



راهنمای آنلاین وبکو

محاسبات ولتاژ و جریان تست در روم دستانس

tester	دسته
روم AMT Distance	بخش
فارسی	زبان
2026-10-23	تاریخ تولید

یک رله امپدانس برای حفاظت خط، از جریان و ولتاژ خط برای محاسبات امپدانس استفاده می‌کند. به همین دلیل برای تست این رله‌ها در روم دیستانس نیاز به تزریق جریان و ولتاژ متناسب با امپدانس نقطه تست است. در این فایل محاسبات روم دیستانس برای انواع خط و روش‌های تست، به همراه اثبات آن‌ها ارائه می‌شود. به طور کلی برای تست رله دیستانس به سه روش می‌توان ولتاژ و جریان خط را محاسبه کرد:

روش Z-I Constant:

در این روش، جریان خط ثابت در نظر گرفته شده و با وارد کردن امپدانس تست، ولتاژ محاسبه می‌شود:

$$V = Z I_{test}$$

تصویر 1

دقت کنید که حداکثر امپدانس تست وابسته به ولتاژ ماکزیمم (V_{max}) نرم افزار است (این پارامتر در پنجره Test Object بلوک Device بخش Limits قرار گرفته است). نحوه محاسبه ماکزیمم امپدانس تست در خطاهای مختلف در جدول زیر آورده شده است:

Single phase fault	$Z_{L\ max} = V_{max} / \sqrt{3} \cdot [1 + K_L] \cdot I_{test}$
Two phase <u>fault</u>	$Z_{L\ max} = V_{max} / 2 \cdot I_{test}$
Three phase <u>fault</u>	$Z_{L\ max} = V_{max} / \sqrt{3} \cdot I_{test}$

تصویر 2

روش Z-V Constant:

در این روش ولتاژ خط ثابت در نظر گرفته شده و با وارد کردن امپدانس تست، جریان به دست می‌آید.

$$I = \frac{V_{test}}{Z}$$

تصویر 3

دقت کنید که حداقل امپدانس تست وابسته به جریان ماکزیمم (I_{max}) نرم افزار است (این پارامتر در پنجره Test Object بلوک Device، بخش Limits قرار گرفته است). نحوه محاسبه مینیمم امپدانس تست در خطاهای مختلف در جدول زیر آورده شده است:

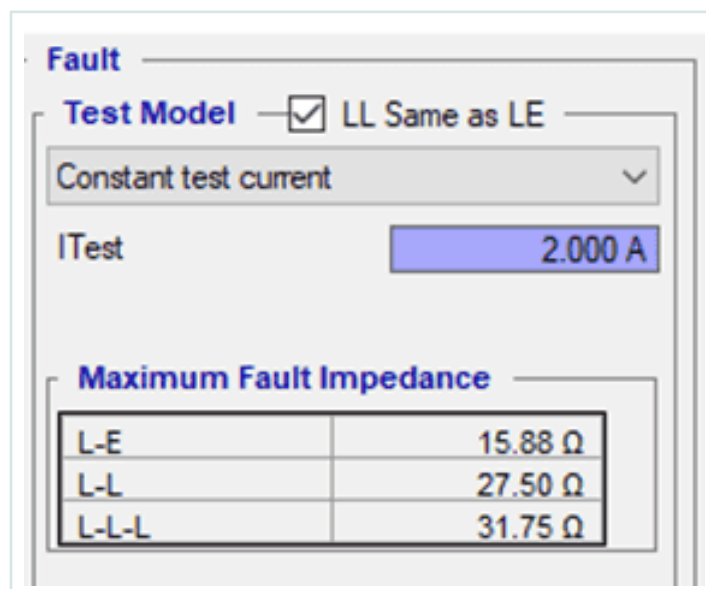
Single phase faults	$Z_{L \min} = \frac{V_{test}}{ 1+K_L \cdot I_{max}}$
Two phase faults	$Z_{L \min} = \frac{V_{test}}{2 \cdot I_{max}}$
Three phase faults	$Z_{L \min} = \frac{V_{test}}{I_{max}}$

تصویر 4

روش Constant Source Impedance:

در این روش ولتاژ یا جریان خطا ثابت در نظر گرفته نمی شود بلکه با استفاده از امپدانس منبع (Z_s) و ضریب زمین (K_s) جریان و ولتاژ خطا محاسبه می شود. نکته قابل توجه این است که اطلاعات منبع ممکن است با روش های مختلفی ارائه شود ولی تمامی این اطلاعات با امپدانس منبع رابطه دارند و در نهایت تبدیل به Z_s و K_s شده و در محاسبات استفاده می شوند.

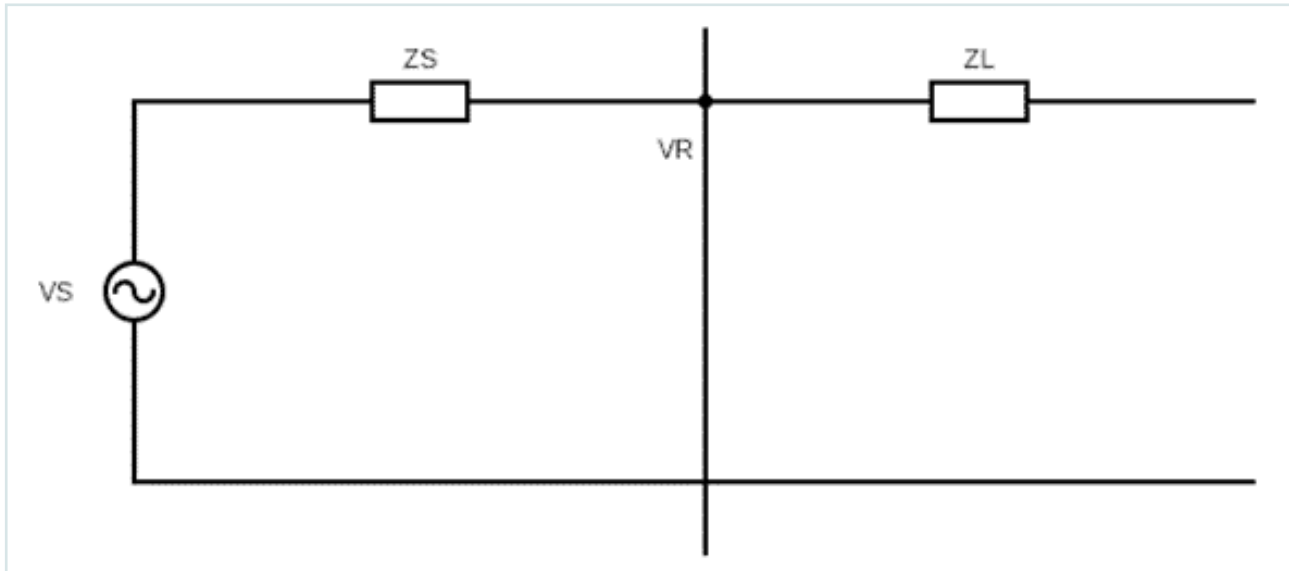
هر سه مد گفته شده برای محاسبه جریان و ولتاژ خطا، در نرم افزار وبکو تعریف شده و در دسترس هستند. مطابق شکل زیر این تنظیمات در روم دیستانس، زبانه Setting، بخش Fault و زیر گروه Test Model قرار دارند. با کلیک روی فیلد کشویی می توان یکی از روش های ذکر شده را برای تست استفاده کرد.



تصویر 5

مفهوم SIR یا Source Impedance Ratio

برای درک مفهوم و کارکرد SIR مدار معادل یک فاز از شبکه را در نظر بگیرید. این شبکه شامل منبع یا Source با ولتاژ VS است. امپدانس منبع تا محل نصب رله با ZS مشخص می‌شود. امپدانس خطی که رله حفاظت می‌کند با ZL مشخص شده و ولتاژی که رله می‌بیند با VR نشان داده می‌شود.



تصویر 6

در این سیستم ولتاژ رله از طریق تقسیم مقاومتی و با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$V_R = \frac{Z_L}{Z_L + Z_S} V_S \xrightarrow{\text{Factor: } Z_L} V_R = \frac{Z_L}{Z_L \left(1 + \frac{Z_S}{Z_L}\right)} V_S \Rightarrow V_R = \frac{1}{1 + \frac{Z_S}{Z_L}} V_S$$

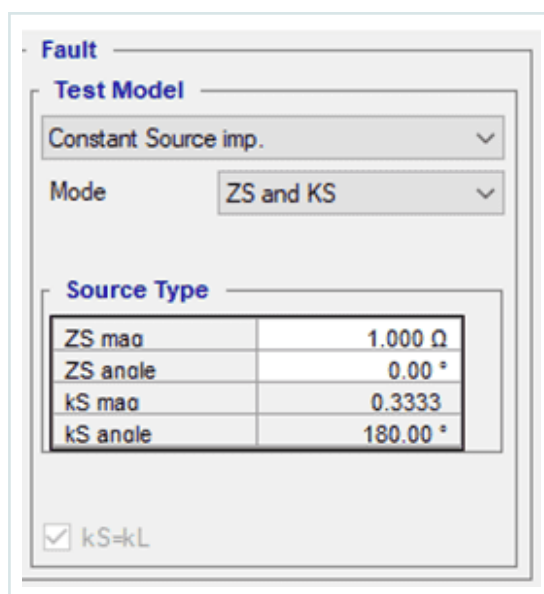
تصویر 7

در رابطه بالا ZS/ZL نسبت امپدانس منبع به امپدانس خط است که به صورت SIR یا همان Source Impedance Ratio نشان داده می‌شود.

$$SIR = \frac{Z_S}{Z_L} \Rightarrow V_R = \frac{V_S}{1 + SIR}$$

تصویر 8

همچنین ZS از رابطه $VS/(I_{sc} \cdot \sqrt{3})$ محاسبه می‌شود. با توجه به روابط گفته شده می‌توان گفت که SIR به سطح اتصال کوتاه، ولتاژ منبع و امپدانس خط بستگی دارد و نهایتاً ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط رله به هنگام خطا وابسته به مقدار SIR است. بنابراین با توجه به روابط گفته شده با داشتن ZS و KS می‌توان ولتاژ و جریان را برای تست محاسبه کرد. همانطور که گفته شد در روش Constant Source Impedance به روش‌های مختلفی پارامترهای مرتبط با امپدانس منبع وارد می‌شود. برای این کار با کلیک روی فیلد کشویی Mode می‌توان روش مورد نظر را انتخاب کرد. در این مد گزینه‌ای با عنوان "KS=KL" قرار دارد که با آن ضریب زمین خط و منبع یکسان در نظر گرفته می‌شود. با انتخاب این گزینه در چهار حالت اول، مطابق شکل پایین فقط دو فیلد اول جدول باز بوده و می‌توان مقدار مورد نظر را وارد کرد، این گزینه در حالت‌های SSc و ISC غیر فعال است. همچنین تمامی این اطلاعات با امپدانس منبع رابطه دارند و در نهایت با معادلاتی تبدیل به Zs و KS می‌شوند:



تصویر 9

Z_S and K_S	Z_S امپدانس منبع K_S ضریب زمین
Z_{S1} and Z_{S0}	Z_{S1} امپدانس توالی مثبت Z_{S0} امپدانس توالی صفر
R_E, X_E $R_{SE}/R_E, X_{SE}/X_E$	X_E, R_E قسمت حقیقی و موهومی امپدانس منبع ضریب زمین به صورت نسبت قسمت حقیقی و نسبت قسمت موهومی: $R_{SE}/R_E, X_{SE}/X_E$
SIR and K_S	<u>SIR</u> نسبت امپدانس منبع به امپدانس بار K_S ضریب زمین
SSC and X/R	S_{SC} توان ظاهری اتصال کوتاه سه‌فاز تک‌فاز X/R نسبت بخش موهومی خط به قسمت حقیقی
ISC and X/R	I_{SC} جریان اتصال کوتاه در حالت سه‌فاز و تک‌فاز X/R نسبت بخش موهومی امپدانس خط به قسمت حقیقی
$Z_{S1} = Z_S$	
$K_S = (Z_{S0} / Z_S - 1) / 3$	
$Z_S = R_S + j X_S$	
$K_S * Z_S = R_E + j X_E = R_{SE}/R_E * R_S + j X_{SE}/X_E * X_S$	
$SIR = (Z_S) / (Z_L), Z_L$ line length in Ohms set on Test object's "System Settings" Tab	
$S_{SC L-L} = \sqrt{3} * V_{nom L-L}^2 / (Z_S)$	
$S_{SC L-N} = \sqrt{3} * V_{nom L-N}^2 / (Z_S * (1 + K_S))$	
$X/R_{L-L} = \tan(\text{Im}(Z_S) / \text{Re}(Z_S))$	
$X/R_{L-N} = \tan(\text{Im}(Z_S * (1 + K_S)) / \text{Re}(Z_S * (1 + K_S)))$	
$I_{SC L-L} = V_{nom L-L} / Z_S$	
$I_{SC L-N} = V_{nom L-N} / (Z_S * (1 + K_S))$	

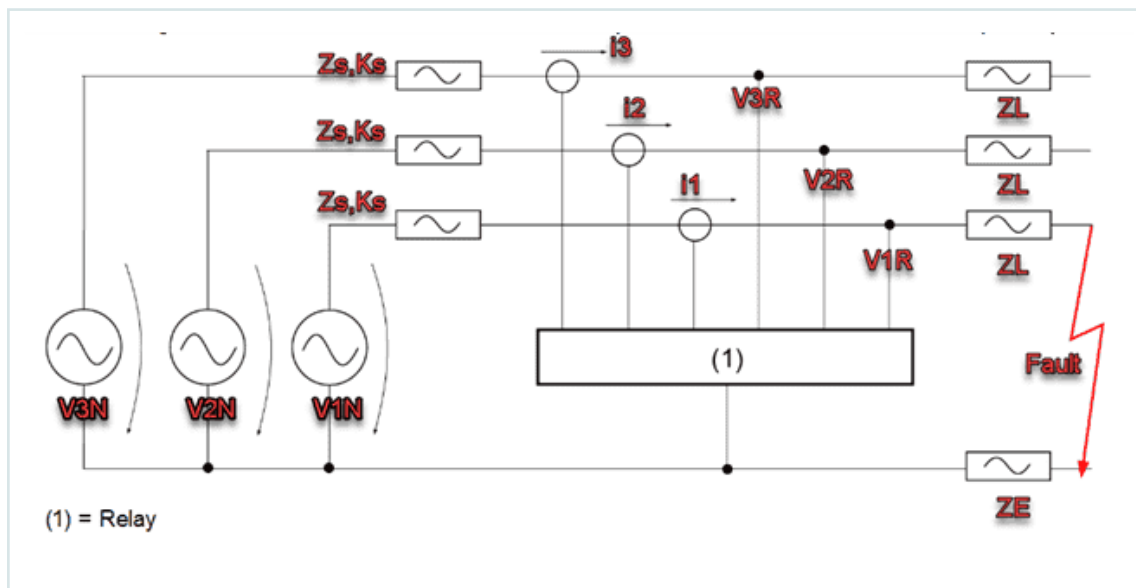
تصویر 10

جریان و ولتاژ در Fault Type های مختلف

تا اینجا توضیحاتی در مورد روش‌های محاسبه امپدانس گفته شد. در این بخش به روابط ولتاژ و جریان خطا در نرم افزار به کمک مدار معادل در خطای تکفاز و دو فاز و سه فاز پرداخته خواهد شد.

خطای تکفاز

شکل زیر مدار معادل خط در حالت خطای تکفاز را نشان می‌دهد. برای محاسبه جریان و ولتاژ فاز خطا و سایر فازها روش‌های جریان ثابت، ولتاژ ثابت و امپدانس منبع ثابت وجود دارد که محاسبات هرکدام به طور جداگانه ارائه می‌شود.



تصویر 11

در روش Z-I constant جریان خطا یا همان جریان تست برای همه نقاط تست ثابت در نظر گرفته می‌شود. با داشتن امپدانس و جریان تست، ولتاژ بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{test} \angle \varphi_{(V_{1N}) - \varphi_{(1+K_L)Z_L}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{test} \cdot |(1+K_L) \cdot Z_L| \angle \varphi_{V_{1N}} \\ V_{2N} \\ V_{3N} \end{bmatrix}$$

تصویر 12

در روش Z-V constant ولتاژ خطا یا همان ولتاژ تست برای همه نقاط تست ثابت در نظر گرفته می‌شود و با داشتن امپدانس و ولتاژ تست، جریان بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{test} \angle \phi_{V_{1N}} \\ V_{2N} \\ V_{3N} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left| \frac{V_{1R}}{(1+K_L).Z_L} \right| \angle \phi_{V_{1N}} - \phi_{(1+K_L).Z_L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

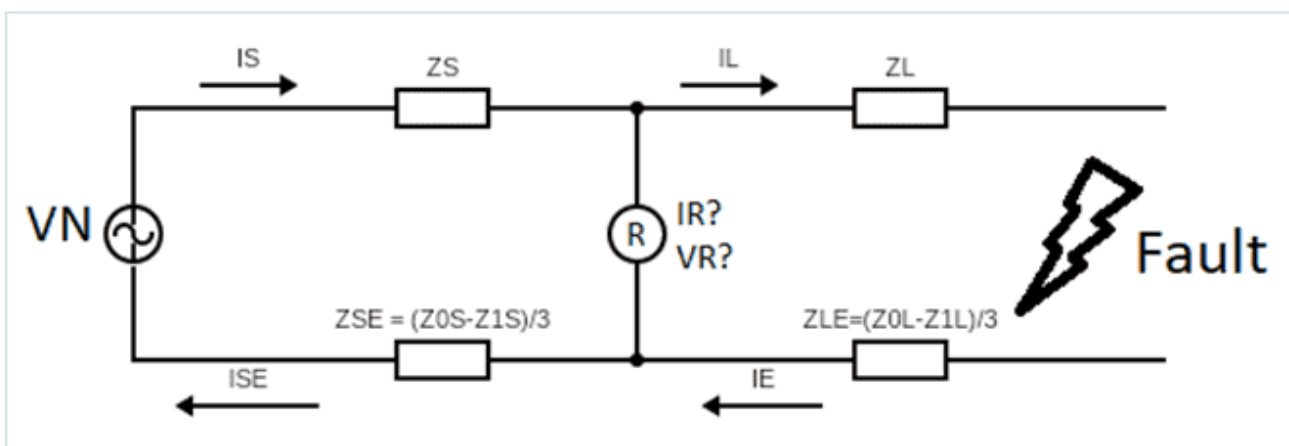
تصویر 13

در روش Constant Source Impedance جریان و ولتاژ خط طبق قانون کیرشهف به صورت زیر بدست می‌آیند:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{1N}}{(1+K_S)Z_S + (1+K_L)Z_{test}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 (1+K_L)Z_{test} \\ V_{2N} - i_1 K_S Z_S \\ V_{3N} - i_1 K_S Z_S \end{bmatrix}$$

تصویر 14

اثبات محاسبات در روش Constant Source Impedance:



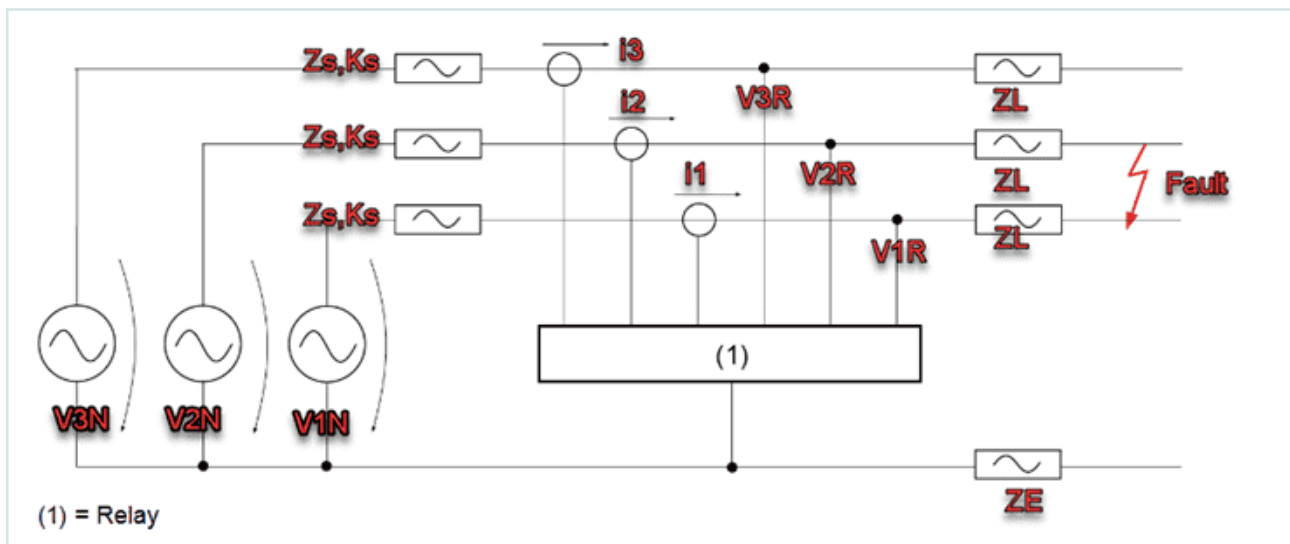
تصویر 15

$$\begin{aligned} R_1 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_2 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_3 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_4 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_5 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_6 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_7 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_8 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_9 &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \\ R_{10} &= Z_{0S} + Z_{1S} + Z_{0L} + Z_{1L} - Z_{0S} - Z_{1S} - Z_{0L} - Z_{1L} = 0 \end{aligned}$$

تصویر 16

خطای دوفاز

شکل زیر مدار معادل یک خطای دو فاز را نشان می‌دهد. برای محاسبه جریان و ولتاژ فازهای خطا و فاز سالم روش‌های جریان ثابت، ولتاژ ثابت و امپدانس منبع ثابت وجود دارد که محاسبات هرکدام به طور جداگانه ارائه می‌شود.



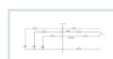
تصویر 17

در روش Z-I constant جریان خطا برای همه نقاط تست ثابت و در دو فاز خطا یکسان است ولی با یکدیگر 180 درجه اختلاف فاز دارند، در نتیجه جریان و ولتاژ در فازهای خطا به صورت زیر هستند:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\text{test}} \angle \varphi_{(V_{1N} - V_{2N})} - \varphi_{Z_{\text{fault}}} \\ i_1 * 1 \angle 180^\circ \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{\text{test}} i_1 - \frac{V_{3N}}{2} \\ Z_{\text{test}} i_2 - \frac{V_{3N}}{2} \\ V_{3N} \end{bmatrix}$$

تصویر 18

اثبات محاسبات در روش Z-I constant:



تصویر 19

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{array}{l} V_{1N} = Z_S I_S + V_{R1N} \\ V_{2N} = -Z_S I_S + V_{R2N} \\ V_{3N} = V_{R3N} \end{array} \right\} \xrightarrow{SUM} V_{R1N} + V_{R2N} + V_{R3N} = 0 \\
 & \xrightarrow{Also} V_{R1N} - V_{R2N} = 2Z_L I_L \quad [1] \xrightarrow{Sum} 2V_{R1N} + V_{R3N} = 2Z_L I_L \\
 & \Rightarrow V_{R1N} = Z_L I_L - \frac{V_{R3N}}{2} \quad [2] \\
 & [1] \Rightarrow V_{R2N} = V_{R1N} - 2Z_L I_L \xrightarrow{[1][2]} V_{R2N} = Z_L I_L - \frac{V_{R3N}}{2} - 2Z_L I_L \\
 & \Rightarrow V_{R2N} = \overset{\text{Negative}}{-Z_L I_L} - \frac{V_{R3N}}{2} \Rightarrow V_{R2N} = Z_L I_L - \frac{V_{R3N}}{2}
 \end{aligned}$$

تصویر 20

در روش Z-V constant ولتاژ خطا برای همه نقاط تست برابر با ولتاژ خط دو فاز خطا می‌باشد ($V_{test} = V_{1N} - V_{2N}$). با داشتن امپدانس خطا، جریان و ولتاژ خط از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{test}}{2 \cdot |Z_{test}|} \angle \varphi_{(V_{1N} - V_{2N})} - \varphi_{Z_{test}} \\ i_1 * 1 \angle 180^\circ \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{test} i_1 - \frac{V_{3N}}{2} \\ Z_{test} i_2 - \frac{V_{3N}}{2} \\ V_{3N} \end{bmatrix}$$

تصویر 21

مثال: فرض کنید در FAULT TYPE L1-L2 امپدانس 1 اهم با زاویه صفر برای تست مد نظر است. به دلیل آنکه در این FAULT TYPE زاویه بین ولتاژ خط به خط و جریان متناظر با آن، امپدانس با زاویه مد نظر را می‌سازد، بنابراین زاویه VL1L2 صفر در نظر گرفته شده و زاویه سایر ولتاژها و جریان‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند

PreFault:

$$\begin{array}{lll}
 V_{L1L2} = 110 \angle 0 & , & V_{L1E} = 63.51 \angle -30 & , & I_{L1} = I_{load} \angle 0 \\
 V_{L2L3} = 110 \angle -120 & , & V_{L2E} = 63.51 \angle -150 & , & I_{L2} = I_{load} \angle -120 \\
 V_{L3L1} = 110 \angle 120 & , & V_{L3E} = 63.51 \angle 90 & , & I_{L3} = I_{load} \angle 120
 \end{array}$$

Fault(L1-L2):

$$\begin{array}{l}
 V_{L1L2} = V_{test} \angle 0 \\
 V_{L3E} = 63.51 \angle 90 \\
 \rightarrow V_{L1E} - V_{L2E} = V_{test} \angle 0 \xrightarrow{\text{Sum}} 2 * V_{L1E} = 50 \angle 0 - 63.51 \angle 90 \rightarrow V_{L1E} = 40.41 \angle -51.79, V_{L2E} = 40.41 \angle -128.21 \\
 \rightarrow V_{L1E} + V_{L2E} = -V_{L3E}
 \end{array}$$

تصویر 22

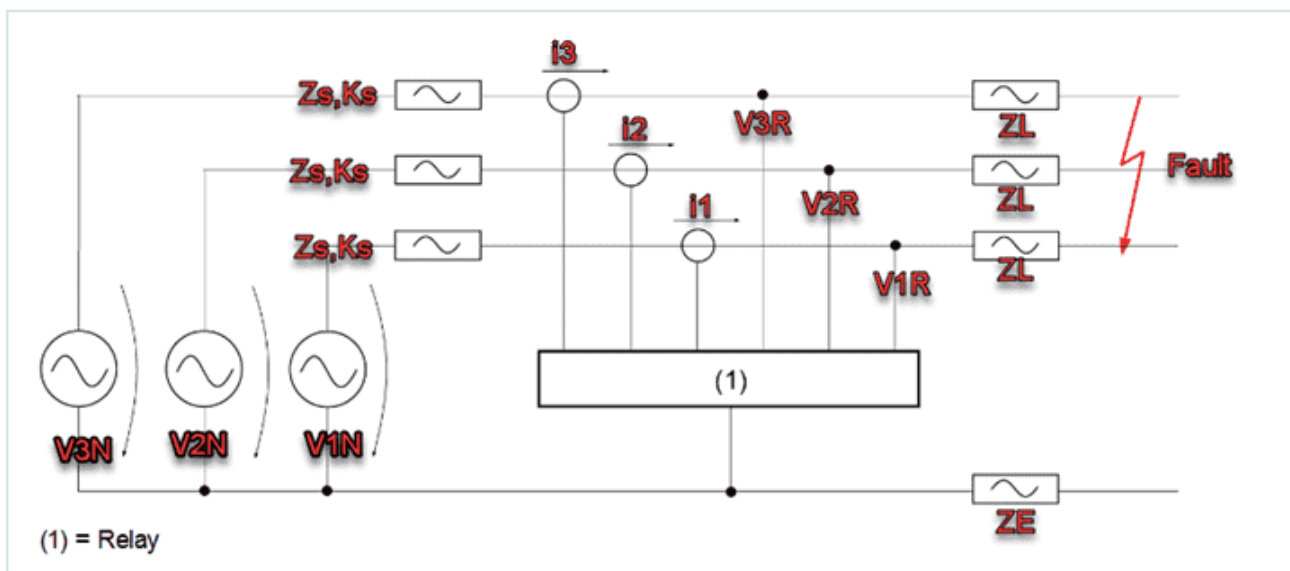
در روش Constant Source Impedance جریان و ولتاژ خط طبق قانون کیرشهف به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{1N} - V_{2N}}{2(Z_s + Z_{test})} \\ -i_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{1N} - i_1 Z_s \\ V_{2N} + i_1 Z_s \\ V_{3N} \end{bmatrix}$$

تصویر 23

خطای سه فاز

شکل زیر مدار معادل یک خطای سه فاز متقارن را نشان می‌دهد. برای محاسبه جریان و ولتاژ فازهای خطا روش‌های جریان ثابت، ولتاژ ثابت و امپدانس منبع ثابت وجود دارد که محاسبات هرکدام به طور جداگانه ارائه می‌شود.



تصویر 24

در روش Z-I constant جریان خطا برای همه نقاط تست ثابت در نظر گرفته می‌شود و با داشتن امپدانس خطا، ولتاژ خطا برای هر سه فاز محاسبه می‌شود.

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{test} \angle \phi_{V_{1N}} - \phi_{Z_L} \\ I_{test} \angle \phi_{V_{2N}} - \phi_{Z_L} \\ I_{test} \angle \phi_{V_{3N}} - \phi_{Z_L} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{test} \cdot |Z_L| \angle \phi_{V_{1N}} \\ I_{test} \cdot |Z_L| \angle \phi_{V_{2N}} \\ I_{test} \cdot |Z_L| \angle \phi_{V_{3N}} \end{bmatrix}$$

تصویر 25

در روش Z-V Constant ولتاژ خطا (Vtest= ولتاژ فاز به زمین) برای همه نقاط تست ثابت در نظر گرفته می‌شود و با داشتن امپدانس خطا، جریان خطا برای هر سه فاز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{test} \angle \phi_{V_{1N}} \\ V_{test} \angle \phi_{V_{2N}} \\ V_{test} \angle \phi_{V_{3N}} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{test}}{|Z_L|} \angle \phi_{V_{1N}} - \phi_{Z_L} \\ \frac{V_{test}}{|Z_L|} \angle \phi_{V_{2N}} - \phi_{Z_L} \\ \frac{V_{test}}{|Z_L|} \angle \phi_{V_{3N}} - \phi_{Z_L} \end{bmatrix}$$

تصویر 26

در روش Constant Source Impedance هم با در نظر گرفتن امپدانس منبع در مدار معادل، ولتاژ و جریان رله به صورت زیر به دست می‌آید

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{1N}}{Z_S + Z_{test}} \\ \frac{V_{2N}}{Z_S + Z_{test}} \\ \frac{V_{3N}}{Z_S + Z_{test}} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} V_{1R} \\ V_{2R} \\ V_{3R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_{1N} \cdot Z_{test}}{Z_S + Z_{test}} \\ \frac{V_{2N} \cdot Z_{test}}{Z_S + Z_{test}} \\ \frac{V_{3N} \cdot Z_{test}}{Z_S + Z_{test}} \end{bmatrix}$$

تصویر 27

Distance_Protection_Voltage_and_Current_Calculations_in_the_Test_Room[jg1]