考虑麦克斯韦方程组的时谐形式：

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mathbf{B} \\ \nabla \times \mathbf{H} = j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{J} = j\omega\rho \end{cases}$$

物质的本构关系：

$$\begin{cases} \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \\ \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \\ \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \end{cases}$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \nabla \left(\nabla \cdot \mathbf{E}\right) - \nabla^2 \mathbf{E}$$

由于导体中场的特性为：无散、无旋、无源，$\nabla \left(\nabla \cdot \mathbf{E}\right) = 0$，可以得到：

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -\nabla^2 \mathbf{E}$$

根据麦克斯韦方程组 $\nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mathbf{B}$ 有：

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \nabla \times \left(-j\omega \mathbf{B}\right)$$

代入物质的本构关系 $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ 和麦克斯韦方程组 $\nabla \times \mathbf{H} = j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J}$：

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu \nabla \times \mathbf{H} = -j\omega\mu \left(j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J}\right)$$

由于是在导体中，所以 $j\omega \mathbf{D} = 0$，代入本构关系 $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ 从而得到：

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\sigma \mathbf{E}$$

所以可以得到:

$$\nabla^2\mathbf{E} = j\omega\mu\sigma\mathbf{E}$$

此时就得到了亥姆霍兹方程（在后面EMI的部分也大量出现）

亥姆霍兹方程的解为电磁波的传播方程，对于电场，它的形式为:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E_0}e^{-\mathbf{k}\cdot r}$$

令指数上的 $\mathbf{k}$ 为电磁场的复传播系数，规定其**一般形式**为

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu\left(\sigma + j\omega\epsilon\right)}$$

其中的 α 为衰减系数， β 为相位系数（ β 是与波数 k 相关的，在无耗介质（真空、空气）中是老印提到的 $\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ ）

在导体中，省略介电项，可以得到在导体中的电磁场传播系数为:

$$\gamma = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$$

根据趋肤效应的定义，场强减小到 $\left|\mathbf{E_0}\right|$ 的 e^{-1} 时，此时的距离规定为趋肤深度:

$$\left|\mathbf{E_0}e^{-\gamma\cdot r}\right| = \left|\mathbf{E_0}e^{-1}\right|$$

解得:

$$r = \left|\sqrt{\frac{2}{\gamma}}\right| = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{1}{\pi f\mu\sigma}}$$