

光缆架空地线线路短路 电流分布的计算

华中工学院 陈金明

一、前言

目前,电力系统之间的通信普遍采取利用电力传输线路本身来进行复合传递信号的方法。从使用效果看,这种通信方式受外界影响及高压传输系统本身的影响较大。例如线路电晕干扰,系统短路时引起的强电磁干扰以及附近强电台的电磁波干扰等等,且通信容量有限;在系统两接收端还必须要有完善的高低电压隔离装置,以保证通信设备及人身安全。

在电力系统中应用光缆通信方式可以解决上述问题。目前,在国外新建电力系统中有普遍采用这种通信方式的趋势。光缆通信具有容量大,不受电磁波的干扰,节省昂贵的有色金属等优点,由于光缆重量轻,将光缆加工在钢铝合金混绞线内,借助于架空线路本身进行复合传输,则有其更突出的优越性^[1]。

由于光缆架空地线(Composite Fibres Optic Overhead Ground Wire,简称OPGW)的光缆安装在架空地线内部,而地线是作防雷作用的,当雷击架空地线引起电力系统的短路故障或电力系统本身发生短路故障时,短路电流将流过OPGW,使线路产生急剧的温升变化,这将会影响光缆的使用性能,严重时可能引起OPGW中光缆的损坏。本文试图解决以上短路电流的分布问题,以对线路的架设和OPGW线的选择提供理论上的依据。

二、计算模型

过去短路电流分布的计算,一般地针对雷冲击波,由于其频率较高,只计算雷击点杆塔的接地电阻及导线的自电感,而忽略了其它杆塔的接地电阻、导线间互感和导线的电阻^[2]。

对工频短路电流分布的计算,甚至完全忽略杆塔的接地电阻^[3]。实际上由于短路电流较大,以上诸因素造成了较大的计算误差,而不得不用增加系数进行修正的办法。

本文从电路的观点出发建立了较全面的计算模型。

1.如果以两杆塔之间作为一链形计算环节,则实际OPGW线路的计算模型如图1所示。

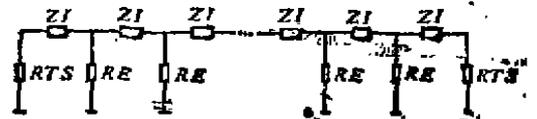


图1 OPGW线等效链形计算网络

图中RTS为变电所接地电阻, $Z_L(i)$ 为第*i*号杆塔与第*i*-1号杆塔间的等效阻抗,一般有 $Z_L(i) = C \cong ZI$,RE为杆塔接地电阻。

2.当考虑两避雷线间互感时,图中每一链形环节的具体等效情况见图2。

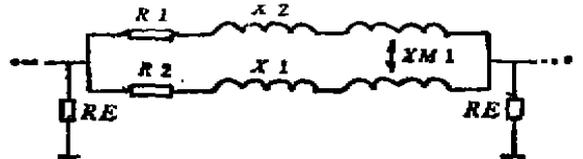


图2 每一链形环节的等效电路

图中 Z_{R1} 、 Z_{R2} 为两根避雷线一链节内的交流电阻(包含大地等效电阻), Z_{X1} 、 Z_{X2} 为两根避雷线一链节内的自感抗, Z_M 为两根避雷线一链节内互感的等效感抗。

图2中,每一环节的两并联部分为考虑到超高压输电线路有两根避雷线的情况。实际上,由于一般两根避雷线半径相同,即存在关系 $Z_{X1} = Z_{X2}$,为了使短路电流分配对OPGW有利,两根避雷线单位长度的电阻是不一样

的, 即有 $Z_{R1} \approx Z_{R1'}$

3. 若分别考虑避雷线阻抗和大地等效阻抗作用以及避雷线的镜像作用, 则图 2 电路可等效为图 3(a)。

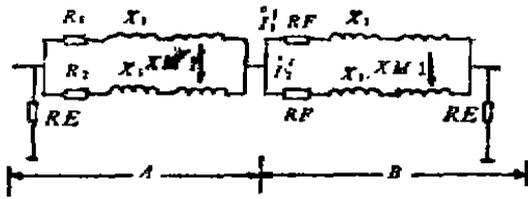


图 3(a) 考虑大地及其镜像作用时每一环节的等效电路

图中 R_F 为大地等效电阻, 约为 $0.05 \Omega/\text{km}$ 、 Z_{R1} 、 Z_{R2} 为避雷线自电阻 (不包含大地等效电阻), 其它参数与图 2 相同。图中 B 段为大地及其镜像作用。由于两避雷线镜像参数相同, 故有 $\dot{I}_1 = \dot{I}_1'$, 因此图 3(a) 所示等效电路可等效为图 3(b)。

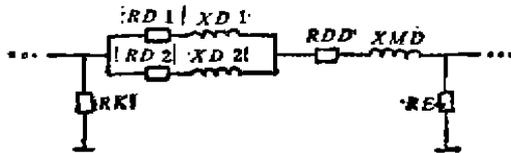


图 3(b) 图 3(a) 的等效电路

4. 当系统产生短路时, 短路相短路电流很大, 必须考虑短路相对 OPGW 线的感应作用。此时, 因短路相沿线电流相同, 故可把短路相的感应作用作为一电源作用在两根避雷线形成的回路上。由于短路相对两根避雷线的感应作用不同, 在两根避雷线间将产生一环形电流。

假定总短路电流为 \dot{I}_s , 则实际上最后应用到计算沿线电流分布每一链形环节的等效电路模型如图 4。

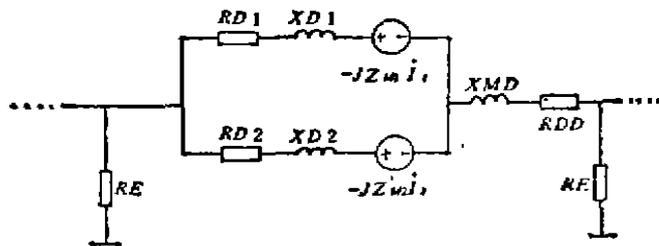


图 4 实际计算模型的一个链节

三、模型参数

如图 5 所示, 含 OPGW 线的电力传输线路参数由下列各式计算: [4]

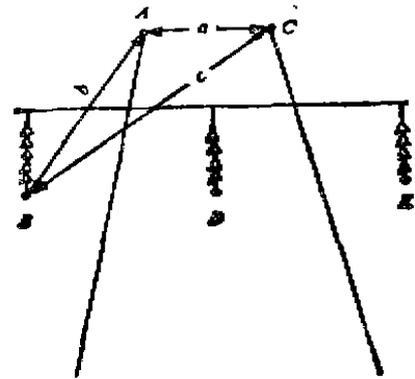


图 5 线路参数

避雷线自感抗:

$$Z_x = 2 \times 10^{-4} \omega \ln(D_s / r') \quad \Omega/\text{km}$$

互感抗:

$$Z_m = 2 \times 10^{-4} \omega \ln(D_s / D) \quad \Omega/\text{km}$$

其中 D_s 为等值镜像深度, 一般取 $1000 \text{ m}^{[4]}$, r' 为 OPGW 线及另一避雷线的等效半径, $r' = 0.95 r_{\text{外}}$, b 为两互感导线间的距离。

对我国目前正准备架设的塔-风 500kV 线含 OPGW 的电力传输线路, 其全长 24km, 共 90 基杆塔, 其中单回线塔 52 基, 其余为双回线塔。单回线侧和双回线侧杆塔之间的间距不一样, 即链形等效模型中各级参数是不一样的。

杆塔接地电阻 $R_B = 10 \Omega$, 变电所接地电阻 $R_{\text{gs}} = 0.12 \Omega$, OPGW 线直流电阻 $1 \Omega/\text{km}$, 交流电阻 $1.2 \Omega/\text{km}$, 另一避雷线交流电阻 $0.5 \Omega/\text{km}$ 。

四、计算结果分析以及各参数影响

1. 由于两根避雷线参数不一样, 流过两根避雷线的电流是不一样的。为了减少 OPGW 的负担, 应尽可能增大两根避雷线阻抗的差值。

当短路发生在变电所附近时, 通过 OPGW 的短路电流较大。这是由于变电所接地电阻较

小, 一般 $R_{Ts} \leq 0.5 \Omega$ 。故当短路发生在变电所附近时, 靠近变电所一侧的等效电阻较小, 而从短路点向另一侧看的等效电阻相对较大, 使靠近变电所这一侧电流较大。以珞—凤线为例, 当短路发生在紧靠变电所的1号杆塔时, 流过OPGW的电流可达总短路电流的27%, 而另一侧流过OPGW的电流仅为短路电流的7%。流过OPGW的最大电流随雷击点的变化情况如图6所示。

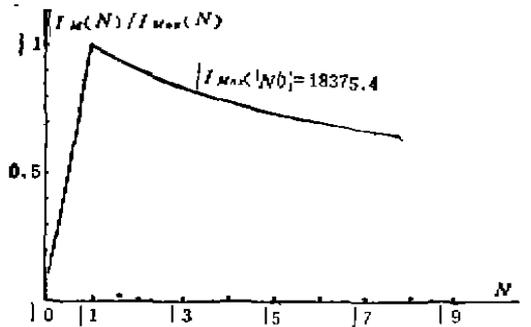


图6 OPGW线最大电流随短路的变化情况

2. 当系统发生接地短路时, 与短路点相连接的OPGW两侧流过的电流最大, 在以后各级线路杆塔起一定的分流作用。

短路电流在靠近短路点处下降很快以后, 逐步变得缓和。这是因为在如图1示链形环节中, 当链节数大于20时, 以后各级相对于一侧的等效阻抗变化很小 ($< 0.1\%$)。实际上使各级杆塔的分流与流过避雷线的短路电流成一定的比例关系, 而在短路点附近流过避雷线的短路电流很大, 电流衰减较快, 随后逐步变慢。同理, 各杆塔上电压的变化也呈指数下降趋势。具体情况见图7(a)和(b)。

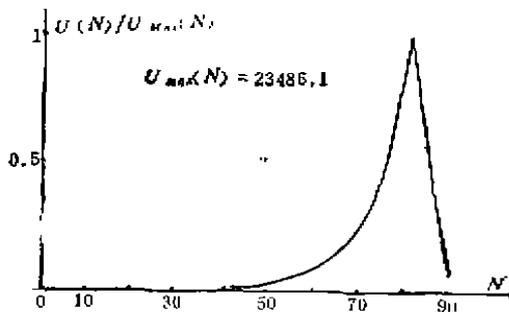


图7(a) 短路时各杆塔上电压分布情况

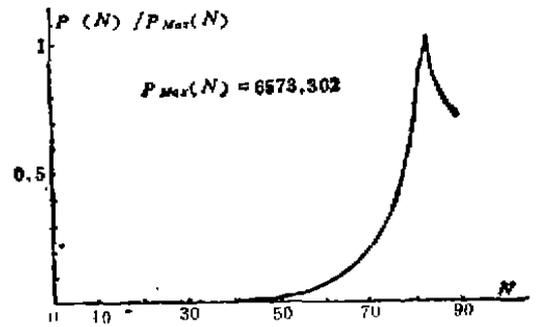


图7(b) 短路时OPGW线上电流分布情况

当短路产生在离变电所6档以上时, 流过OPGW的短路电流与总短路电流的比值小于20%。

在引进珞—凤线OPGW线路时, 日本方面为设计单位提供了以下的分流参考计算方法: 按避雷线电阻或按避雷线感抗计算OPGW线的实际分流。以珞—凤线为例, 由于两避雷线外径相同, 如按感抗分流计算, 则两根避雷线的分流应该相同, 这是不正确的。若按电阻分配, 则流过OPGW的电流与两根避雷线总电流之比为:

$$I^* = I_{OP} / I_T = 0.5 / (0.5 + 1.2) = 0.2941$$

式中 I_{OP} 为流过OPGW的电流, I_T 为流过避雷线的总电流。但由于感抗的存在, 使这一比值变为:

$$I^* = \frac{\sqrt{Z_{R1}^2 + Z_{X1}^2}}{\sqrt{(Z_{R1} + Z_{R2})^2 + (Z_{X1} + Z_{X2})^2}} = 0.3140$$

可见, 由于线路电抗的存在, 使分流对OPGW要不利一些。

实际线路模型仅考虑线路电阻和自电抗作用还是远不够的, 从以下的计算可知, 线路之间的互感对短路电流的分配也起着极大的作用。如图3(b)考虑两避雷线互感时, 以上电流比值变为:

$$I^* = I_{OP} / I_T = \frac{\sqrt{Z_{R1}^2 + (Z_{X1} - Z_M)^2 / 2}}{\sqrt{(Z_{R1} + Z_{R2})^2 + (Z_{X1} - Z_M)^2}} = 0.2971$$

故避雷线间互感的存在实际上使电流分配

(下转第9页)

表 3 计算结果对比表 (导线为LGJ-240型)

方 法	断界长度		100				200		400	
			覆冰		最高气温		最高气温		最高气温	
	l_{L_1} (m)	l_{L_2} (m)	σ (MPa)	f (m)						
原资料	140.37	272.82	83.3	0.92	37.3	1.2	61.4	3.48	58.2	12.23
有限元法	140.187	274.41	83.3	0.928	37	1.205	61.5	3.487	58.3	12.25

表 4 计算结果表

方 法	悬挂点偏移 (m)			档距变化量 (m)			各档应力 (MPa)			各档张力 (kN)			张力差 (kN)		
	δ_1	δ_2	δ_3	Δl_1	Δl_2	Δl_3	σ_1	σ_2	σ_3	T_1	T_2	T_3	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3
原资料	3	1.15	0.52	-1.85	-0.63	-0.52	20.85	27.49	29.78	3.64	4.8	5.2	3.64	1.16	0.4
有限元法	3.4	1.126	0.51	-1.28	-0.616	-0.51	18.8	28.1	31.2	3.425	4.9	5.44	3.42	1.47	0.54

参 考 文 献

[1] 谢贻权、何福保, 弹性和塑性力学中的有限单元法, 机械工业出版社, 1982.

[2] 龙取球, 有限元法概论, 人民教育出版社, 1978.
 [3] 周振山, 高压架空送电线路机械计算, 水利电力出版社, 1984.
 [4] 刘北辰、张 瑜, 大变形柔索的有限元理论及索道桥计算, 昆明工学院, 1979.

(上接第17页)

有利于OPGW线路。这是由于互感的作用相当于减小了避雷线本身的自阻抗, 使两避雷线的阻抗差值拉大(见图3(a)、(b)中的等效过程)。

短路相电流对避雷线的感应作用会使得短路电流分配有利于OPGW还是不利于OPGW线, 决定于短路产生的位置。由于短路相离OPGW较远, 尽管短路电流较大, 实际其感应作用对流过OPGW电流的影响是很小的($< 2\%$)。

另外, 大地镜像作用也会影响电流的分配, 不过其影响很小。以上两项之和对流过OPGW的电流影响小于3%。

五、结 论

从以上的计算和对各因素影响的分析, 可以得出如下结论:

1. 以前的各种计算模型, 由于其忽略因素较多, 实际计算是很难满足系统要求的。而本文所建立的模型, 其考虑因素比较全面, 故能

正确地反映系统短路电流的分布情况。

2. 在影响短路电流分布的各项因素中, 除线路本身自电阻和自电感外, 互感是影响短路电流分布的最主要因素。实际上互感的作用减少了流过OPGW的短路电流。同时短路相和大地镜像作用对实际流过OPGW线的短路电流影响较小, 计算时可以忽略这两项因素。

3. 在设计OPGW线路时, 应特别注意当短路发生在变电所两端时的情况, 必要时可考虑在两端变电所加上保护措施。

4. 变电所接地电阻小, 对OPGW线不利。

参 考 文 献

[1] 李顺, 复合于输电线路架空地线的光纤通信在电力系统中的应用与开发, 电力技术, 第2期, 1987.
 [2] 武汉水利电力学院编, 过电压及保护, 水利电力出版社, 1977.
 [3] 何仰赞等编, 电力系统分析, 华中工学院出版社, 1985.
 [4] [苏]H.A.米里尼科夫等著, 湖北省高压协作组、华东电力设计院系统室译, 《高电压工程》, 水利电力出版社, 1977.

11-203