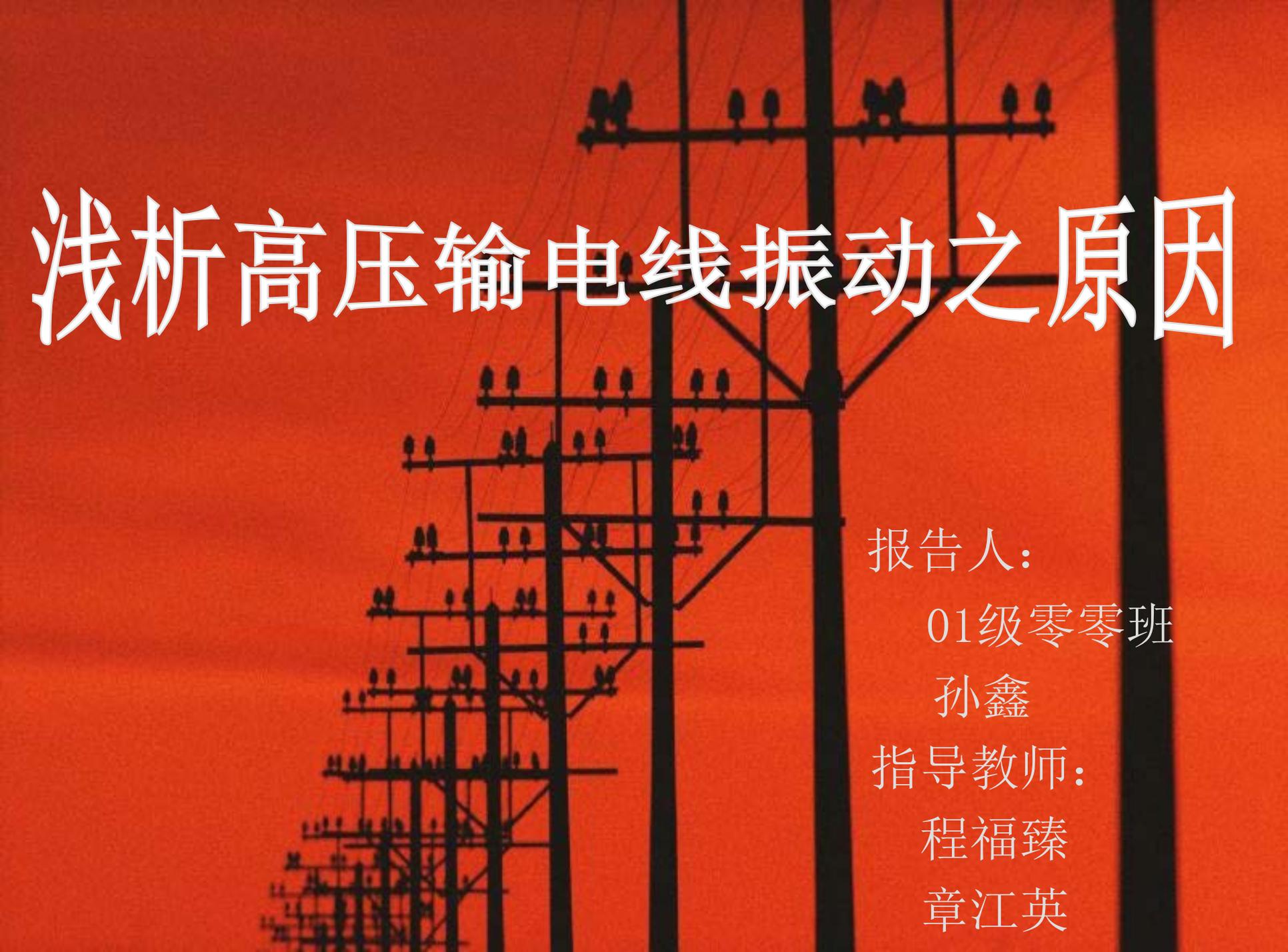


浅析高压输电线振动之原因

The background of the slide features a series of black silhouettes of high-voltage power line towers. The towers are arranged in a perspective that recedes from the foreground towards the background. Each tower has multiple horizontal cross-arms, and the lines between them are visible. The entire scene is set against a solid, vibrant red background.

报告人：

01级零零班

孙鑫

指导教师：

程福臻

章江英

引论

高压输电线常会发出嗡嗡的振动声。在寂静空旷的地方此现象较易被察觉。风引起的机械振动是可能的原因之一。电磁相互作用也可能导致这种振动的发生。下面就来探讨几类电磁作用对振动是否存在影响，及影响的大小（若存在的话）。

简介

本文从电磁相互作用角度分析了高压电线振动的原理，并给出了作用力的数学表达；接着以一种实际情形为例，具体算出了各力的大小；最后对所得结果进行了讨论。

- 一. 原理；
- 二. 实际应用；
- 三. 结论与讨论。

一. 原理

由于电流对电流，磁场对其中的电流，及静电场与静电场之间都存在着力的作用，故而高压输电线所受电磁力作用至少应包括：

- 1.两导线中电流相互作用力；
- 2.地磁场对导线的作用力；
- 3.两导线间的静电相互作用力。
- 这三种力均可作为振动的外界策动力。下面分别定量讨论之。



又因为两输电线之间距离远小于导线长，故可认为导线是无限长的。并设两导线间的距离为 d 。



1. 两导线中电流相互作用的安培力

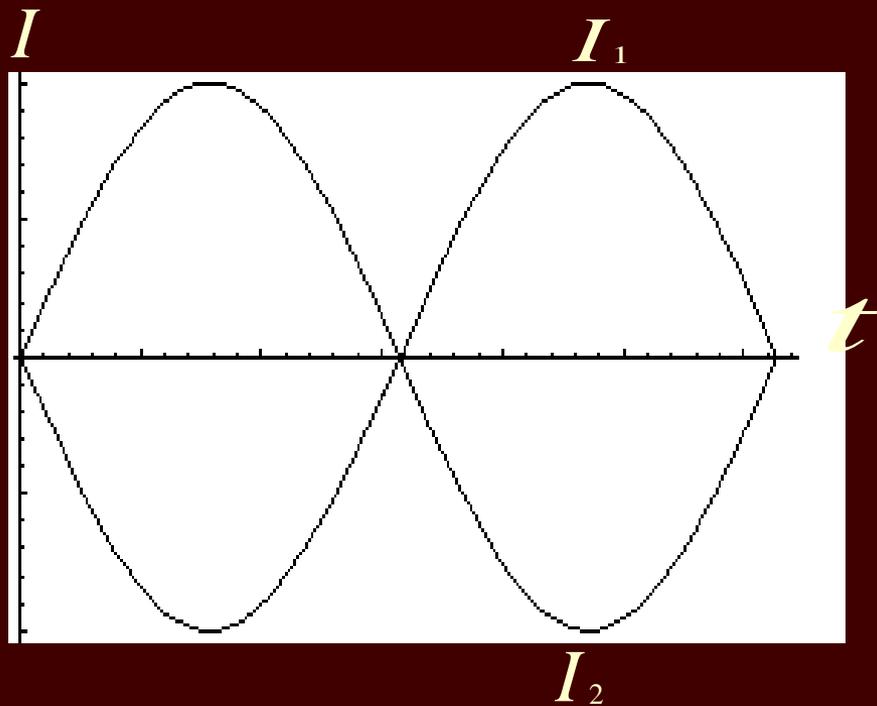
由静磁场的环路定理，得到一根导线在另一根处产生的磁感应强度为：

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

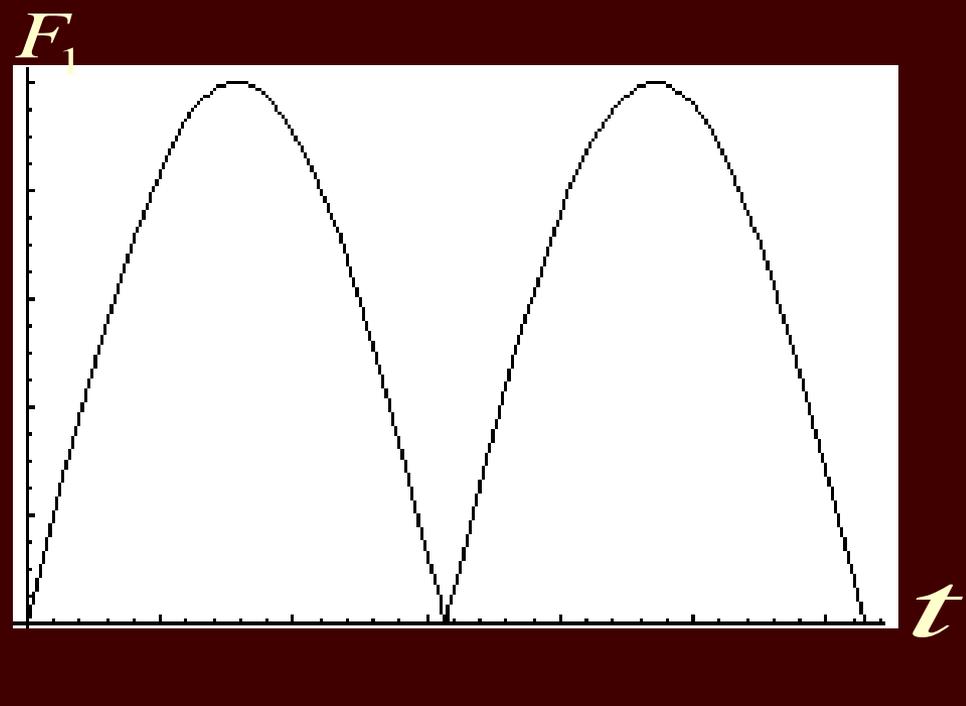
再由安培公式，可求出每一米导线所受的力为：

$$\mathbf{F}_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

F_1 的方向由电流是同向还是反向决定。同向为斥力，反向为引力。由于电流是交变的，每秒50个周期，有100个峰和谷，因此 F_1 有100次达到极大，即以100周的频率变化。



一周期电流变化



一周期 F_1 变化



2. 地磁场对载流导线作用力

由安培公式，求得每一米导线受到地磁场的力为：

$$F_2 = B I \sin \theta$$

式中 B 是地磁场磁感应强度， θ 为导线方向与地磁场方向的夹角。

F_2 的方向由左手定则决定。其大小、方向变化均与交变电流同步，均为每秒50周。



3. 两导线间的静电相互作用力

两导线间存在的高电压与分布电容会引起静电荷分布。作为简化模型，可设两导线每米带电为 $\pm Q$ ，则在距某根导线 x 处的电场强度为：

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 x} \hat{e}_x + \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 (d-x)} \hat{e}_x \\ &= \frac{Q}{2\pi \epsilon_0} \left[\frac{1}{x} + \frac{1}{d-x} \right] \hat{e}_x\end{aligned}$$

两导线之间由静电场引起的电势差为：

$$U_{12} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{Q}{\pi \epsilon_0} \ln \frac{d-a}{a}$$

式中 a 为导线半径。

故两导线间每米的电容为：

$$C = \frac{Q}{U_{12}} = \frac{\pi \epsilon_0 l}{\ln \frac{d}{a}}$$

故导线每米长度的带电量为：

$$Q = C U_{12} = \frac{\pi \varepsilon_0 U_{12}}{\ln \frac{d}{a}}$$

再由Gauss定理，即可求得每米长根导线所受静电力是：

$$\begin{aligned} F_3 &= Q \cdot E = Q \cdot \frac{Q}{2\pi \varepsilon_0 d} \\ &= \frac{\pi \varepsilon_0 U_{12}^2}{2d(\ln \frac{d}{a})^2} \end{aligned}$$

由于电势差与分布电容引起的感应电荷总是异号的，故 F_3 一定是引力。且 F_3 的变化频率同 F_1 一样，为100周。



二. 实际应用

作为对上面推出的三种电磁力表达式的应用，现设定一种具体情形，算出三种力的大小并加以比较。

假定两输电线间距 $d=1\text{m}$ ，导线半径 $a=10\text{mm}$ ，输送的功率 $P=1\text{kw}$ ，电压 $U_{12}=100\text{kV}$ ，地磁场磁感应强度 $=0.5\text{G}$ ，带入算得：

$$F_1 = 2.0 \times 10^{-7} \text{ N};$$

$$F_2 = 5.0 \times 10^{-5} \sin \theta \text{ N};$$

$$F_{2\max} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$F_{2\min} = 0 \text{ N}$$

$$F_3 = 6.6 \times 10^{-1} \text{ N}$$

可见在假定的此种情形下，两导线间的静电相互作用最强，其次为地磁场的作用力，而导线间的电流作用的安培力最弱。



三. 结论与讨论

在上述情形中，最大的电磁相互作用力有 10^{-1} N量级，故我们在分析电线振动的原因时，电磁力是不可忽略的。

如果电流加大，则电流间的安培力将以平方的速率增大，有可能成为较主要的原因；如果电压增大，则导线间的静电力也会以平方的速率增大，也有可能成为较主要的原因。又若输电线是沿南北方向架设的，则地磁场的作用力可降为零。

随着我国科技与经济事业的日益发展，长程输电的发展趋势是超高压。因为这样可以有效地减少电能在输电线上的损耗。故而将来在设计与选用导线时，应适当考虑由电磁作用力所引起的振动效应。

感谢程福臻老师与章江英老师给予的热情而细致的指导！

感谢0100所有同学给予的无私帮助！

谢谢各位的光临与倾听！

最后祝大家



新年快乐!