

前 言

本标准推荐了高压架空线路的无线电干扰计算方法。

本标准附录 A 和附录 B 为提示的附录。

本标准由中华人民共和国国家电力公司提出。

本标准由全国电力线、高压设备和电力牵引系统的无线电干扰标准化分技术委员会归口。

本标准负责起草单位：国家电力公司武汉高压研究所。

本标准主要起草人：邬雄、万保权、蒋虹。

中华人民共和国电力行业标准

高压架空送电线路无线电干扰计算方法

DL/T 691—1999

Methods of calculation of radio interference from
high voltage overhead power transmission lines

1 范围

本标准推荐了预测高压架空送电线路的无线电干扰及其频谱的计算方法。

本标准推荐的无线电干扰计算方法适用于计算电压等级为 500 kV 及以下正常运行的高压架空送电线路的无线电干扰场强。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 4365—1995 电磁兼容术语(idt IEC 60050-161:1990)

GB 15707—1995 高压交流架空送电线路无线电干扰限值

3 术语

本标准使用的名词术语符合 GB/T 4365 和 GB 15707 的规定。

4 交流线路的无线电干扰计算

4.1 单相导线的无线电干扰场强的计算公式

$$E = 3.5 g_{\max} + 12 r - 30 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: E ——距导线直接距离 20 m 并离地 2 m 处的无线电干扰场强, dB(μ V/m);

g_{\max} ——子导线最大表面电位梯度有效值, kV/cm (g_{\max} 的范围为 12 kV/cm ~ 20 kV/cm);

r ——子导线半径, cm。

4.2 三相单回路送电线路的无线电干扰场强的计算公式

$$E_i = 3.5 g_{\max i} + 12 r_i - 33 \lg \frac{D_i}{20} - 30$$

$$D_i = \sqrt{x_i^2 + (h_i - 2)^2} \quad i = 1, 2, 3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: E_i ——距第 i 相导线直接距离 D_i 处的无线电干扰场强, dB(μ V/m);

$g_{\max i}$ ——第 i 相导线最大表面电位梯度, kV/cm;

D_i ——第 i 相导线到参考点 P (离地面 2 m 高) 处的直接距离 (如图 1 所示), m;

h_i ——第 i 相导线的对地高度 (通常为弧垂最低点的高度), m;

r_i ——第 i 相导线子导线半径, cm;

x_i —— P 点到第 i 相导线的投影距离, m。

中华人民共和国国家经济贸易委员会 2000-02-24 批准

2000-07-01 实施

三相线路的无线电干扰场强按下列方法计算：如果某一相的场强比其余两相至少大 3 dB，那么后者可以忽略，三相线路的无线电干扰场强可认为等于最大的一相的场强；否则有下式：

$$E = \frac{E_a + E_b}{2} + 1.5 \quad \dots\dots(3)$$

式中：\$E_a\$、\$E_b\$——指三相中两相比较大的场强值，dB(\$\mu\$V/m)。

4.3 同杆双回路送电线路的无线电干扰场强的计算公式

对于同杆双回路线路，六根导线中每根导线产生的无线电干扰场强可按式(2)进行计算，并将同名相导线产生的场强几何相加。

$$E_i = 20 \lg \left[\sqrt{\left(10^{\frac{E_i'}{20}} \right)^2 + \left(10^{\frac{E_i''}{20}} \right)^2} \right] \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：\$E_i'\$——第一回的第 \$i\$ 相导线在参考点处的干扰场强，dB(\$\mu\$V/m)；

\$E_i''\$——第二回的第 \$i\$ 相导线在参考点处的干扰场强，dB(\$\mu\$V/m)；

\$E_i\$——两回第 \$i\$ 相导线在参考点处的干扰合成场强，dB(\$\mu\$V/m)。

然后按 4.2 的方法计算得出同杆双回路线路的无线电干扰场强。

4.4 计算结果说明

本计算结果代表了好天气时，频率为 0.5 MHz 的无线电干扰场强平均值。该平均值增加 6 dB~10 dB 后可代表符合双 80% 原则的值。

5 直流线路的无线电干扰计算

5.1 计算公式

对于双极直流送电线路，推荐采用式(5)来计算无线电干扰场强。

$$E = 38 + 1.6(g_{\max} - 24) + 46 \lg r + 5 \lg n + 33 \lg \frac{20}{D} \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中：\$E\$——距离 \$D\$ 处的无线电干扰场强，dB(\$\mu\$V/m)；

\$g_{\max}\$——导线最大表面电位梯度，kV/cm；

\$r\$——导线或子导线半径，cm；

\$n\$——分裂导线数；

\$D\$——参考点到最近导线的直接距离，m。

5.2 计算结果说明

本计算结果代表了好天气时，频率为 0.5 MHz 的无线电干扰场强的平均值。

6 送电线路无线电干扰频谱特性计算

以导线电晕为主的送电线路无线电干扰频谱，可由下式计算

$$\Delta E = 5[1 - 2(\lg 10f)^2] \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：\$f\$——无线电干扰频率，MHz；

\$\Delta E\$——相对于 0.5 MHz 频率处的无线电干扰电平的增量，dB。

该公式用于计算 0.15 MHz~4 MHz 频率范围内导线的无线电干扰频谱。

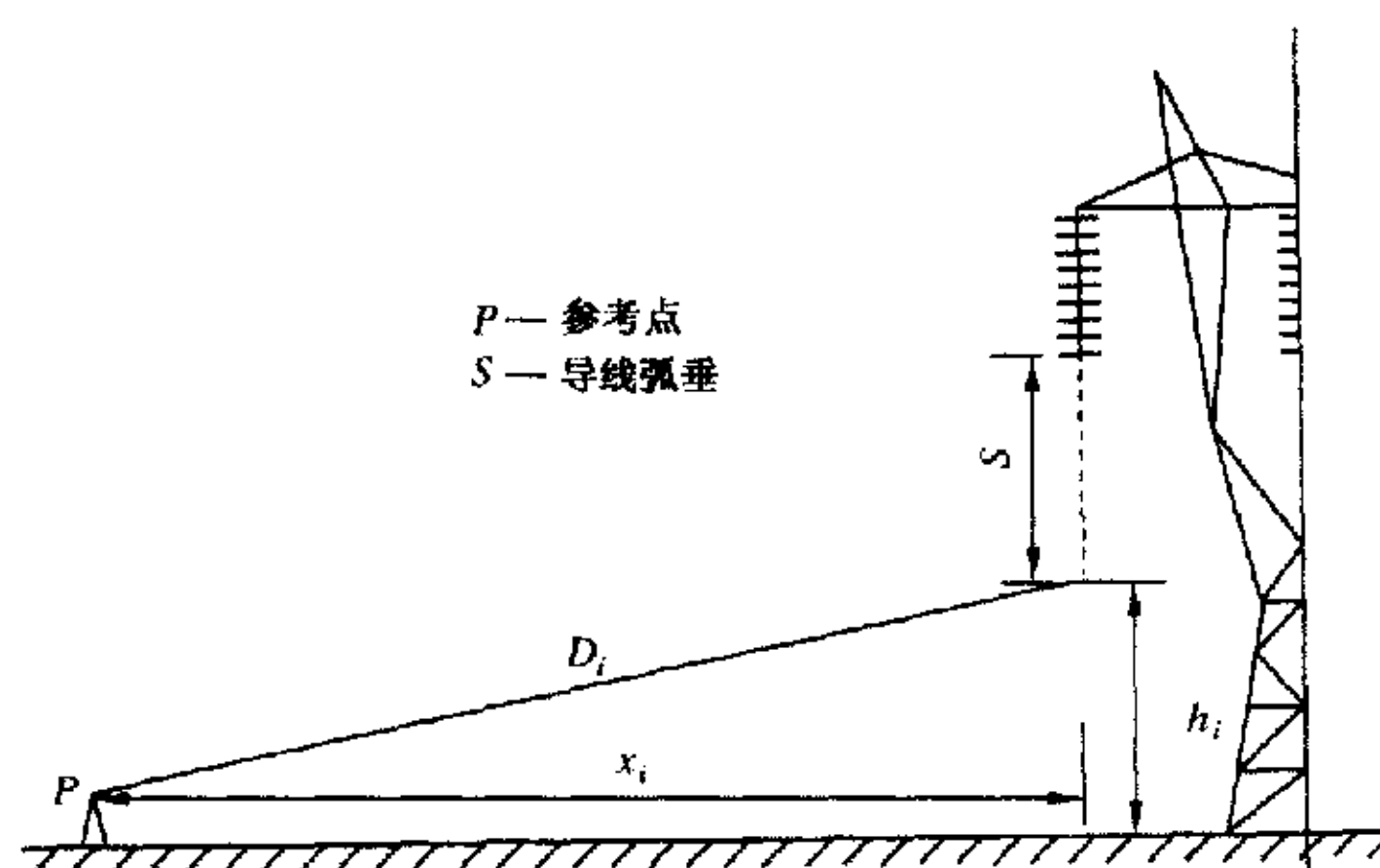


图 1 导线到测点的距离示意图

附录 A

(提示的附录)

送电线路无线电干扰计算举例

A1 导线表面电位梯度

采用镜像法计算导线表面电位梯度。线路导线电位系数矩阵 P 及电容矩阵 C 如下:

$$P = [p_{ij}] \quad C = [c_{ij}]$$

$$p_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{\Delta'_{ij}}{\Delta_{ij}}$$

$$p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_i}{r_{eq}}$$

$$r_{eq} = R \sqrt[n]{\frac{nr}{R}}$$

式中: r_{eq} ——等效半径, m;

R ——分裂导线的半径, m;

r ——子导线半径, cm;

n ——分裂导线根数;

ϵ_0 ——电介质常数, 为 $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 。

$$C = P^{-1}。$$

求得单位导线上的电荷

$$Q = [q_i]$$

$$Q = CU;$$

则对单回线路

$$U = \begin{bmatrix} V \\ \frac{-1 - \sqrt{3}i}{2} V \\ \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} V \end{bmatrix}$$

式中: U ——线路额定相电压(地线对地电压为零);

V ——线路额定相电压有效值。

对于三相对称排列

$$q_1 = q_3 = V \sqrt{[C_{11} - (C_{12} + C_{13})/2]^2 + 3/4(C_{12} - C_{13})^2}$$

$$q_2 = V(C_{22} - C_{23})$$

导线表面平均电位梯度 $g_{avr} = \frac{1}{n} \frac{q}{2\pi\epsilon_0\gamma}$, 单位为 kV/cm;

导线表面最大电位梯度 $g_{max} = g_{avr}[1 + (n-1)r/R]$, 单位同 g_{avr} , 其中 n 为分裂导线数。

A2 举例

对于 $4 \times \text{LGJQ-400}$ 的 500 kV 水平排列的线路, 其参数为:

子导线半径 $r: 0.01368 \text{ m}$

线路平均高度 $h_a = h_b = h_c = 18 \text{ m}$

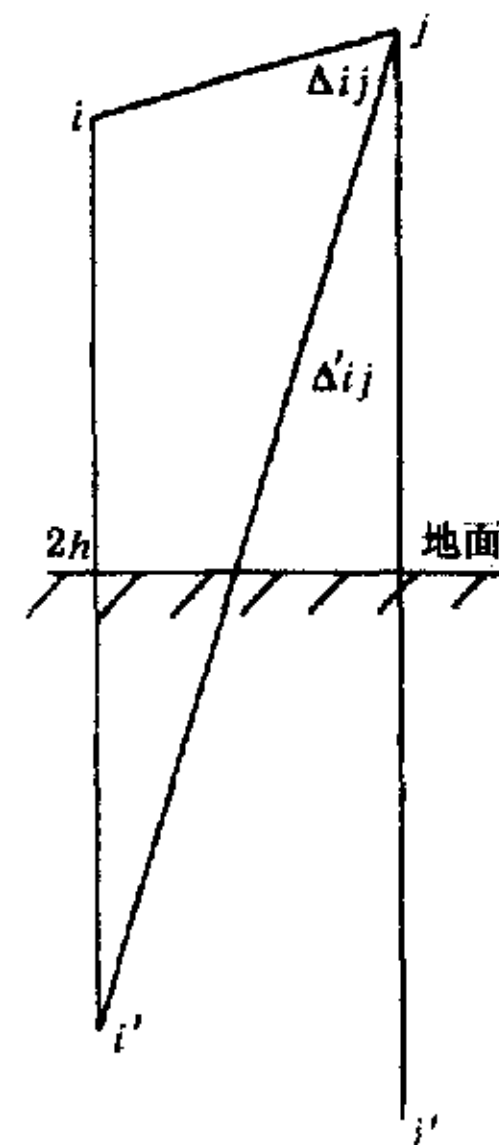


图 A1 导线计算参数

弧垂:14 m

相间距离:12 m

则导线对地高度为: $18 - 14 \times 2/3 = 8.6$ m

由计算可得: $g_{\max,a} = 15.23$ kV/cm

$$g_{\max,b} = 16.29 \text{ kV/cm}$$

$$g_{\max,c} = 15.23 \text{ kV/cm}$$

根据式(2)可计算距边相导线(a相)直接距离 20 m 处三相导线的无线电干扰场强为

$$E_a = 41.21 \text{ dB}$$

$$E_b = 37.27 \text{ dB}$$

$$E_c = 28.704 \text{ dB}$$

由于 E_a 与 E_b 且 E_a 与 E_c 的差值均大于 3 dB, 则该线路好天气时无线电干扰场强平均值为

$$E = E_a = 41.21 \text{ dB}$$

附录 B

(提示的附录)

多分裂导线的无线电干扰计算方法

多分裂导线(>4 分裂)的无线电干扰计算方法基于试验线路或电晕笼测量而得的激发函数, 主要用于计算特高压送电线在大雨条件下的无线电干扰。计算步骤如下:

- 1) 激发函数的计算及气象影响的修正;
- 2) 根据模传播原理计算干扰场强的分布。

B1 激发函数计算及气象修正

激发函数采用下式计算:

$$\Gamma_{\text{大雨}} = 70 - 585/g_{\max} + 35\lg(d) - 10\lg(n) \quad \dots\dots\dots(\text{B1})$$

式中: g_{\max} ——子导线最大表面电位梯度有效值, kV/cm;

d ——子导线直径, cm;

n ——分裂导线数。

根据大雨下的 Γ 值, 可以得到小雨和好天气以及 80% 值的激发函数:

$$\Gamma_{\text{小雨}} = \Gamma_{\text{大雨}} + \Delta_0 + \Delta_c \quad \dots\dots\dots(\text{B2})$$

$$\Gamma_{\text{好天气}} = \Gamma_{\text{小雨}} - 17$$

Δ_0 和 Δ_c 见图 B1, 80% 值的激发函数可由 $\Gamma_{\text{大雨}}$ 减去 10 dB~15 dB 而得。

B2 电晕电流的传播

$$[i_0] = [C][\Gamma]/2\pi\epsilon_0 \quad \dots\dots\dots(\text{B3})$$

其中 $[C]$ 为线路的电容矩阵, 第 1 相导线电晕时 $[\Gamma] = [\Gamma, 0, 0]^T$ 。通过模变换, 电晕电流转换成模电流

$$[i_{0m}] = [N]^{-1}[i_0], m = 1, 2, 3 \quad \dots\dots\dots(\text{B4})$$

$[N]$ 为模转换矩阵, $[N]^{-1}$, $[N] = 1$, 根据计算, 三相导线排列方式不同, $[N]$ 的元素有一定差别。

电流注入导线后, 由注入点向两边传播, 向参考点传播的电流为

$$[i_m(x)] = \frac{1}{2} \exp(L_m x) [i_{0m}] \quad \dots\dots\dots(\text{B5})$$

其中 $L_m = \alpha_m + j\beta_m$ 为传播常数, 由 $[B] = [Y][Z]$ 的特征值得到, $[Y]$ 和 $[Z]$ 分别为线路的并联导纳

矩阵和串联阻抗矩阵,把计算的模传播电流反变换成相电流

$$[i(x)] = [N][i_m(x)] \quad \dots\dots\dots (B6)$$

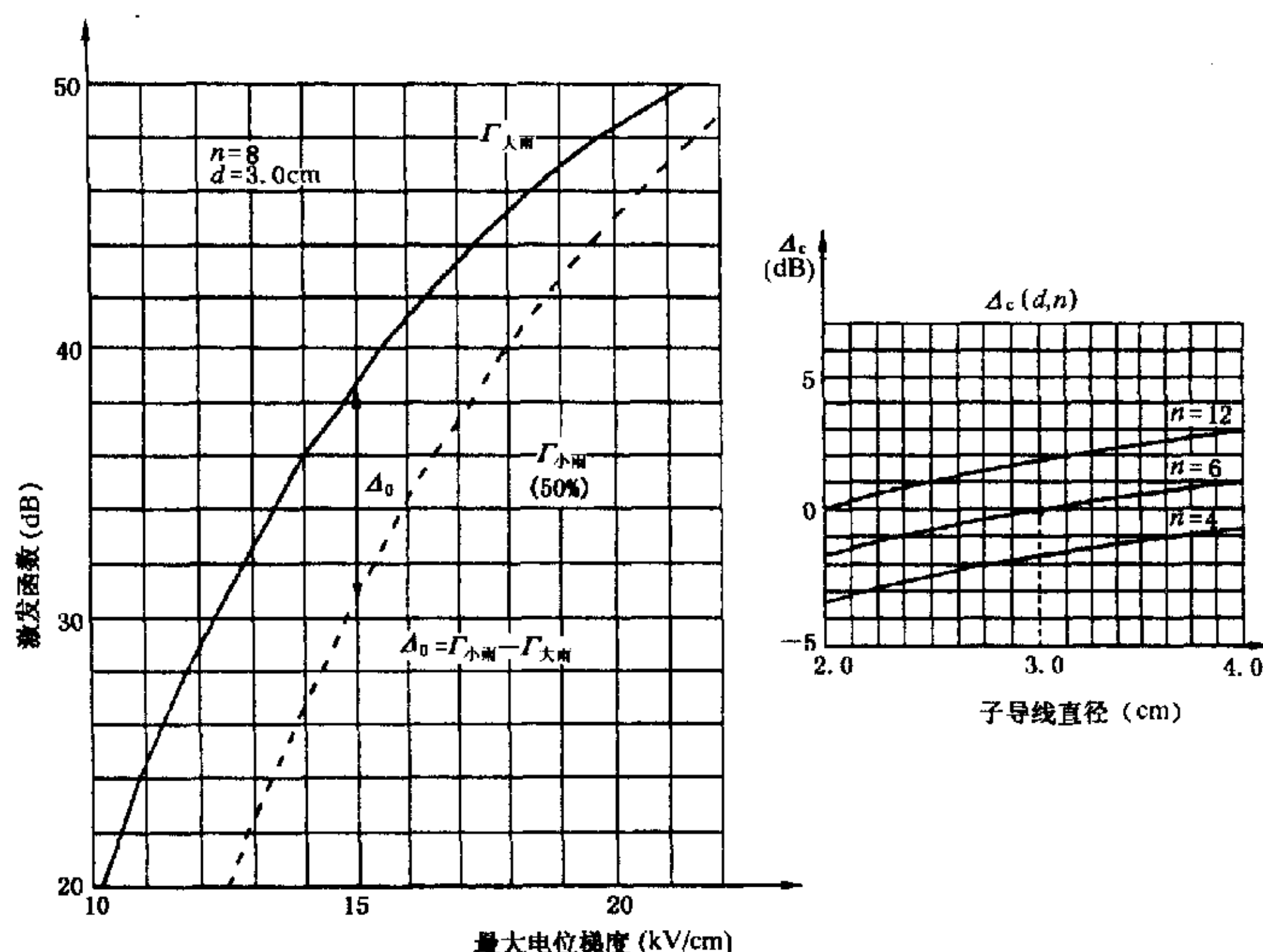


图 B1 以子导线直径为 3 cm 的 8 分裂导线为参考的 Δ_0 和 Δ_c

B3 干扰场强计算

载流导体周围存在磁场 H , 高频电场和磁场存在一定的关系, 磁场强度与电流的关系

$$H = (1/2\pi) \sqrt{(h - h_1)^2 + y^2}, h_1 \text{ 为天线高度}$$

$$E/H = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 120 \pi \quad \dots\dots\dots (B7)$$

所以地面上的载流导体对地投影距离 y 处产生的电磁场的电场分量为

$$E = 60 \left[\frac{h - h_1}{(h - h_1)^2 + y^2} + \frac{h + h_1 + 2P}{(h + h_1 + 2P)^2 + y^2} \right] \quad \dots\dots\dots (B8)$$

式中: P ——磁场穿透深度, $P = \sqrt{\rho/\pi\mu_0 f}$, m;

ρ ——土壤电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

第 1 相产生电晕时, $[\Gamma_1, 0, 0]^T$ 在三相导线中电流 $[i(x)]$ 产生的电磁场的电场分量计算如下:

$$\begin{aligned} E_1(x, y) &= 60 \sum i(x) F_j(y) \\ F_j(y) &= (Z_j - h_1) / [(Z_j - h_1)^2 + (y - y_j)^2] \\ &+ (Z_j + h_1 + 2P) / [(Z_j + h_1 + 2P)^2 + (y - y_j)^2] \quad \dots\dots\dots (B9) \end{aligned}$$

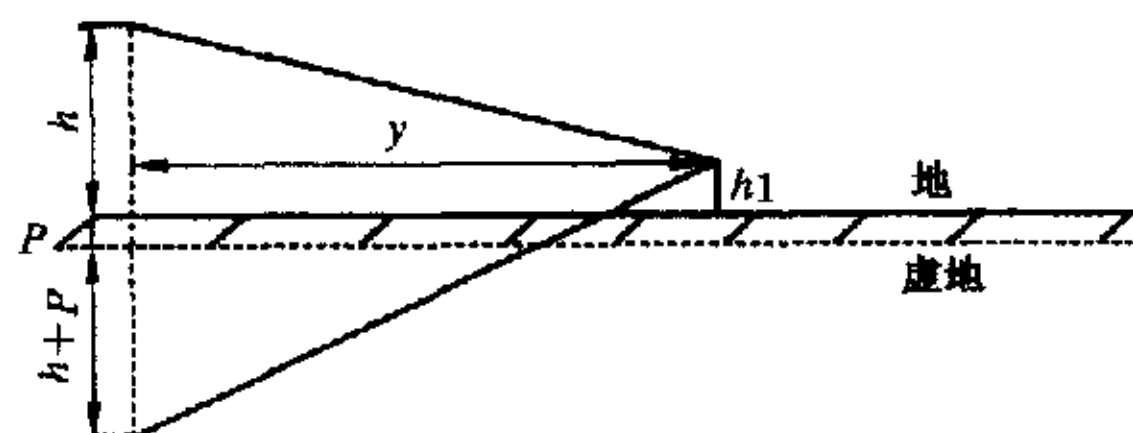


图 B2 测点与导线的位置图

其中 Z_j 为第 i 相导线对地高度。式(B9)的意义是第 i 相导线电晕在三相中产生电流在周围空间产生了相角相同的电磁场, 合场强为三个场强算术和。

假设整条导线均匀地产生电晕, 并注入电流, 则根据平均和规则求各注入电流累积后在参考点流过时产生的电磁场:

$$E_1(y) = \left[2 \int |E_1(x, y)|^2 dx \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (B10)$$

同样可以求出第 2、3 相导线产生电晕时的干扰场强,即把 $[0, \Gamma_2, 0]^T$ 、 $[0, 0, \Gamma_3]^T$ 分别按前述方法计算。三相导线的场强 $E_1(y)$ 、 $E_2(y)$ 、 $E_3(y)$ 按以下原则相加合成线路的干扰场强

当 $E_a(y) - E_b(y) \geq 3 \text{ dB}$ 时, $E(y) = E_a(y)$

否则 $E(y) = \frac{1}{2}[E_a(y) + E_b(y)] + 1.5$

其中 $E_a(y)$ 、 $E_b(y)$ 为两个较大的计算场强。