

EAGE



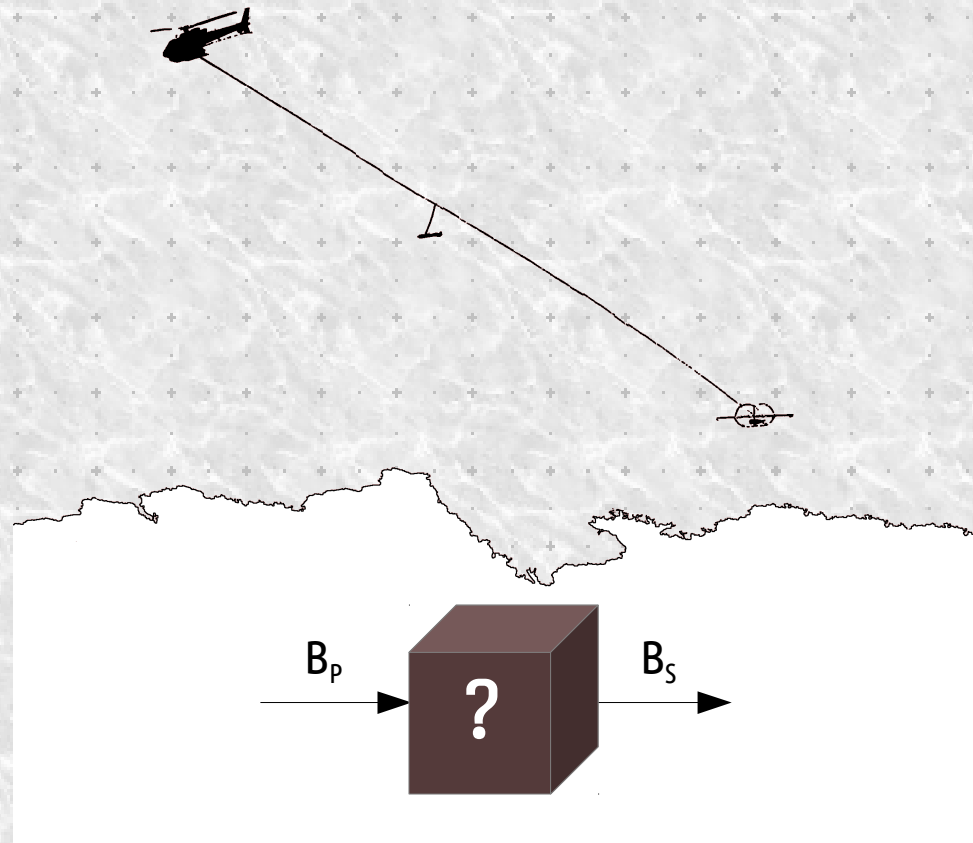
 **ГИ УрО РАН**



**ИНЖЕНЕРНАЯ : 0
И РУДНАЯ : : 20
ГЕОФИЗИКА : : 20**

14-18 сентября 2020 г. ■ Конференция и выставка ■ Пермь, Россия

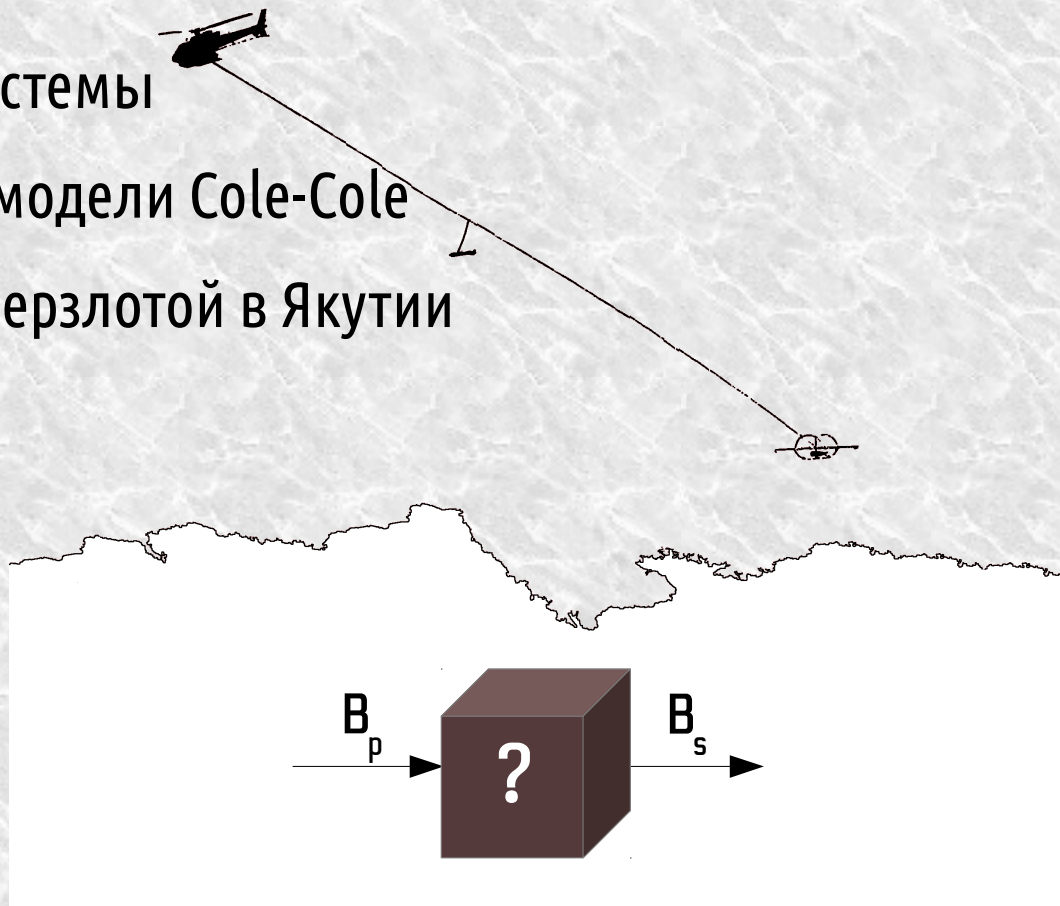
Использование частотных данных для расчета индуктивно вызванной поляризации.



Е.В. Каршаков* (ИПУ РАН),
Е.В. Мойланен (ИПУ РАН).

Содержание

- Обзор современных подходов к учету и интерпретации ИВП
- Почему мы рассматриваем данные в частотной области
- Распределение токов для АЭР системы
- Анализ цепей как альтернатива модели Cole-Cole
- Примеры: Аэро ВП над вечной мерзлотой в Якутии
- Обсуждение результатов



Современные подходы к учету и интерпретации ИВП

Chen, T., Smiarowski, A., and Hodges, G., 2015, Understanding airborne IP: First European Airborne Electromagnetic Conference, EAGE, Extended Abstracts.

Kaminskiy, V. and Viezzoli, A., 2017, Modelling induced polarisation effects in helicopter time-domain electromagnetic data: Field case studies: Geophysics, 82(2), 1-13.

Kwan, K., Legault, J., Johnson, I., Prikhodko, A., and Plastow, G., 2018, Interpretation of Cole-Cole parameters derived from helicopter TDEM data – Case studies: SEG Annual Meeting and Exhibition, Anaheim, Extended Abstracts, 1-6.



Современные подходы к учету и интерпретации ИВП

Cole, K.S., and Cole, R.H., 1941,
Dispersion and absorption in dielectrics
I. Alternating current characteristics:
Journal of Chemical Physics, 9, 341-351.

Cole, K.S., and Cole, R.H., 1942,
Dispersion and absorption in dielectrics
II. Direct current characteristics: Journal
of Chemical Physics, 10, 98-105.

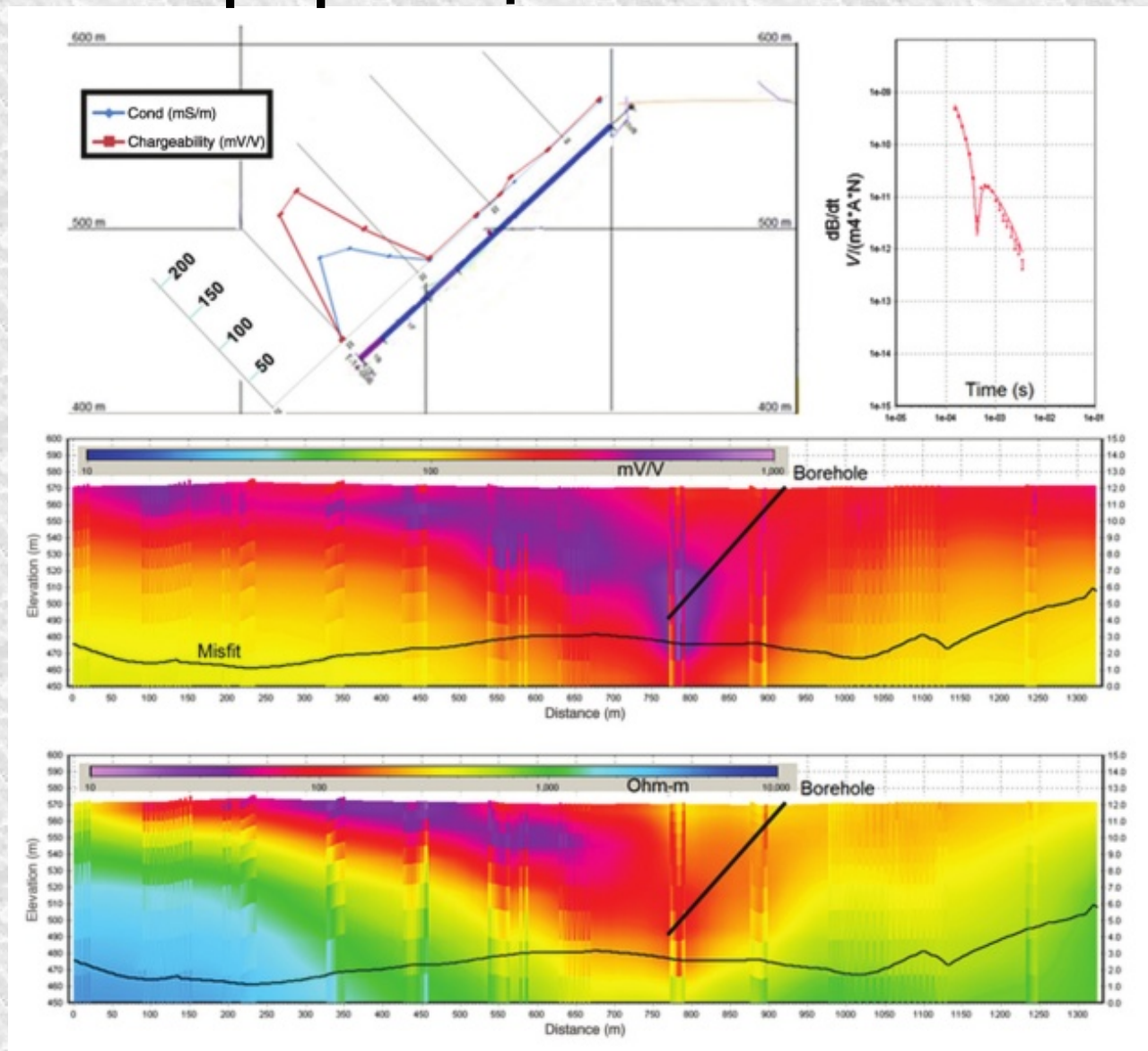
Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, G., Sill,
W.R., and Nelson, P.H., 1978. Mineral
discrimination and removal of inductive
coupling with multifrequency IP:
Geophysics, 43(3), 588-609



Современные подходы к учету и интерпретации ИВП

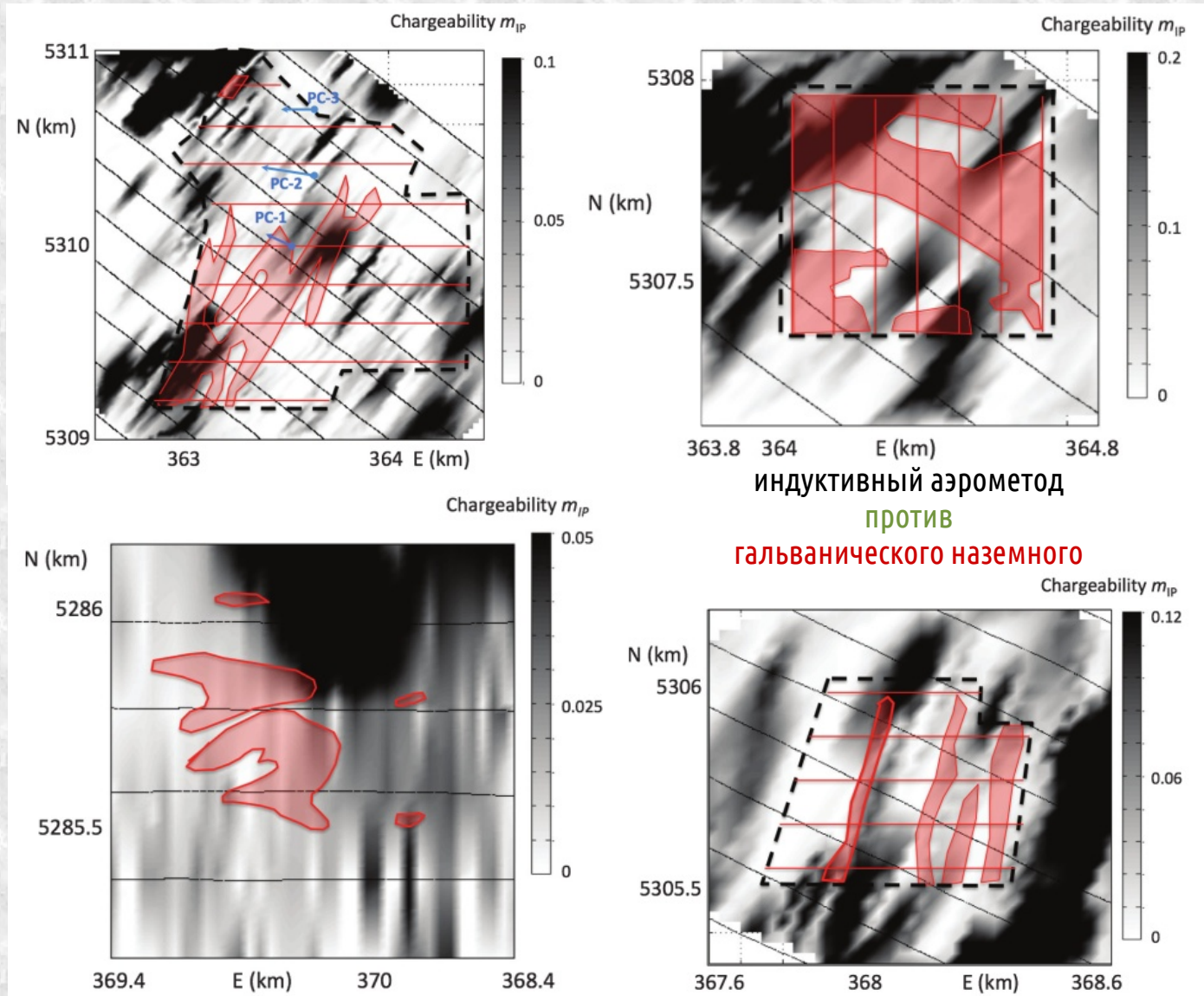
Kaminskiy, V. and Viezzoli, A., 2017, Modelling induced polarisation effects in helicopter time-domain electromagnetic data: Field case studies: Geophysics, 82(2), 1-13.

$$\zeta(\omega) = \rho \left[1 - m_0 \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right]$$



Современные подходы к учету и интерпретации ИВП

Macnae, J., and Hine, K., 2016, Comparing induced polarisation responses from airborne inductive and galvanic ground systems: Tasmania: Geophysics, 81(6), E471-E479.



Почему мы рассматриваем данные в частотной области?

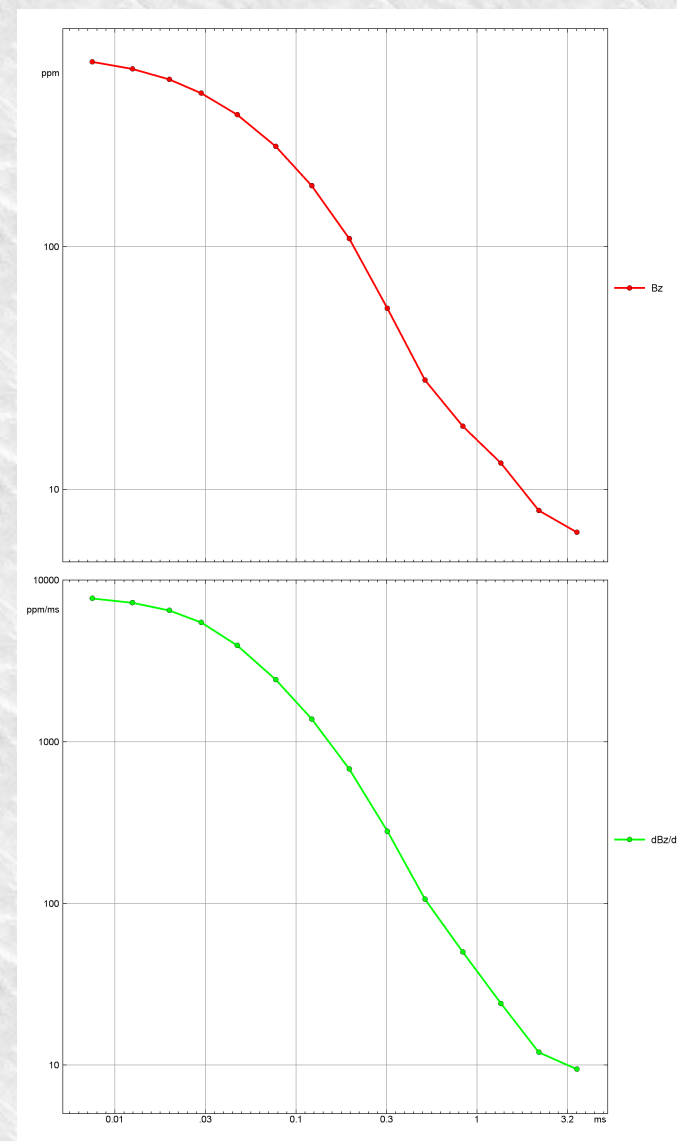
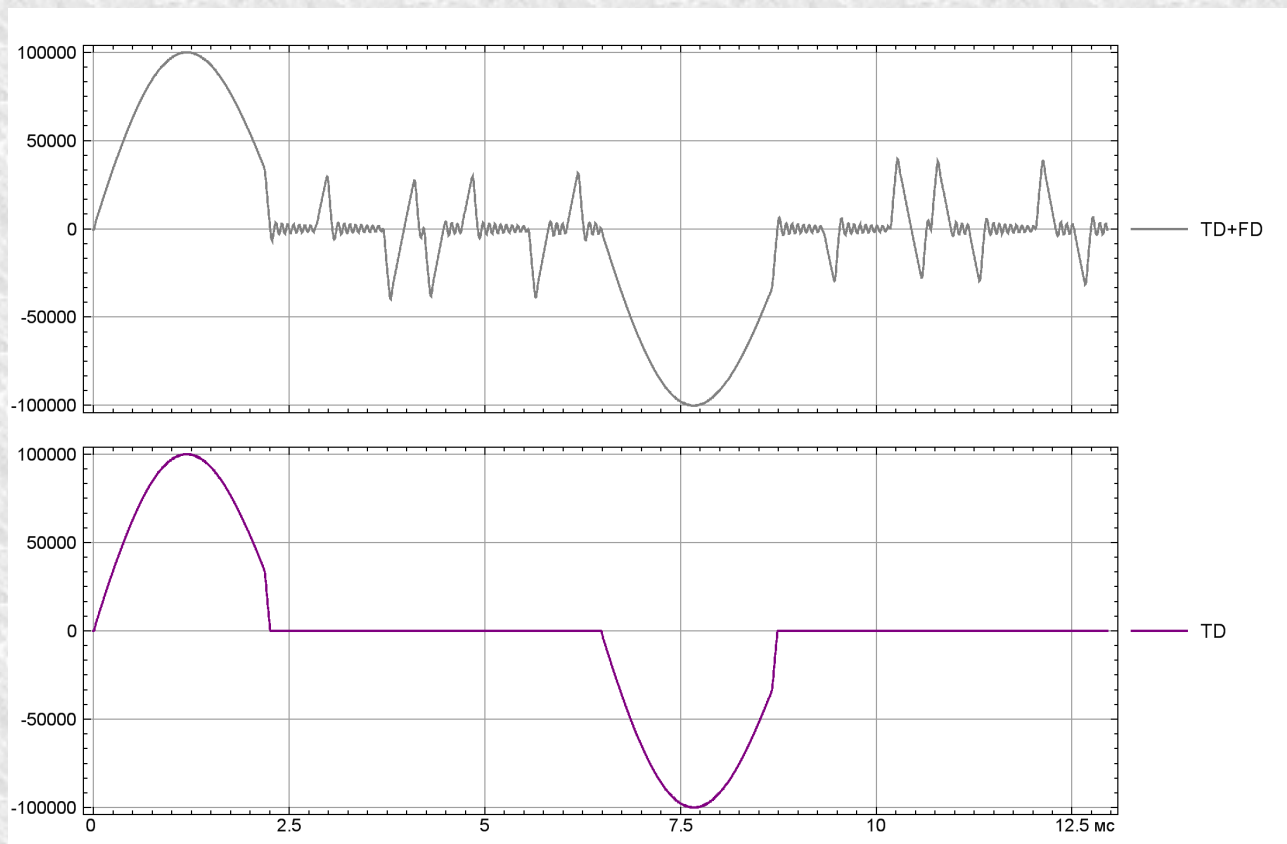
1. Потому что можем получить данные ...

Moilanen, J., Karshakov, E. and Volkovitsky, A., 2013, Time domain helicopter EM system "Equator": resolution, sensitivity, universality: 13th SAGA Biennial @ 6th International AEM Conference, Extended Abstracts, 1-4.

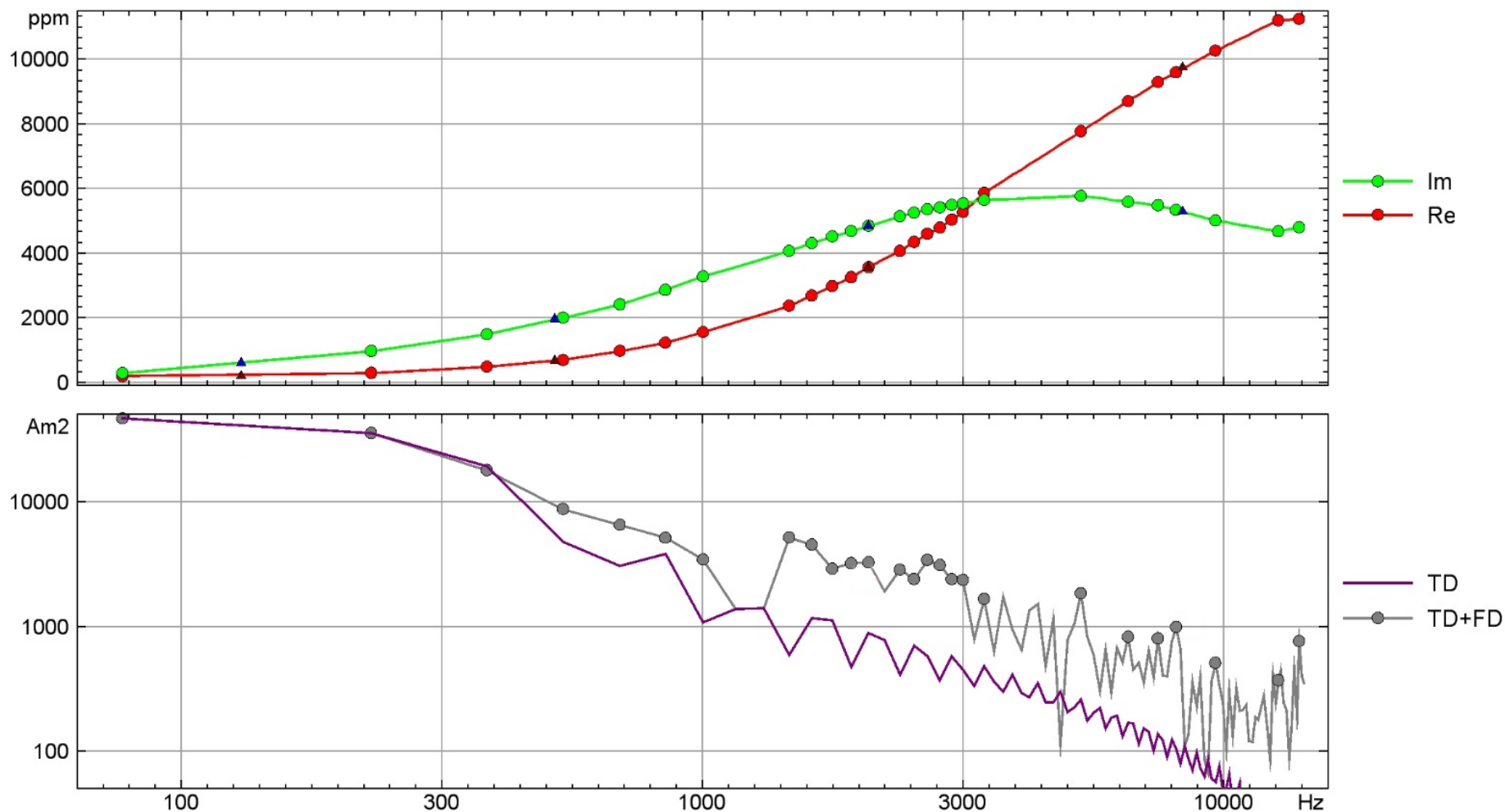
Вертолетная система "Экватор" для частотной и импульсной аэроэлектроразведки



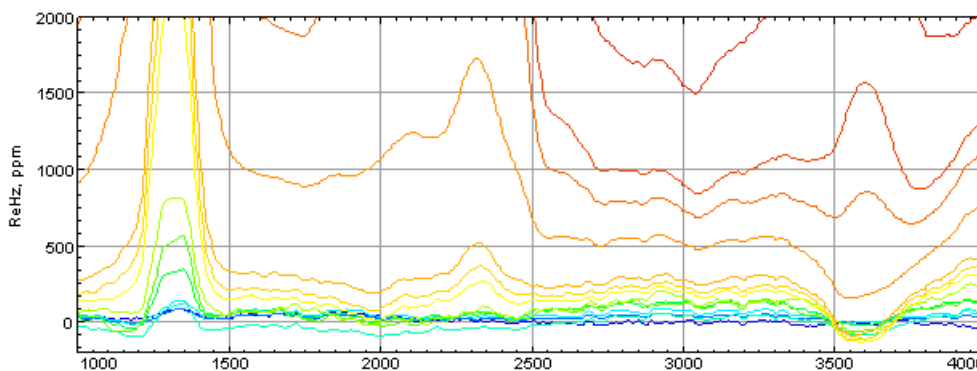
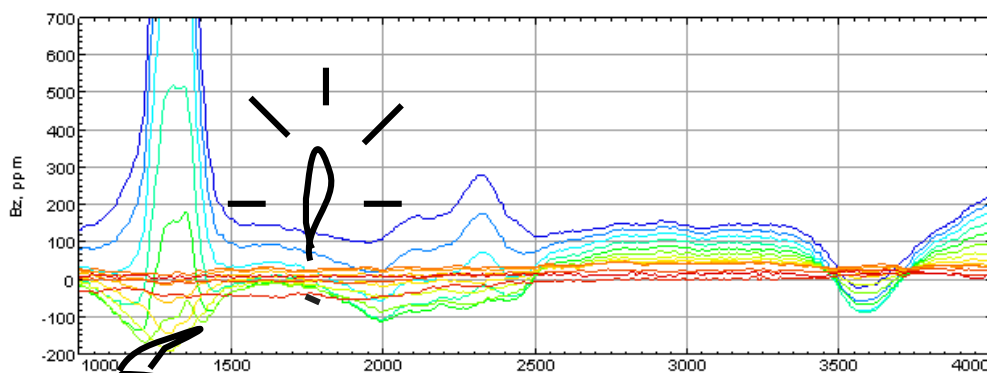
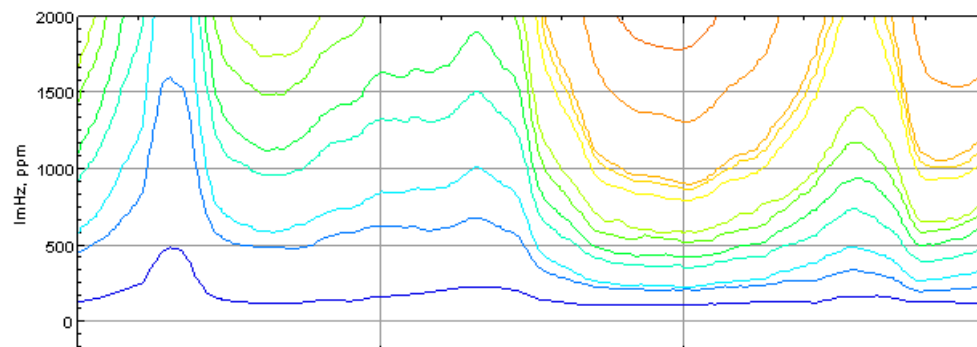
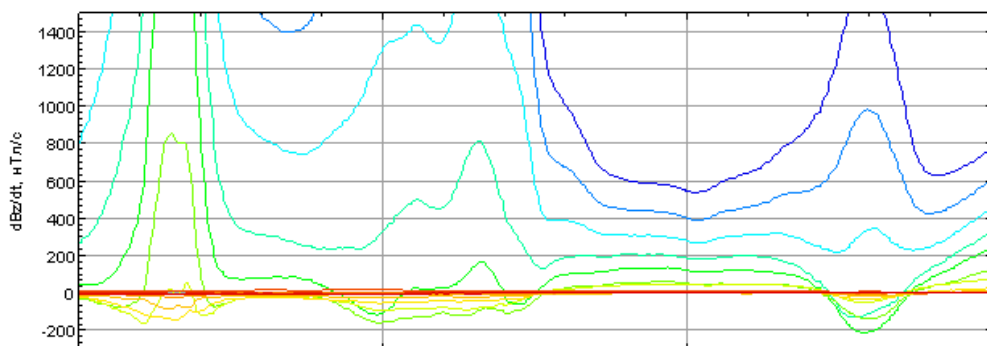
Почему мы рассматриваем данные в частотной области? ... не только во временной ...



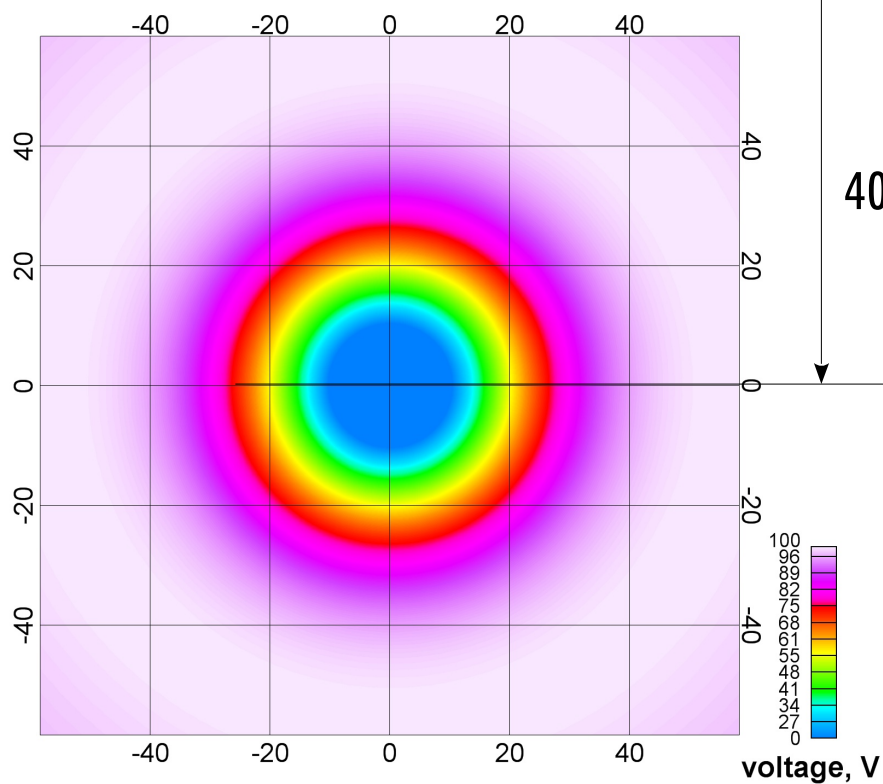
Почему мы рассматриваем данные в частотной области? ... но и в частотной области



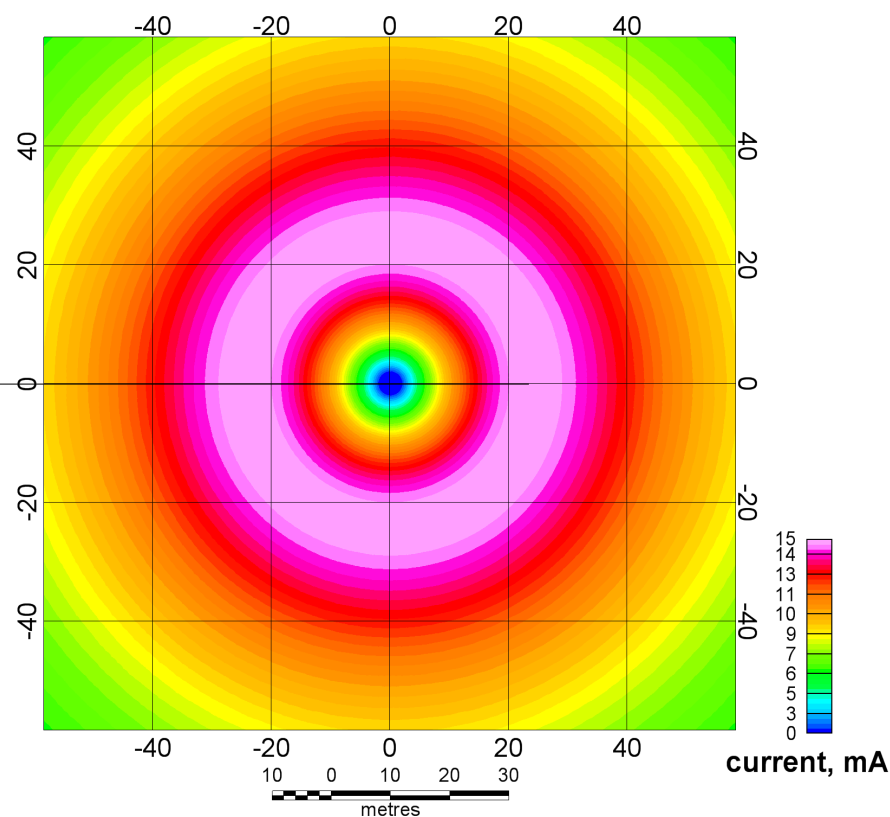
Почему мы рассматриваем данные в частотной области? 2. Опыт работы в Якутии

 dB_z/dt
 $Im B_z$

 B_z
 $Re B_z$

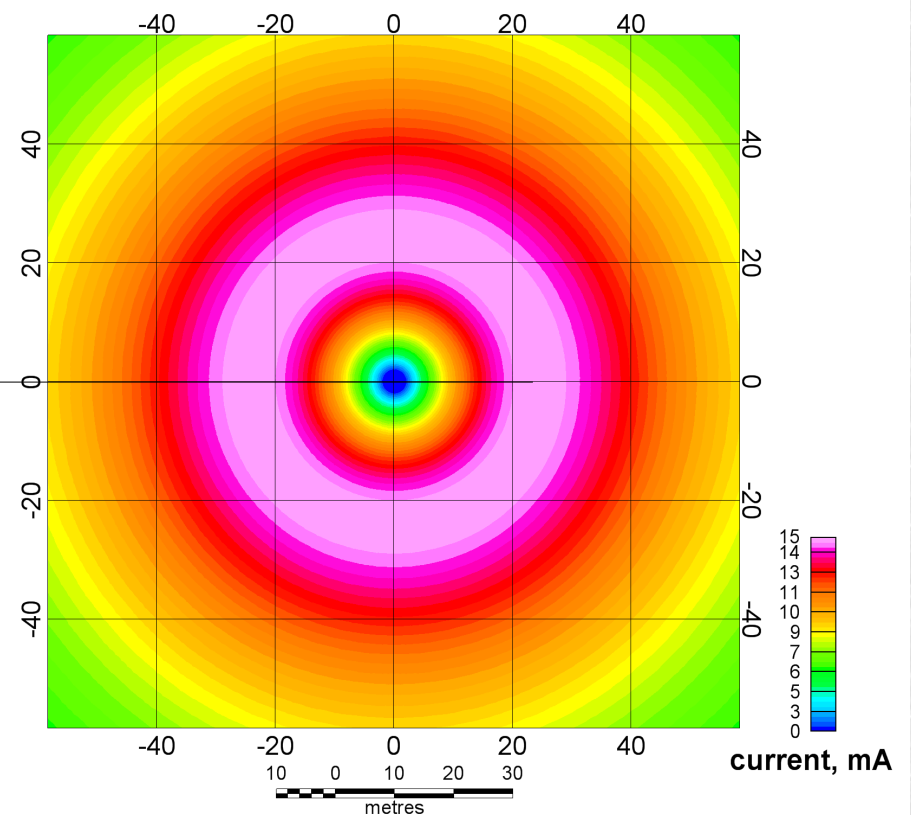
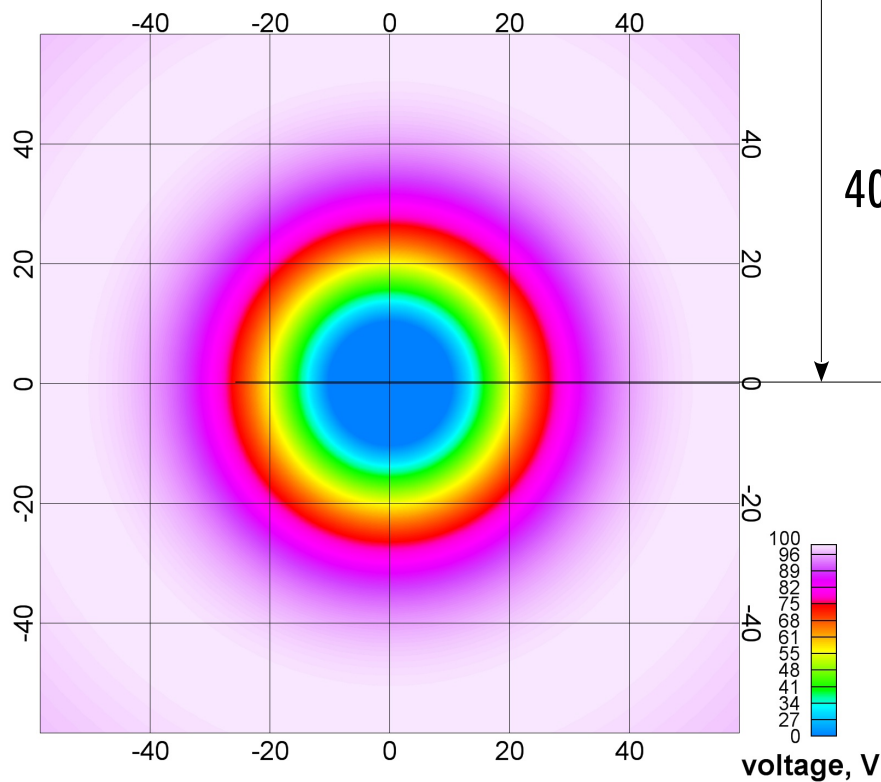
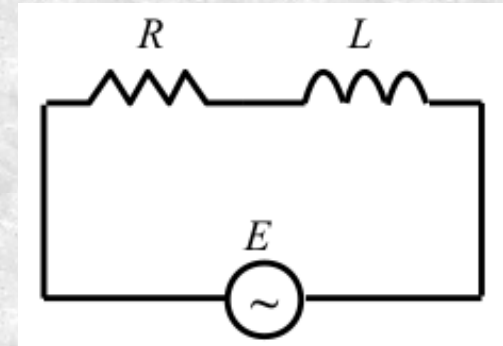
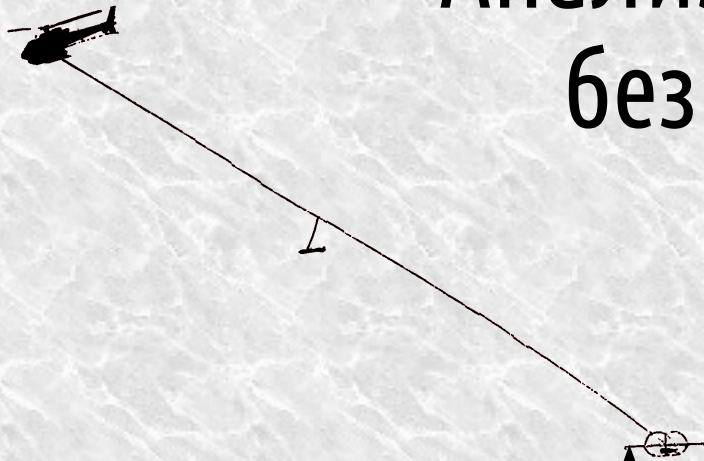

Распределение токов



40 м



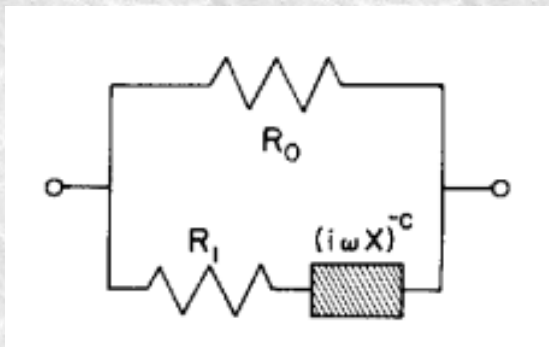
Анализ цепи без ВП



Анализ цепи с ВП

Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, G., Sill, W.R., and Nelson, P.H., 1978. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP: Geophysics, 43(3), 588-609

Модель Cole-Cole



$$Z(\omega) = R_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right]$$

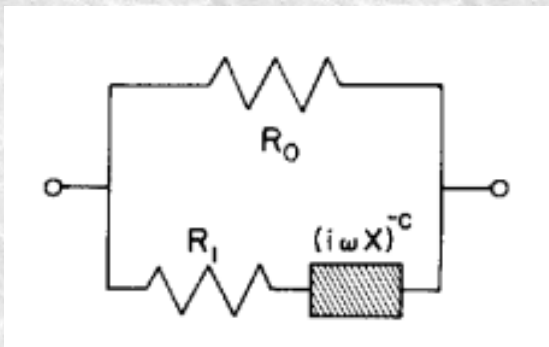
где

$$m = \frac{1}{1 + R_1/R_0} \quad \text{и} \quad \tau = X \left(\frac{R_0}{m_0} \right)^{1/c}$$

Анализ цепи с ВП

Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, G., Sill, W.R., and Nelson, P.H., 1978. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP: Geophysics, 43(3), 588-609

Модель Cole-Cole



$$Z(\omega) = R_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right]$$

где

$$m = \frac{1}{1 + R_1/R_0} \quad \text{и} \quad \tau = X \left(\frac{R_0}{m_0} \right)^{1/c}$$

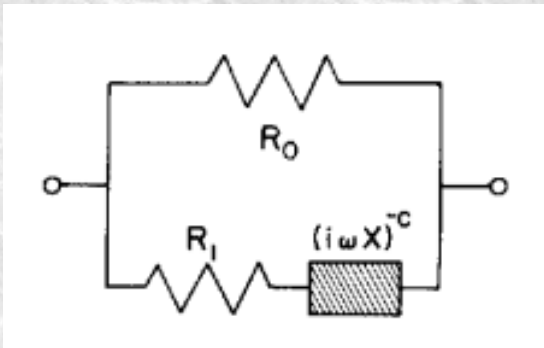


Как разделить L и C в модели Cole-Cole?

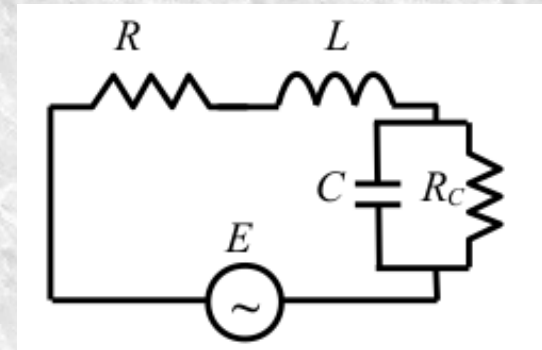
Анализ цепи с ВП

Pelton, W.H., Ward, S.H., Hallof, G., Sill, W.R., and Nelson, P.H., 1978. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP: Geophysics, 43(3), 588-609

Модель Cole-Cole



Индуктивная модель



$$Z(\omega) = R_0 \left[1 - m \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right) \right]$$

где

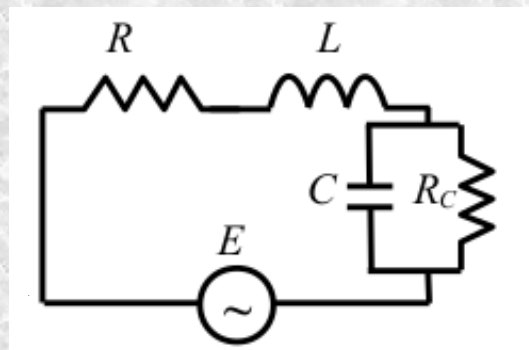
$$m = \frac{1}{1 + R_1/R_0} \quad \text{и} \quad \tau = X \left(\frac{R_0}{m_0} \right)^{1/c}$$



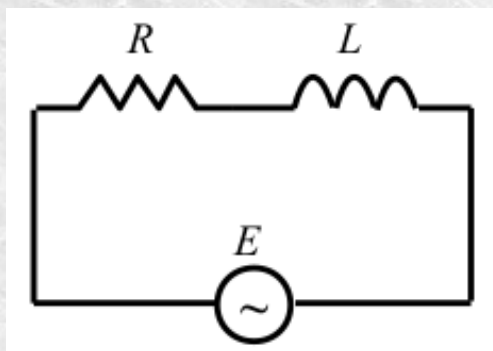
Как разделить L и C в модели Cole-Cole?

Анализ цепи с ВП

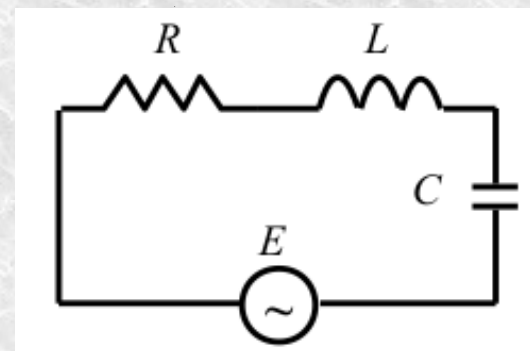
Индуктивная модель: закон Ома



$$E = I \left(R + i\omega L - \frac{i R_c}{\omega R_c C - i} \right)$$

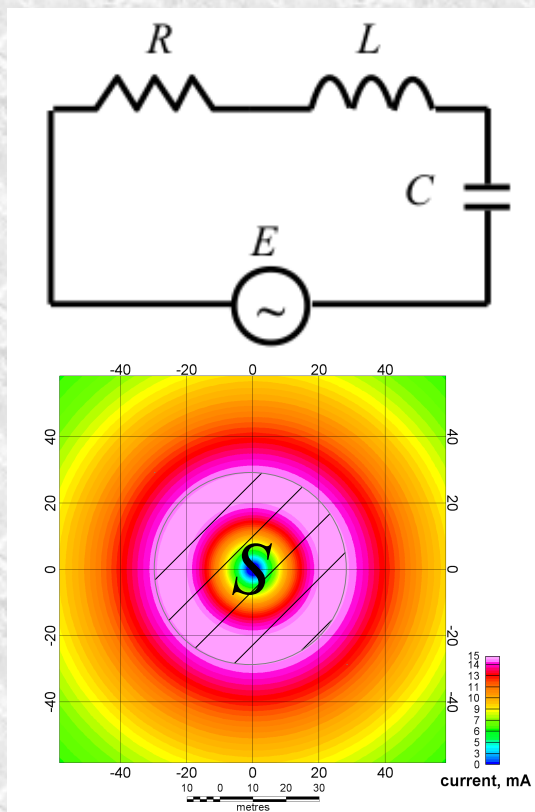


$$E = I(R + i\omega L)$$



$$E = I \left(R + i\omega L - \frac{i}{\omega C} \right)$$

Анализ цепи с ВП



Асимптотическая индуктивная модель

$$E = I \left(R + i \omega L - \frac{i}{\omega C} \right) \Rightarrow \frac{E \bar{I}}{I^2} = \left(R + i \omega L - \frac{i}{\omega C} \right)$$

Закон Фарадея: $E \sim S \cdot i \omega B_p$ (первичное поле)

Закон Ампера: $B_s \sim S \cdot I$ (вторичное поле)

$$\frac{k \omega B_p}{B_s^2} (i \operatorname{Re} B_s + \operatorname{Im} B_s) = \left(R + i \omega L - \frac{i}{\omega C} \right),$$

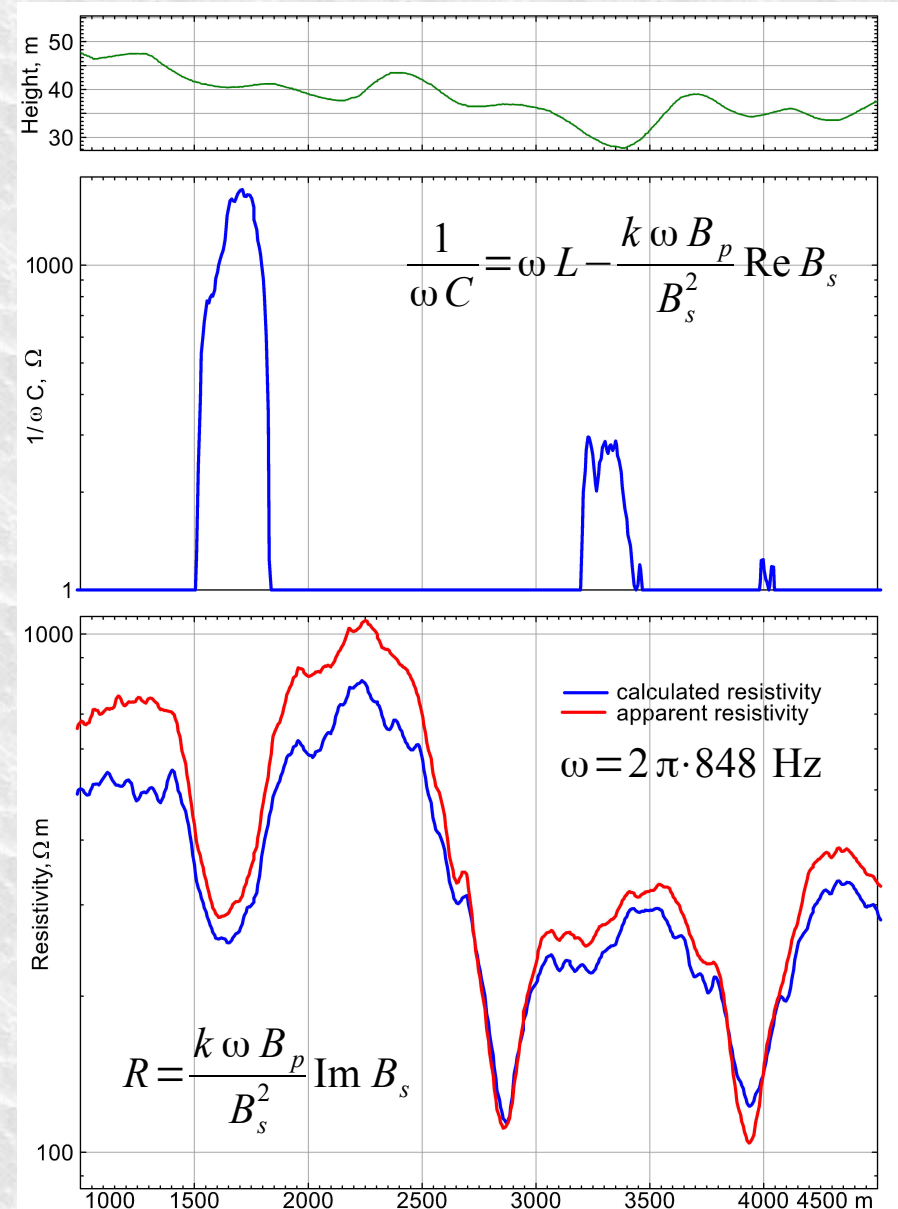
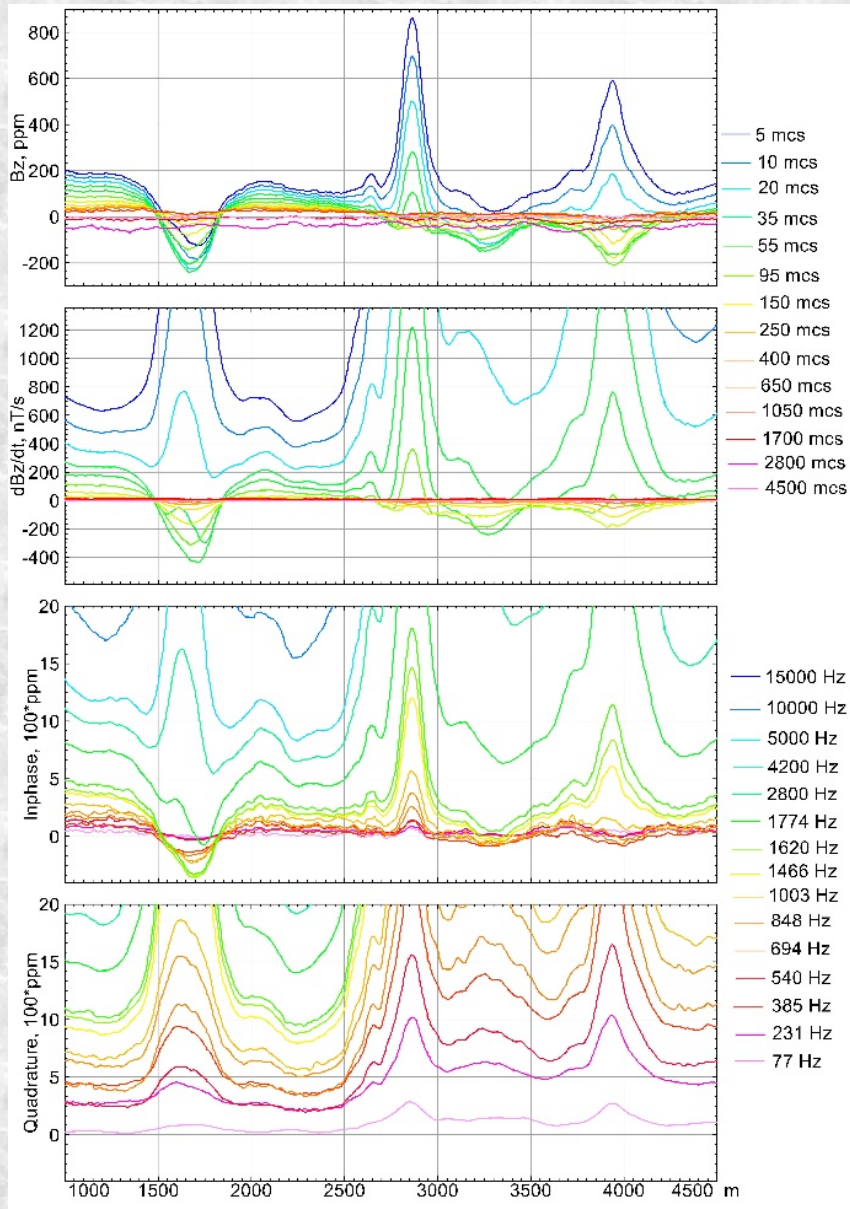
Действительная часть:

$$R = \frac{k \omega B_p}{B_s^2} \operatorname{Im} B_s.$$

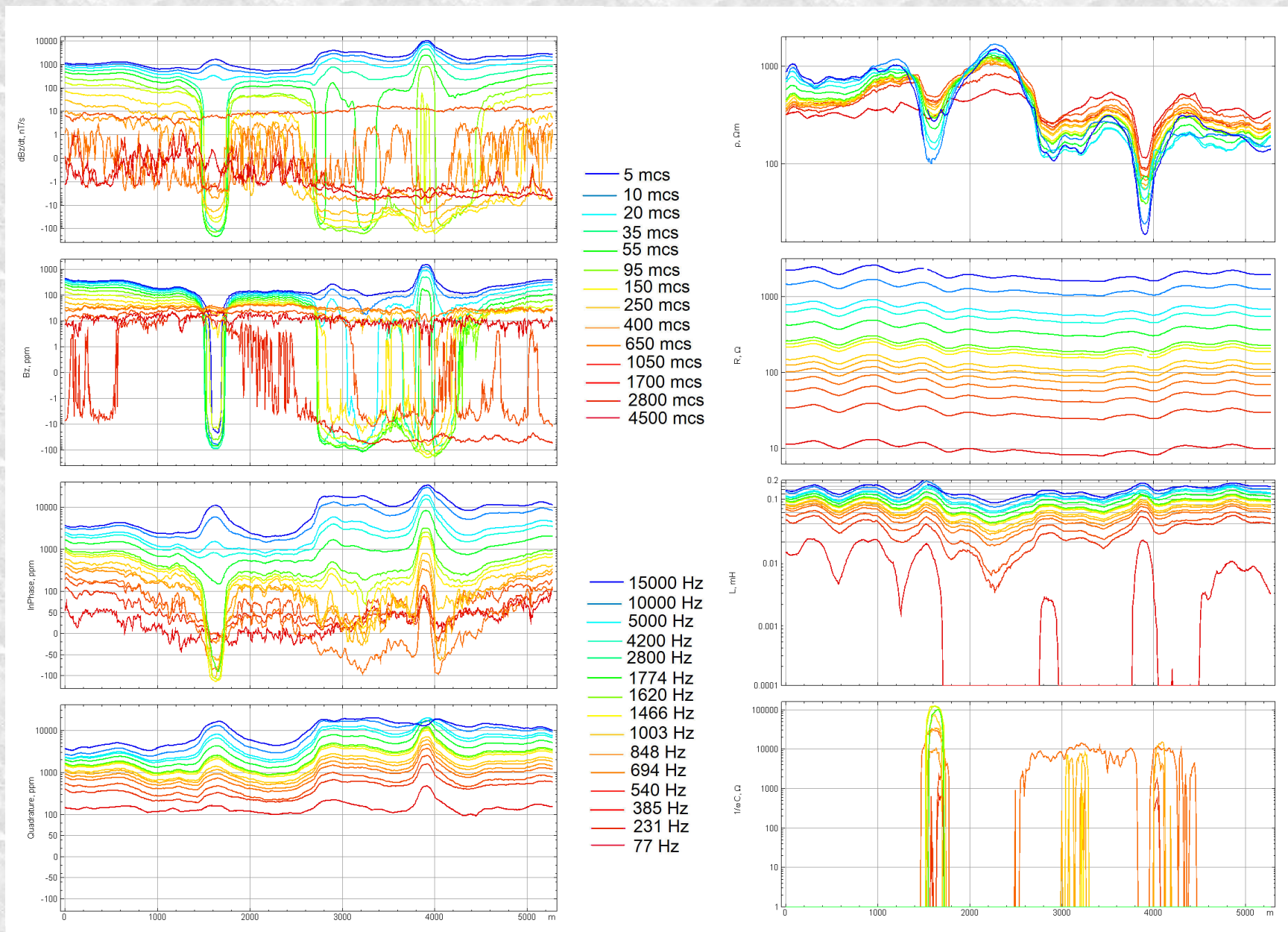
Мнимая часть:

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L - \frac{k \omega B_p}{B_s^2} \operatorname{Re} B_s.$$

Пример: Якутия



Пример: Якутия

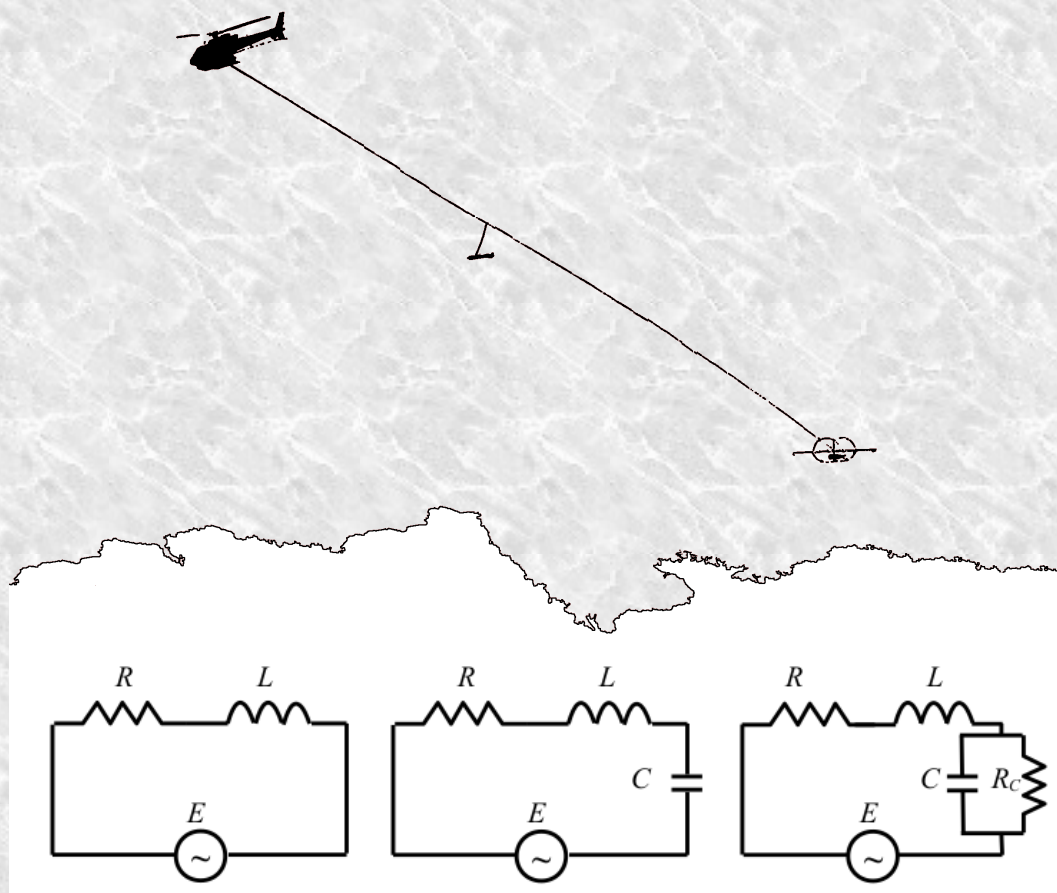


Результаты

- ☒ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость

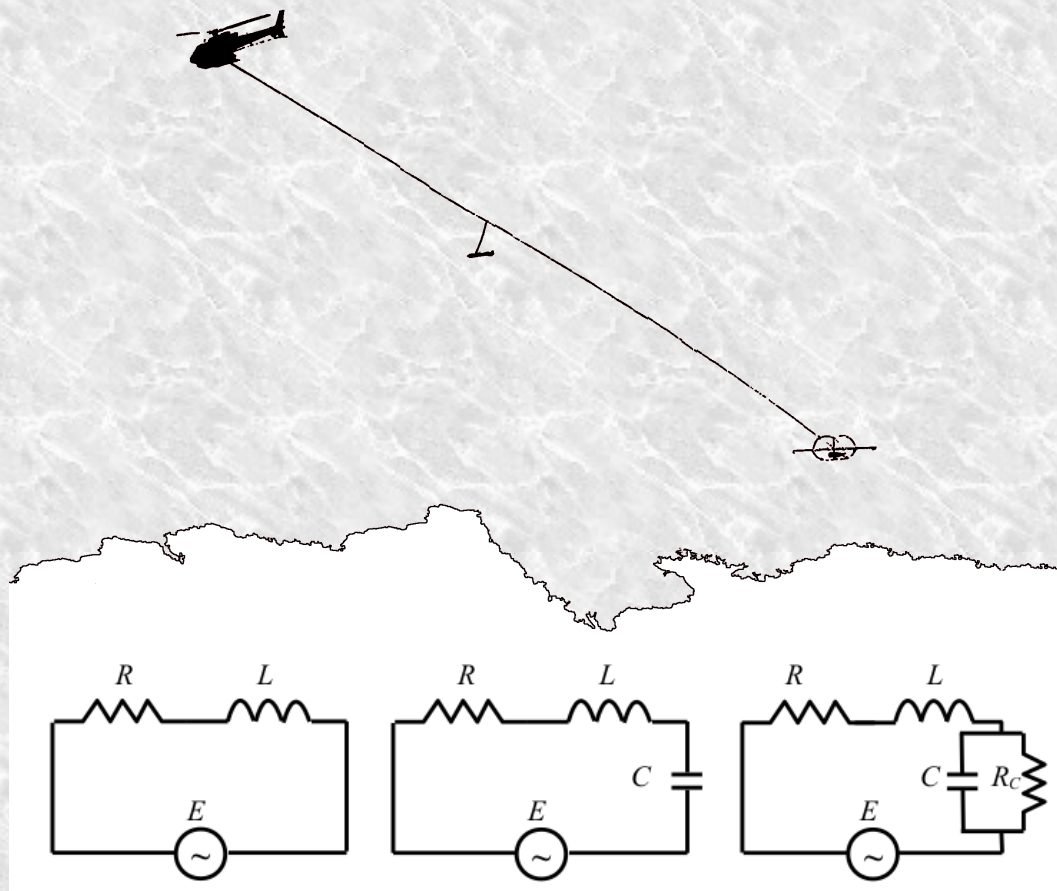
Результаты

- ☒ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость
- ☑ Квадратурная компонента выглядит слабо подверженной ИВП, как минимум для $\omega R_c C \gg 1$ and $\text{Im } B_s \gg \text{Re } B_s$



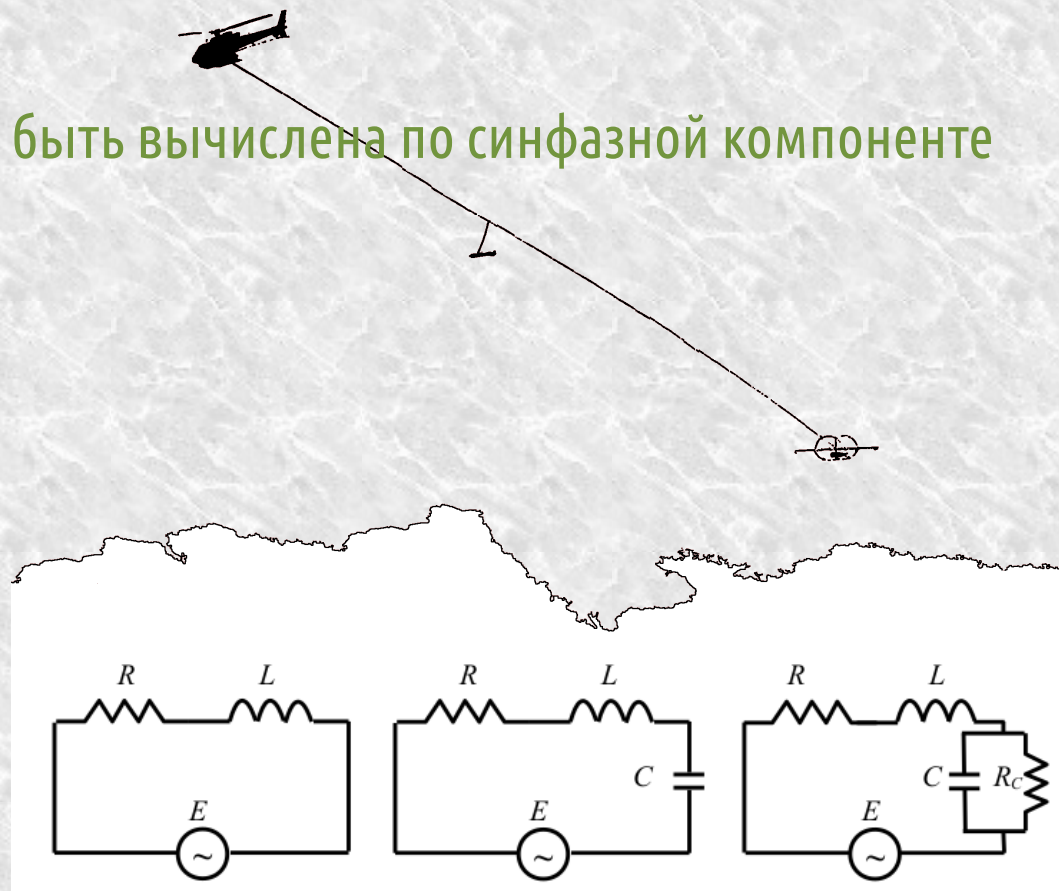
Результаты

- ❌ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость
- ✅ Квадратурная компонента выглядит слабо подверженной ИВП, как минимум для $\omega R_c C \gg 1$ and $\text{Im } B_s \gg \text{Re } B_s$
- ✅ Асимптотическая модель дает сопротивление R напрямую из квадратурной компоненты



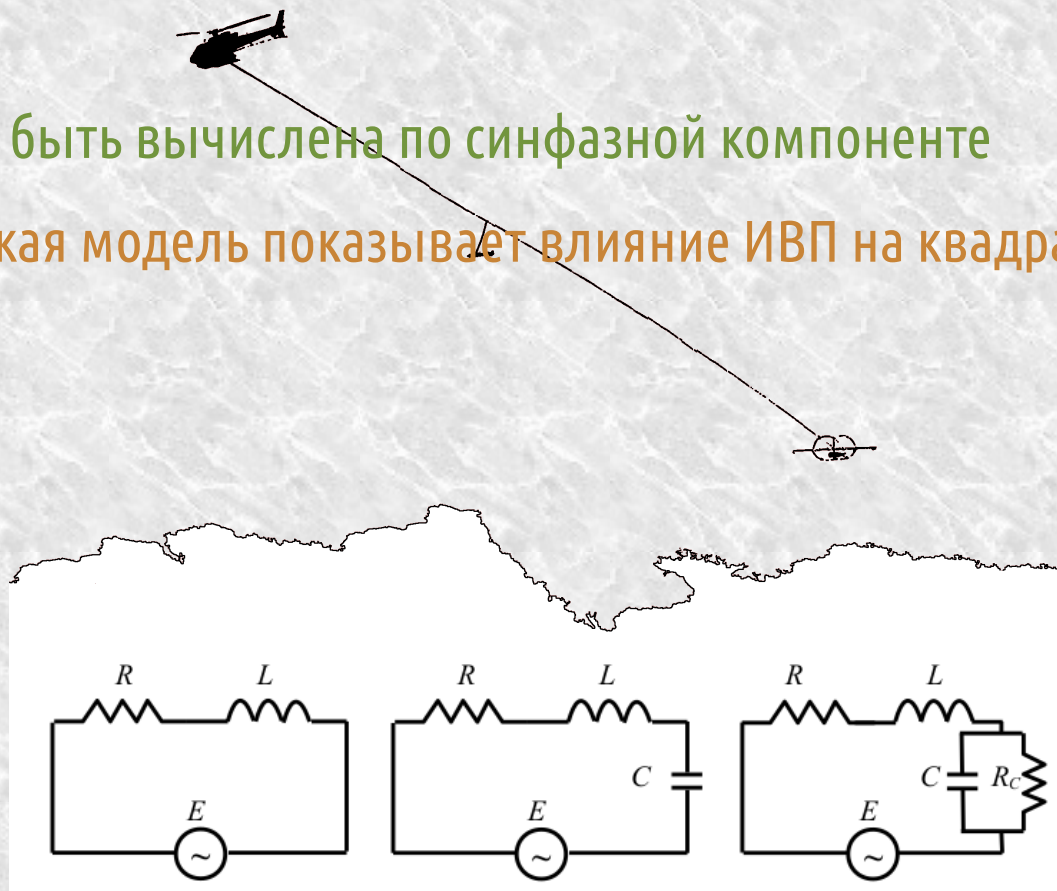
Результаты

- ☒ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость
- ☑ Квадратурная компонента выглядит слабо подверженной ИВП, как минимум для $\omega R_c C \gg 1$ and $\text{Im } B_s \gg \text{Re } B_s$
- ☑ Асимптотическая модель дает сопротивление R напрямую из квадратурной компоненты
- ☑ Емкость C может быть вычислена по синфазной компоненте



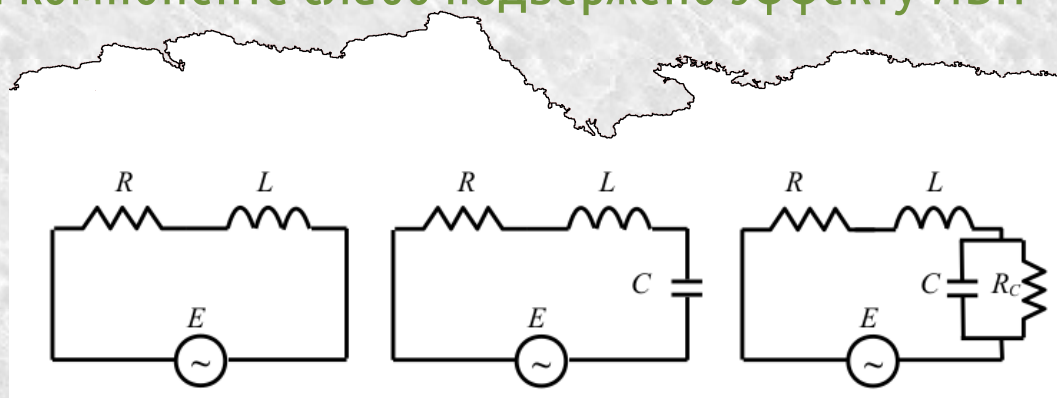
Результаты

- ☒ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость
- ☑ Квадратурная компонента выглядит слабо подверженной ИВП, как минимум для $\omega R_c C \gg 1$ and $\text{Im } B_s \gg \text{Re } B_s$
- ☑ Асимптотическая модель дает сопротивление R напрямую из квадратурной компоненты
- ☑ Емкость C может быть вычислена по синфазной компоненте
- ☒ Неасимптотическая модель показывает влияние ИВП на квадратурную компоненту



Результаты

- ☒ Модель Cole-Cole не позволяет разделить индуктивность и емкость
- ☑ Квадратурная компонента выглядит слабо подверженной ИВП, как минимум для $\omega R_c C \gg 1$ and $\text{Im } B_s \gg \text{Re } B_s$
- ☑ Асимптотическая модель дает сопротивление R напрямую из квадратурной компоненты
- ☑ Емкость C может быть вычислена по синфазной компоненте
- ☒ Неасимптотическая модель показывает влияние ИВП на квадратурную компоненту
- ☑ Примеры показывают, что кажущееся удельное сопротивление, определенное по квадратурной компоненте слабо подвержено эффекту ИВП



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Обсудим?

