گروه قرار میگیرد. تنها باری که گاهی بار تکفاز و گاهی بار دوفاز محسوب میشود ولتمتر میباشد که توسط سلکتور سوئیچ در 6 وضعیت A-N ، B-N ، C-N ، A-B ، A-C و B-C قرار میگیرد. (A ، B و C فازها و N نوترال میباشد).

در زیر شکل بارهای مختلف کشیده شده است. (S نشان دهنده توان ظاهری بار یا همان ولت آمپر نامی بار میباشد).

بار تکفاز

بار دوفاز

بار سه فاز

شکل 1 : نمایش بارهای تکفاز، دوفاز و سه فاز

ولتاژ خط خروجی ترانسفورماتور ولتاژ معمولاً 110 یا 100 ولت میباشد ولذا ولتاژ فاز آن

$$\frac{110}{\sqrt{3}} \text{ یا } \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ محاسبه میشود.}$$

برای محاسبه سطح مقطع کابل ، فازی را در نظر میگیریم که بیشترین افت ولتاژ را دارد و در واقع برای محاسبه سطح مقطع کابل ، از فازی استفاده میشود که بیشترین جریان از آن عبور میکند.

میدانیم که افت ولتاژ در یک کابل از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$\Delta V = V_{in} - V_{out} = R_{cable} * I \quad (1)$$

باتوجه به توضیحات ارائه شده میتوان رابطه (1) را برای محاسبه کابل ترانسفورماتور ولتاژ بصورت زیر تعمیم داد. لازم به توضیح است که سطح مقطع کابل نوترال همانند سطح مقطع کابلهای فاز در نظر گرفته میشود.

$$\Delta V = \Delta V_{ph} + \Delta V_N = R_{cable} * I_{ph}(\max) + R_{cable} * I_N \quad (2)$$

لذا با دانستن این مطلب که حداکثر افت ولتاژ مجاز در کابلهای متصل به ترانسفورماتور ولتاژ برابر با یک درصد (1%) در نظر گرفته میشود و نیز با محاسبه جریان حداکثر مربوط به فازها و جریان نوترال میتوان از رابطه (2) حداکثر مقاومت کابل را محاسبه نمود.

$$R_{20} = \frac{1}{\sigma} * \frac{L}{A_{min}} \quad (3)$$

که در رابطه (3) ، A_{min} حداقل سطح مقطع کابل و R_{20} مقاومت کابل دردمای 20 درجه و L طول کابل و σ ضریب هدایت ویژه هادی کابل برحسب $\frac{m}{mm^2 \cdot \Omega}$ میباشد که σ برای کابلهای مسی برابر 56 و برای کابلهای آلومینیومی 36 میباشد.

$$\frac{R_{75}}{R_{20}} = \frac{273 + 75}{273 + 20} \approx 1.188 \approx 1.2 \quad (4)$$

$$A_{min} = \frac{1.2 * L}{\sigma * R_{20}} \quad (5)$$

بدین ترتیب میتوان حداقل سطح مقطع مجاز برای کابل را محاسبه نمود.

برای محاسبه جریان فازها و جریان نوترال میتوان از جدول زیر استفاده نمود.

1ph Load	2ph Load	3ph Load
-------------	-------------	-------------

	$I_{ph(A)} = \frac{S}{2 * V_L} < -30$	$I_{ph(A)} = \frac{S}{V_L * \sqrt{3}} < 0$
$I_{ph(B)} = \frac{S * \sqrt{3}}{V_L} < 120$	$I_{ph(B)} = \frac{S * \sqrt{3}}{2 * V_L} < -60$	$I_{ph(B)} = \frac{S}{V_L * \sqrt{3}} < 120$
	$I_{ph(C)} = \frac{S}{2 * V_L} < -90$	$I_{ph(C)} = \frac{S}{V_L * \sqrt{3}} < 240$
$I_N = \frac{S * \sqrt{3}}{V_L} < 120$		

شکل 2- نمایش جهت و اندازه جریان های 3 فاز تحت بارهای مختلف

در جدول بالا فرض شده که بار تکفاز بین نوترال و فاز B بسته شده است اگر این بار بین فاز A و نوترال بسته می‌شود اندازه جریان همین اندازه بود ولی فاز آن صفر می‌شود و اگر بین فاز C و نوترال بسته می‌شود جریانی با همین اندازه و فاز 240 درجه خواهیم داشت. همچنین S در جدول بالا همان ولت آمپر بار و V_L ولتاژ خط در ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ است.

مثال (1): به یک CVT بارهای زیر متصل است. طول کابل بین CVT تا پانل بارها در بدترین حالت 480 متر می‌باشد. سطح مقطع کابل مربوطه را محاسبه کنید:

CONNECTED LOAD		
DEVICE	BURDEN	CURRENT (mA)
ENERGY METER	2.1	I_1
FUSE FAILURE	6	I_2
TRANSDUCER	0.02	I_3

که باتوجه به نقشه های تفصیلی انرژی مترها بار 2 فاز و رله های فیوز فیلور و ترانسدیوسرها بار 3 فاز می‌باشند. مطابق فرمول های ارائه شده در شکل 2 جریان حداکثر در بار دوفاز بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$I_1 = \frac{S * \sqrt{3}}{2 * V_L} = \frac{2.1 * \sqrt{3}}{2 * 110} = 16.53 \text{ mA}$$

و جریان بارهای 3 فاز از رابطه زیر حساب می‌شود.

$$I_2 = \frac{S}{V_L * \sqrt{3}} = \frac{6}{110 * \sqrt{3}} = 31.49 \text{ mA}$$

$$I_3 = \frac{S}{V_L * \sqrt{3}} = \frac{0.02}{110 * \sqrt{3}} = 0.11 \text{ mA}$$

باتوجه به جریان های محاسبه شده حداکثر جریان فاز برابر با 48.13 میلی آمپر خواهد بود. لذا براساس فرمول های ارائه شده 1 الی 5، سطح مقطع کابل برابر با 0.7795 میلیمتر مربع خواهد شد که بدلیل اینکه از 2/5 میلیمتر مربع کمتر میباشد سطح مقطع 2/5 برای کابل منظور خواهد شد.

مثال (2): به یک CVT بارهای زیر متصل است. طول کابل بین CVT تا پانل بارها در بدترین حالت 460 متر میباشد. سطح مقطع کابل مربوطه را محاسبه نمایید.

CONNECTED LOAD		
DEVICE	BURDEN	CURRENT (mA)
DOUBE FREQUENCY METER	1.75	I ₁
DOUBLE VOLTMETER	3.5	I ₂
FUSE FAILURE	6	I ₃
SYN. CHECK	0.5	I ₄
SYNCHROSCOPE	6.8	I ₅

همانطوریکه میدانیم تجهیزات سنکرونایزینگ بصورت بار تکفاز میباشد و تنها رله فیوز فیلور در بارهای داده شده بصورت بار 3 فاز در نظر گرفته میشود. لذا مطابق فرمول های ارائه شده در شکل (2) جریان های I₁ الی I₅ بصورت زیر محاسبه میشوند:

$$I_1 = \frac{S * \sqrt{3}}{V_L} = \frac{1.75 * \sqrt{3}}{110} = 27.55 \text{ mA}$$

با استفاده از همین روش مقادیر I₂=55.11 (mA) و I₄=7.87 (mA) و I₅=107.07(mA) بدست می آید تنها جریان I₃ بصورت سه فاز از رابطه زیر حساب میشود.

$$I_3 = \frac{S}{\sqrt{3} * V_L} = \frac{6}{\sqrt{3} * 110} = 31.49 \text{ mA}$$

باتوجه به محاسبات بالا مجموعاً I_{1ph}=197.6 (mA) جریان تکفاز و I_{3ph}=31.49(mA) جریان سه فاز خواهیم داشت. براساس فرمول های ارائه شده 1 الی 5، سطح مقطع کابل بکارگرفته شده برابر با 6/629 mm² خواهد شد که طبق جدول استاندارد نزدیک ترین سطح مقطع استاندارد بزرگتر از 6/629 mm² برابر با 10 mm² خواهد بود و لذا سطح مقطع 10 انتخاب میشود.

در پایان این نکته حائز اهمیت است که در بررسی مدرک محاسبات کابل ترانسفورمر ولتاژ در نظر گرفته شود که ولت آمپر ترانسفورماتور ولتاژ مطابق استاندارد IEC باید بگونه ای انتخاب گردد که بار متصل به ترانس در محدوده 25 درصد تا 100 درصد ولت آمپر نامی ترانسفورماتور ولتاژ قرار گیرد.