

Практикум по электроразведке (5 курс)

Трансформации кривых МТЗ

Практическое задание

Целью данной задачи является ознакомление с методами трансформации кривых МТЗ. В разработке рассмотрены сущность и место трансформаций и других способов простого и быстрого получения информации о разрезе в графе обработки и интерпретации данных МТЗ (пункты 1 - 3), вывод трансформации Ниблетта (пункт 4), другие трансформации (пункт 5) и особенности их программирования (пункт 6).

При выполнении задачи требуется :

1. Написать программу расчета одной из трансформаций. Входной файл программы должен содержать кривую кажущегося сопротивления для одного из вариантов, приведенных в настоящей разработке. Выходной файл программы должен содержать кривую зависимости действующего удельного сопротивления от действующей глубины.
2. Напечатать (или нарисовать) в билогарифмическом масштабе результат трансформации и с помощью карандаша и линейки выделить слои (рис. 1), определить их число, сопротивления и мощности.
3. Для полученного разреза по написанной в рамках предыдущей задачи программе решить прямую задачу МТЗ и изобразить рассчитанную кривую МТЗ на одном бланке с исходной (рис. 2). Если требуемые программы написаны правильно, то расхождение этих кривых будет характеризовать надежность определения характеристик данного разреза с помощью примененного метода трансформации.

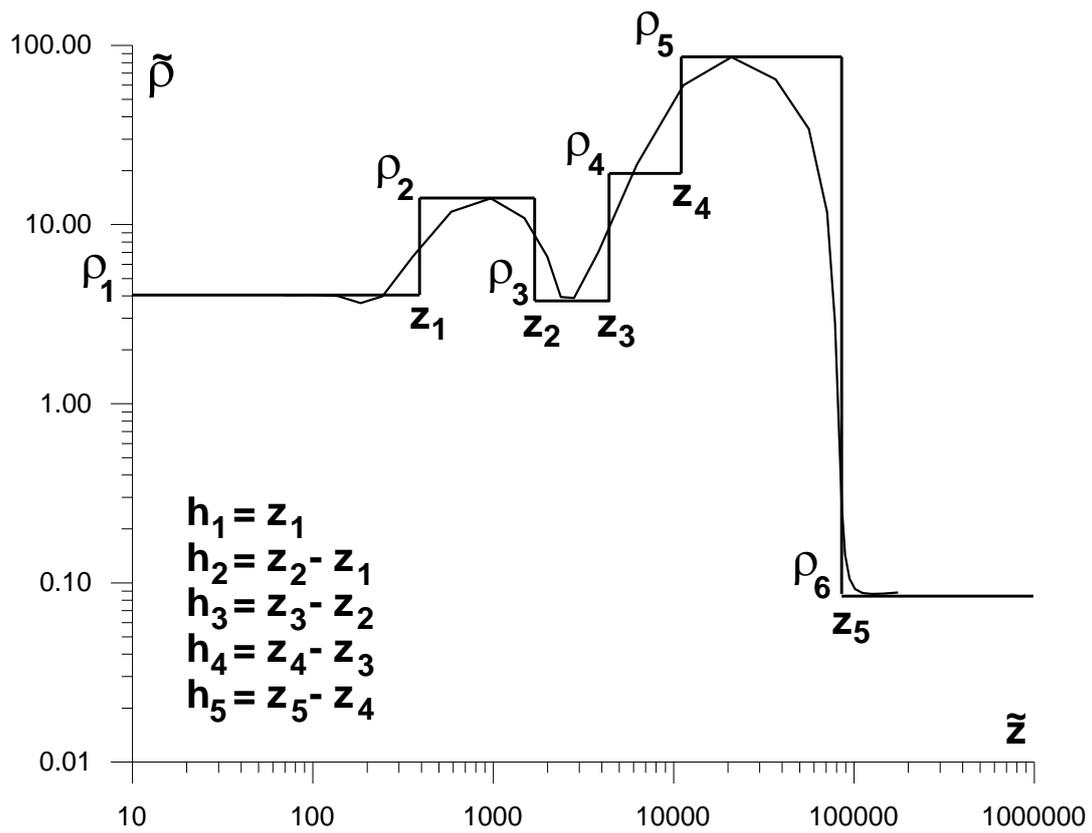


Рис. 1. Определение сопротивлений и мощностей слоев по результату трансформации.

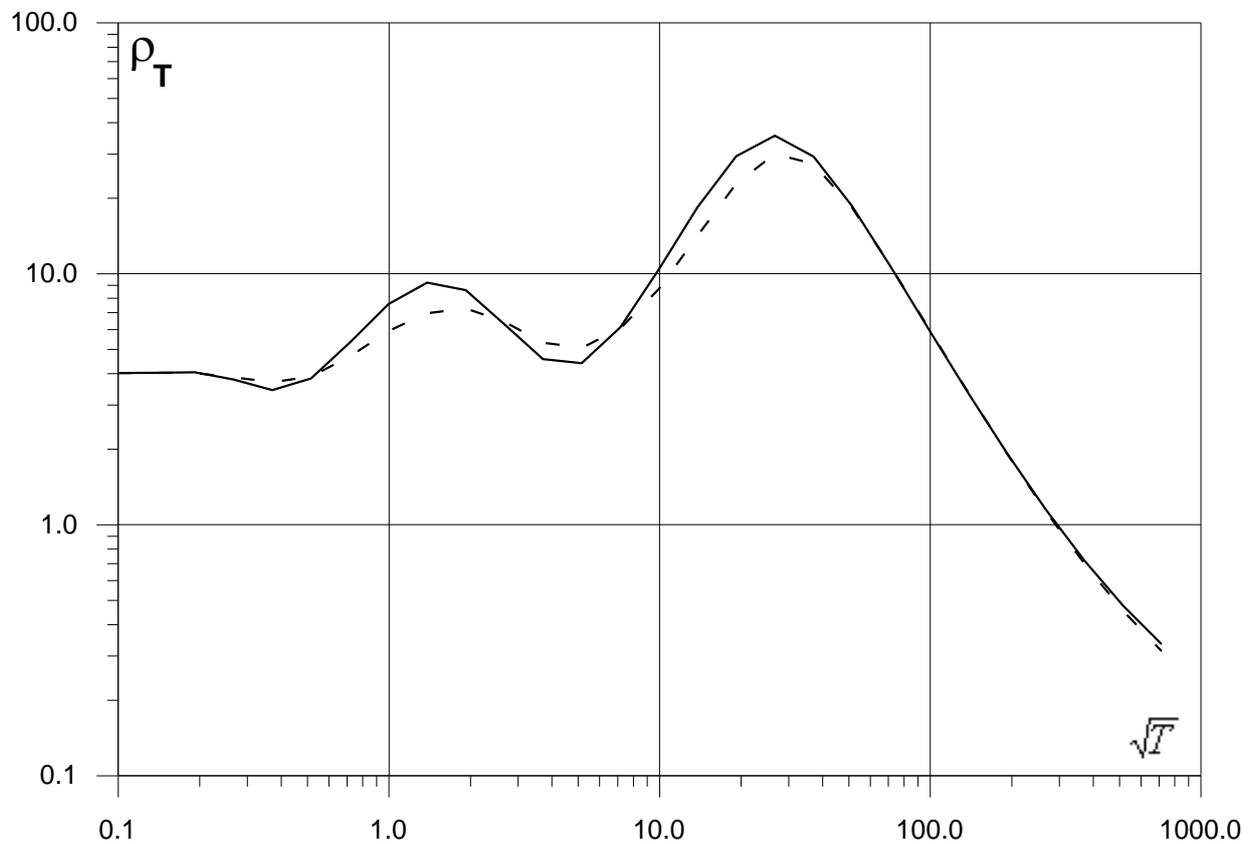


Рис. 2. Сравнение расчетной и исходной кривых кажущегося сопротивления.

1. Обработка и интерпретация данных МТЗ

Для того, чтобы понять место трансформаций кривых МТЗ в общем графе обработки и интерпретации данных МТЗ, рассмотрим его основные элементы.

На первом этапе выполняется собственно обработка полевых записей МТ-поля, в результате которой получаются компоненты тензора импеданса. При построении частотных зависимостей тензора импеданса используются статистические подходы, учитывающие закономерности МТ-поля и характер помех. Основные компоненты тензора импеданса пересчитываются в кривые кажущегося сопротивления.

На втором этапе проводится анализ данных, сводящийся к построению и изучению полярных диаграмм тензора импеданса, вычислению параметров неоднородности и асимметрии среды и т.д. Роль этого этапа заключается в оценке уровня шумов геологической (приповерхностные неоднородности) и другой природы, выделению зон, допускающих одномерную и двумерную интерпретацию, изучению основных свойств среды.

Содержание третьего этапа сводится к нормализации кривых МТЗ и их сглаживанию по профилю. Его цель - устранение искажений, обусловленных влиянием приповерхностных неоднородностей. Если их влияние пренебрежимо мало, рассматриваемый этап может быть пропущен.

Четвертый этап включает простые и быстрые способы получения информации о геоэлектрической структуре изучаемого района. К ним относятся : определение интегральных характеристик среды по асимптотам (линиям S и H), определение свойств среды по характерным точкам кривых, а также трансформации кривых МТЗ (наиболее известны трансформации Ниблетта, Молочнова - Ле Вьета и Шмукера - Ле Вьета) и другие способы.

На пятом этапе проводится собственно интерпретация данных МТЗ. При этом обязательно учитывается априорная информация о геоэлектрическом разрезе. Самым распространенным способом интерпретации является метод подбора (ручного, автоматического и комбинированного). Наиболее широко распространена одномерная интерпретация, однако в условиях горизонтально-неоднородных сред все чаще привлекается двумерная интерпретация и трехмерное моделирование.

Наконец, на шестом этапе выполняется геолого-геофизическое истолкование полученных результатов с учетом сведений об электрических свойствах пород, имеющейся геологической информации и данных других геофизических методов.

2. Определение интегральных характеристик среды по линиям S и H

Данный способ позволяет легко определить суммарную продольную проводимость (S) толщи, лежащей над высокоомным слоем, и мощность (H) толщи, лежащей над низкоомным слоем (иным словом глубину кровли проводника). Причем эти характеристики определяются в методе МТЗ устойчиво, т.е. имеют место S - эквивалентность и H - эквивалентность (в отличие от метода ВЭЗ, которому свойственны S - эквивалентность и T - эквивалентность, где T - суммарное поперечное сопротивление толщи, лежащей над проводником). Отметим, что S - эквивалентность и H - эквивалентность свойственны также методам ЧЗ и ЗС за исключением тех случаев, когда этими методами изучается электрическое поле заземленного диполя вне дальней зоны (при этом начинает проявляться T - эквивалентность).

Для определения по кривой МТЗ параметров S и H проводят линии, образующие угол $63^{\circ}25'$ с осью абсцисс и касающиеся восходящих и нисходящих ветвей кривой (рис. 3). После этого находят абсциссы ($\sqrt{T_S}$ и $\sqrt{T_H}$) пересечения этих линий с горизонтальной осью, отвечающей $\rho_T = 1$, и по формулам $S = 356 \cdot \sqrt{T_S}$ и $H = 356 \cdot \sqrt{T_H}$ определяют суммарную продольную проводимость

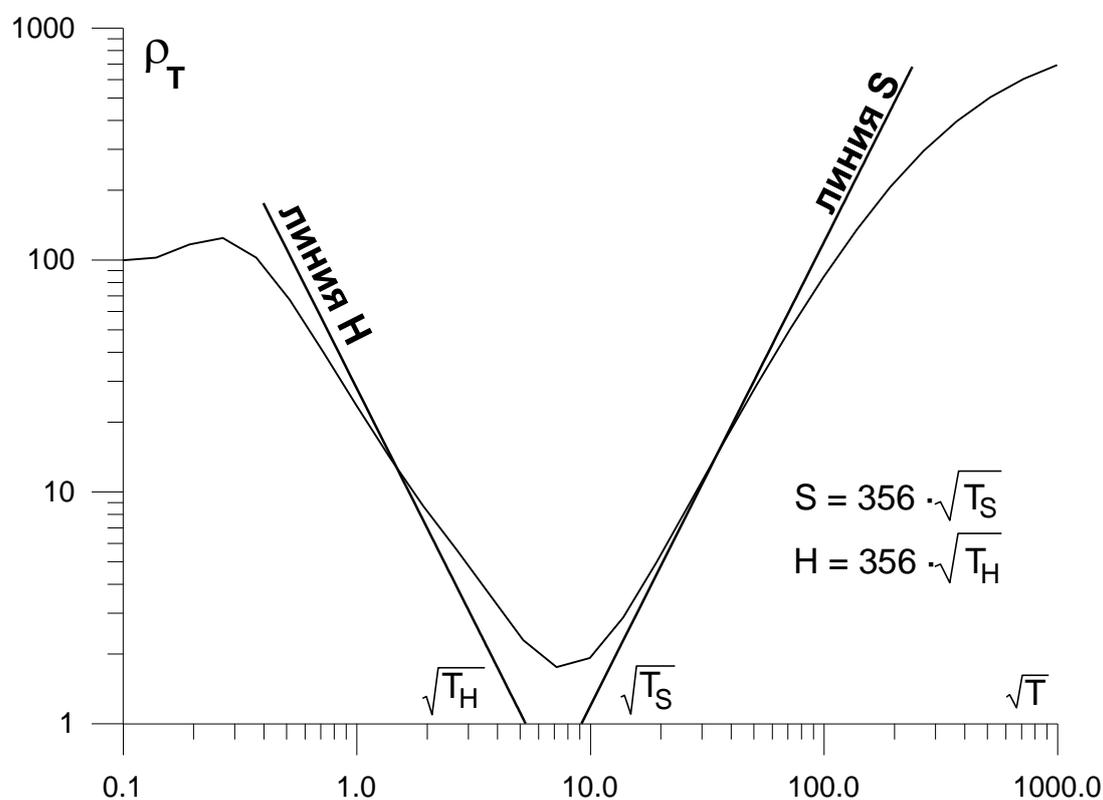


Рис. 3. Определение интегральных характеристик среды по линиям S и H.

S (в Сименсах) и мощность H (в метрах).

При этом параметры S и H определяются тем лучше, чем ближе к $63^\circ 25'$ углы наклона восходящих и нисходящих ветвей кривой МТЗ и чем менее она искажена влиянием горизонтальных неоднородностей.

3. Сущность и роль трансформаций кривых МТЗ

Термин «трансформации» применяется практически во всех областях разведочной геофизики. При этом методы трансформации зачастую относят к методам интерпретации. На наш взгляд, между этими группами методов можно провести четкую границу. Под методами трансформации следует понимать строго формализованные способы преобразования данных в более удобный вид, не учитывающие априорную информацию. В отличие от них, методы интерпретации тем или иным способом учитывают априорную информацию.

Рассматриваемые трансформации кривых МТЗ предназначены для преобразования кривых кажущегося сопротивления $\rho_T(\sqrt{T})$ в кривые, определяющие зависимость сопротивления от глубины $\tilde{\rho}(z)$. Сопротивление $\tilde{\rho}$ и глубина z , конечно, являются не истинными, а приближенными («действующими»), но при благоприятных условиях они неплохо аппроксимируют разрез.

Трансформации в методе МТЗ применяются чаще, чем в методе ВЭЗ, по трем следующим причинам :

1. В МТЗ кривые кажущегося сопротивления отражают его зависимость от корня из периода колебаний \sqrt{T} , а не от разноса $AB/2$, как в ВЭЗ. В то время, как разнос $AB/2$, измеряемый в метрах, уже дает некоторое представление о глубинах, на которых залегает тот или иной слой, \sqrt{T} затрудняет непосредственное (по кривой) сопоставление некоторого проявившегося на кривой слоя с соответствующей глубиной залегания.
2. В ВЭЗ отсутствует H - эквивалентность, поэтому глубина залегания слоев определяется неоднозначно - глубинность исследований падает с увеличением контрастности разреза. Для определения этих глубин необходимо привлечение априорной информации, которая в методах трансформации не учитывается. Поэтому в ВЭЗ методы трансформации могут дать неверные глубины. В то же время в МТЗ за счет H - эквивалентности методы трансформации устойчиво определяют глубины до проводников.
3. Горизонтальные неоднородности в МТЗ сказываются сильнее, чем в ВЭЗ, поскольку кажущееся сопротивление в этом случае пропорционально не

напряженности электрического поля, а ее квадрату (в электрическом поле горизонтальные неоднородности, особенно приповерхностные, сказываются сильнее, чем в магнитном). Более того, в МТЗ вопрос об искажении кривых горизонтальными неоднородностями среды встал раньше, чем в ВЭЗ, поскольку в МТЗ почти изначально определялись кривые, относящиеся к ортогональным азимутам ($\rho_T^{xy}(\sqrt{T})$ и $\rho_T^{yx}(\sqrt{T})$). Эти кривые достаточно часто не совпадали между собой. Поэтому понимание того, что в условиях горизонтально-неоднородных сред нет необходимости детально подбирать разрез в рамках одномерной модели, пришло в МТЗ раньше, и методы простого и быстрого получения грубой информации о среде получили в МТЗ большее распространение.

В рамках данной работы мы будем рассматривать лишь трансформации отдельных кривых МТЗ. Однако заметим, что в настоящее время трансформации часто применяют к серии кривых, полученных по профилю, что позволяет быстро получать предварительные геоэлектрические разрезы по этим профилям.

4. Трансформация Ниблетта

Идея трансформации Ниблетта была предложена ленинградским ученым А.А. Петровским еще в 30-е годы, однако была основательно забыта. Позднее эту трансформацию ввели Е. Ниблетт и С. Сент-Виттгенштейн, а еще много лет спустя - Ф. Бостик. Рассмотрим способ, которым она была получена.

Известно, что в частотном интервале, отвечающем восходящей под $63^{\circ}25'$ под влиянием изолятора ветви кривой кажущегося сопротивления, модуль импеданса $|Z|$ обратно пропорционален суммарной продольной проводимости S толщи, залегающей над этим изолятором :

$$|Z| = 1/S$$

Что же касается частотного интервала, отвечающего нисходящей под $63^{\circ}25'$ под влиянием проводника ветви кривой кажущегося сопротивления, то в нем $|Z|$ прямо пропорционален глубине до этого проводника H :

$$|Z| = \omega\mu_0 H$$

Здесь ω - круговая частота, а μ_0 - магнитная проницаемость вакуума.

Кажущееся сопротивление ρ_T связано с $|Z|$ соотношением $\rho_T = |Z|^2 / (\omega\mu_0)$, из которого легко получается формула $|Z| = \sqrt{\rho_T \omega\mu_0}$. Подставляя ее в приведенные выше соотношения для частотных интервалов и выражая S и H , получим :

$$S = 1 / \sqrt{\rho_T \omega\mu_0} \quad (4.1)$$

$$H = \sqrt{\rho_T} / \sqrt{\omega\mu_0} \quad (4.2)$$

для интервалов, отвечающих восходящей и нисходящей ветвям соответственно.

Получаемые в общем случае по этим формулам значения называют действующей проводимостью \tilde{S} и действующей глубиной \tilde{z} . Они могут быть сопоставлены любой точке кривой МТЗ и быть получены не путем расчета по формулам, а графически путем построения линий S и H (рис. 4), как в способе определения интегральных характеристик среды по асимптотам.

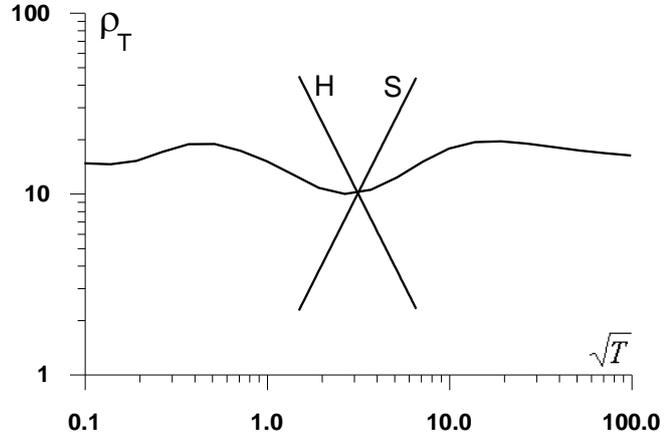


Рис. 4. Линии S и H , проведенные через произвольную точку кривой МТЗ.

Как известно, проводимость S приповерхностного слоя мощностью H (рис. 5) связана с удельной электропроводностью среды $\sigma(z)$ и удельным

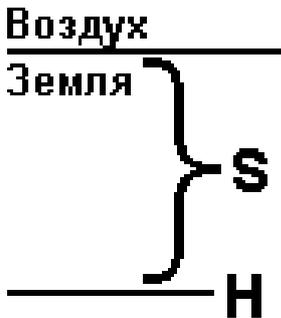


Рис. 5. К выводу формулы для проводимости.

сопротивлением $\rho(z)$ в интервале глубин z от земной поверхности до H соотношением :

$$S = \int_0^H \sigma(z) dz = \int_0^H \frac{1}{\rho(z)} dz$$

Тогда, очевидно :

$$\sigma(z) = 1 / \rho(z) = dS / dz$$

Отсюда :

$$\rho(z) = dz / dS$$

Подставляя вместо проводимости S и глубины z действующую проводимость \tilde{S} и действующую глубину \tilde{z} , получим аналогичное выражение для действующего (аппроксимирующего истинное) сопротивления $\tilde{\rho}$:

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = d\tilde{z} / d\tilde{S} \quad (4.3)$$

Для определения связи \tilde{S} и \tilde{z} с кажущимся сопротивлением ρ_T применим формулы (4.1) и (4.2), полученные для S и H на восходящей и нисходящей ветвях. Тогда

$$\tilde{S} = 1 / \sqrt{\rho_T \omega \mu_0} \quad \text{и} \quad \tilde{z} = \sqrt{\rho_T} / \sqrt{\omega \mu_0}$$

Переходя от частоты ω к периоду T , получим :

$$\tilde{S} = \sqrt{T} / \sqrt{\rho_T 2\pi\mu_0} \quad \text{и} \quad \tilde{z} = \sqrt{T} \sqrt{\rho_T} / \sqrt{2\pi\mu_0}$$

При этом, очевидно, \tilde{S} и \tilde{z} , а следовательно и $\tilde{\rho}$, являются функциями ρ_T и \sqrt{T} .

Теперь формулу (4.3) можно записать в виде :

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \frac{d(\sqrt{T} \sqrt{\rho_T} / \sqrt{2\pi\mu_0})}{d(\sqrt{T} / \sqrt{\rho_T 2\pi\mu_0})}$$

Сокращая присутствующий в числителе и знаменателе постоянный множитель $\sqrt{2\pi\mu_0}$, получим :

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \frac{d(\sqrt{T} \sqrt{\rho_T})}{d(\sqrt{T} / \sqrt{\rho_T})}$$

Помня, что ρ_T является функцией \sqrt{T} , распишем дифференциалы :

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \rho_T \frac{\sqrt{\rho_T} d\sqrt{T} + \sqrt{T} d\sqrt{\rho_T}}{\sqrt{\rho_T} d\sqrt{T} - \sqrt{T} d\sqrt{\rho_T}}$$

С учетом того, что $d\sqrt{\rho_T} = \frac{d\rho_T}{2\sqrt{\rho_T}}$, формула примет вид :

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \rho_T \frac{\sqrt{\rho_T} d\sqrt{T} + \sqrt{T} d\rho_T / 2\sqrt{\rho_T}}{\sqrt{\rho_T} d\sqrt{T} - \sqrt{T} d\rho_T / 2\sqrt{\rho_T}}$$

Помножим числитель и знаменатель на $2 / \sqrt{\rho_T T}$:

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \rho_T \frac{2d\sqrt{T} / \sqrt{T} + d\rho_T / \rho_T}{2d\sqrt{T} / \sqrt{T} - d\rho_T / \rho_T}$$

Теперь разделим числитель и знаменатель на $d\sqrt{T} / \sqrt{T}$:

$$\tilde{\rho}(\tilde{z}) = \rho_T \frac{2 + \frac{d\rho_T}{\rho_T} / \frac{d\sqrt{T}}{\sqrt{T}}}{2 - \frac{d\rho_T}{\rho_T} / \frac{d\sqrt{T}}{\sqrt{T}}}$$

Вводя обозначение

$$\frac{d\rho_T}{\rho_T} / \frac{d\sqrt{T}}{\sqrt{T}} = d \log \rho_T / d \log \sqrt{T} = m \quad (4.4)$$

окончательно записываем :

$$\tilde{\rho}(z) = \rho_T \frac{2+m}{2-m} \quad (4.5)$$

Нетрудно заметить, что параметр m имеет простой геометрический смысл, а именно равен тангенсу угла наклона кривой кажущегося сопротивления.

Формулы (4.4) и (4.5) позволяют пересчитывать кажущееся сопротивление ρ_T и соответствующий корень из периода \sqrt{T} в действующее сопротивление $\tilde{\rho}$, а полученная нами ранее формула

$$z = \sqrt{\rho_T / (\omega \mu_0)}$$

позволяет пересчитывать их в отвечающую этому действующему сопротивлению действующую глубину \tilde{z} .

Напомним, что толщина скин-слоя (глубина, на которой поле затухает в e раз), равна

$$h_\delta = \sqrt{2\rho_T / (\omega \mu_0)}$$

Следовательно, можно записать, что

$$\tilde{z} = h_\delta / \sqrt{2}$$

5. Трансформации Молочного - Ле Вьета и Шмукера - Ле Вьета

Приведем (без вывода) формулы, описывающие трансформации, предложенные Г.В. Молочным, В.Г. Секриеру и немецким геофизиком У. Шмукером и затем обобщенные М.Н. Бердичевским и Ле Вьетом.

А) Дифференциальная трансформация Молочнова - Ле Вьета.

$$\tilde{\rho}(z) = \rho_T \cdot (1 + m / 2)^2 \quad \text{для нисходящей ветви кривой } \rho_T$$

$$\tilde{\rho}(z) = \rho_T / (1 - m / 2)^2 \quad \text{для восходящей ветви кривой } \rho_T$$

Б) Алгебраическая трансформация Молочнова - Ле Вьета.

$$\tilde{\rho}(z) = 4\rho_T \cdot (1 + 2\varphi_T / \pi)^2 \quad \text{для нисходящей ветви кривой } \rho_T$$

$$\tilde{\rho}(z) = \pi^2 \rho_T / (4\varphi_T)^2 \quad \text{для восходящей ветви кривой } \rho_T$$

В) Дифференциальная трансформация Шмукера - Ле Вьета.

$$\begin{cases} \tilde{\rho}(z) = 2\rho_T \cdot \cos^2[\pi(1-m/2)/4] \\ z = \sqrt{\rho_T / (\omega\mu_0)} \sin[\pi(1-m/2)/4] \end{cases} \text{ для нисходящей ветви кривой } \rho_T$$

$$\begin{cases} \tilde{\rho}(z) = 0.5\rho_T / \sin^2[\pi(1-m/2)/4] \\ z = \sqrt{\rho_T / (\omega\mu_0)} \cos[\pi(1-m/2)/4] \end{cases} \text{ для восходящей ветви кривой } \rho_T$$

Г) Алгебраическая трансформация Шмукера - Ле Вьета.

$$\begin{cases} \tilde{\rho}(z) = 2 \operatorname{Re}(Z)^2 / (\omega\mu_0) \\ z = |\operatorname{Im}(Z)| / (\omega\mu_0) \end{cases} \text{ для нисходящей ветви кривой } \rho_T$$

$$\begin{cases} \tilde{\rho}(z) = 0.5 / (\operatorname{Im}(Y)^2 \omega\mu_0) \\ z = |\operatorname{Re}(Z)| / (\omega\mu_0) \end{cases} \text{ для восходящей ветви кривой } \rho_T$$

В этих формулах φ_T - фаза импеданса (в радианах), Z - импеданс, Y - адмитанс ($Y = 1/Z$). Производная m рассчитывается так же, как в трансформации Ниблетта. Действующая глубина z в случае трансформаций Молочнова - Ле Вьета рассчитывается так же, как в случае трансформации Ниблетта.

Трансформации Молочнова - Ле Вьета основаны на тех же допущениях, что и трансформация Ниблетта - на формулах (4.1) и (4.2). Однако при их выводе восходящие и нисходящие ветви кривой ρ_T рассматривались отдельно.

Трансформации Шмукера - Ле Вьета основаны на асимптотических формулах, справедливых для восходящей и нисходящей ветвей кривых для двухслойной модели. Для такой модели эти формулы более точны, чем формулы (4.1) и (4.2), в которых сопротивление нижележащего слоя считаются равными бесконечности (для восходящей ветви) и нулю (для нисходящей). Идея трансформаций Шмукера - Ле Вьета заключается в применении этих формул, справедливых для двухслойной модели, к многослойной среде.

Связь между соответствующими алгебраическими и дифференциальными трансформациями осуществляется с помощью приближенного соотношения между кажущимся сопротивлением ρ_T и фазой импеданса φ_T . Напомним, что оно записывается в виде

$$\frac{d \log \rho_T}{d \log \sqrt{T}} \approx 2 + \frac{8}{\pi} \varphi_T$$

Преимущество дифференциальных трансформаций состоит в том, что не нужно знать φ_T , а алгебраических - в том, что не нужно дифференцировать кривую ρ_T .

6. Особенности программирования трансформаций кривых МТЗ

При программировании приведенных формул следует учитывать четыре следующих обстоятельства :

1. При расчете производной m следует пользоваться разностным способом. В этом случае

$$m = \frac{\log(\rho_T^{i+1}) - \log(\rho_T^i)}{\log(\sqrt{T^{i+1}}) - \log(\sqrt{T^i})}$$

Здесь индекс i обозначает значения \sqrt{T} и ρ_T для текущего, а $i+1$ - для последующего периода. Поскольку для самого большого периода последующего значения не существует, соответствующую точку на кривой приходится отбрасывать.

2. Поскольку рассчитанную таким образом производную m правильнее относить к такому \sqrt{T} , который расположен посередине между $\sqrt{T^i}$ и $\sqrt{T^{i+1}}$, то для дифференциальных трансформаций при расчете $\tilde{\rho}$ и \tilde{Z} следует использовать средние по этим двум корням из периода значения величин (\sqrt{T} , ρ_T , φ_T , Z и Y). При том для величин, меняющихся в логарифмическом масштабе \sqrt{T} , ρ_T , Z и Y следует брать среднее геометрическое значение, а для φ_T , меняющейся в арифметическом масштабе, среднее арифметическое.
3. При определении того, является ли ветвь кривой восходящей или нисходящей, нужно сравнивать соседние значения кажущегося сопротивления (ρ_T^i и ρ_T^{i+1}).
4. Модуль импеданса $|Z|$ может быть получен из соответствующего значения кажущегося сопротивления ρ_T : $|Z| = \sqrt{\rho_T \omega \mu_0}$.

7. Контрольные вопросы

1. Общий граф обработки и интерпретации данных МТЗ.
2. Принцип эквивалентности для разных методов зондирования.
3. Определение интегральных характеристик среды по кривым МТЗ.
4. Сущность трансформаций кривых МТЗ.
5. Отличие методов трансформации от методов интерпретации.
6. Почему в МТЗ методы трансформаций распространены, а в ВЭЗ - нет?
7. Трансформация Ниблетта.

8. На чем основаны трансформации Молочнова - Ле Вьета и Шмукера - Ле Вьета?
9. Связь алгебраических и дифференциальных трансформаций.
10. Разностный расчет тангенса угла наклона кривой кажущегося сопротивления.
11. Каков тип полученного разреза? На каких глубинах залегают проводники?

8. Литература

1. М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. Москва, Недра, 1992.
2. М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев и др. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. Москва, Диалог-МГУ, 1997.
3. Ле Вьет Зы Хыонг, М.Н. Бердичевский. Обобщение метода Шмукера для интерпретации МТ-зондирований. Физика Земли, 1984, № 2, стр. 108-114.
4. Ле Вьет Зы Хыонг, М.Н. Бердичевский. Обобщение метода Молочнова - Секриеру для интерпретации магнитотеллурических зондирований. Физика Земли, 1986, № 8, стр. 100-105.

9. Варианты

Вариант 1.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	17.000	-45.00	5.17950	41.091	-61.02	268.26998	12.151	-73.40
0.13895	16.994	-44.99	7.19690	26.905	-60.97	372.76001	7.201	-77.80
0.19307	17.077	-44.97	10.00000	19.498	-53.32	517.95001	4.132	-79.50
0.26827	16.982	-45.83	13.89500	19.118	-42.68	719.69000	2.385	-79.31
0.37276	15.271	-45.64	19.30699	24.365	-36.88	1000.00000	1.412	-77.81
0.51795	13.909	-39.33	26.82700	31.799	-38.64	1389.50000	0.868	-75.35
0.71969	16.474	-29.58	37.27600	35.418	-44.87	1930.69995	0.560	-72.18
1.00000	25.068	-23.90	51.79499	32.783	-51.03	2682.69995	0.383	-68.58
1.38950	40.558	-25.40	71.96900	27.255	-54.13	3727.60009	0.278	-64.80
1.93070	58.288	-33.48	100.00000	23.863	-54.58	5179.50000	0.215	-61.14
2.68270	65.085	-44.78	138.94999	22.401	-58.12	7196.89990	0.176	-57.80
3.72760	56.637	-54.69	193.07000	18.306	-66.00	10000.00000	0.151	-54.92

Вариант 2.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	49.984	-44.98	5.17950	30.921	-42.74	268.26998	8.777	-75.40
0.13895	50.289	-45.03	7.19690	37.413	-30.07	372.76001	5.656	-72.26
0.19307	49.444	-45.89	10.00000	58.157	-22.21	517.95001	3.860	-68.66
0.26827	44.539	-44.83	13.89500	100.114	-21.54	719.69000	2.804	-64.89
0.37276	43.306	-38.27	19.30699	163.541	-28.66	1000.00000	2.166	-61.21
0.51795	55.032	-31.30	26.82700	211.759	-42.60	1389.50000	1.770	-57.86
0.71969	82.011	-30.96	37.27600	189.526	-58.30	1930.69995	1.519	-54.97
1.00000	112.864	-38.82	51.79499	126.465	-69.89	2682.69995	1.355	-52.58
1.38950	115.288	-51.41	71.96900	74.264	-76.26	3727.60009	1.246	-50.68
1.93070	83.986	-60.99	100.00000	42.279	-78.87	5179.50000	1.172	-49.22
2.68270	52.628	-62.46	138.94999	24.273	-79.10	7196.89990	1.121	-48.10
3.72760	35.415	-55.39	193.07000	14.314	-77.78	10000.00000	1.086	-47.27

Вариант 3.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	50.000	-45.00	5.17950	38.200	-64.20	268.26998	10.209	-76.80
0.13895	49.989	-44.96	7.19690	26.169	-56.26	372.76001	5.852	-79.57
0.19307	50.440	-45.15	10.00000	24.133	-44.09	517.95001	3.334	-80.12
0.26827	48.490	-46.15	13.89500	30.866	-35.77	719.69000	1.934	-79.16
0.37276	43.147	-43.62	19.30699	43.751	-36.27	1000.00000	1.158	-77.11
0.51795	44.807	-35.99	26.82700	53.265	-44.46	1389.50000	0.725	-74.27
0.71969	60.705	-30.34	37.27600	47.536	-54.31	1930.69995	0.478	-70.85
1.00000	89.839	-32.12	51.79499	34.571	-58.41	2682.69995	0.335	-67.11
1.38950	115.268	-40.83	71.96900	27.151	-56.53	3727.60009	0.249	-63.33
1.93070	112.445	-51.74	100.00000	25.670	-56.28	5179.50000	0.197	-59.76
2.68270	88.023	-60.07	138.94999	23.278	-62.58	7196.89990	0.165	-56.59
3.72760	60.436	-64.84	193.07000	16.761	-70.96	10000.00000	0.144	-53.91

Вариант 4.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	16.999	-44.99	5.17950	27.470	-57.63	268.26998	12.567	-74.37
0.13895	16.999	-45.00	7.19690	19.932	-51.11	372.76001	7.397	-78.38
0.19307	17.010	-44.95	10.00000	19.517	-39.87	517.95001	4.231	-79.86
0.26827	17.152	-45.32	13.89500	26.011	-32.34	719.69000	2.438	-79.56
0.37276	16.161	-46.19	19.30699	37.786	-32.80	1000.00000	1.440	-78.01
0.51795	14.324	-42.60	26.82700	48.093	-39.71	1389.50000	0.884	-75.52
0.71969	15.319	-34.05	37.27600	48.560	-48.42	1930.69995	0.569	-72.35
1.00000	21.418	-27.85	51.79499	40.799	-54.88	2682.69995	0.388	-68.74
1.38950	32.748	-28.68	71.96900	31.746	-57.35	3727.60009	0.282	-64.96
1.93070	44.678	-36.01	100.00000	26.648	-57.16	5179.50000	0.217	-61.28
2.68270	48.243	-46.27	138.94999	24.183	-60.21	7196.89990	0.177	-57.92
3.72760	39.962	-55.22	193.07000	19.229	-67.52	10000.00000	0.152	-55.02

Вариант 5.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	69.999	-44.99	5.17950	8.930	-45.65	268.26998	2.910	-64.86
0.13895	70.020	-45.00	7.19690	10.698	-31.75	372.76001	2.233	-61.40
0.19307	69.658	-44.98	10.00000	16.827	-24.40	517.95001	1.813	-58.13
0.26827	70.548	-44.23	13.89500	28.202	-25.61	719.69000	1.547	-55.24
0.37276	77.021	-44.87	19.30699	41.810	-34.84	1000.00000	1.373	-52.83
0.51795	81.664	-50.02	26.82700	46.042	-48.87	1389.50000	1.258	-50.89
0.71969	72.470	-57.63	37.27600	36.431	-61.53	1930.69995	1.180	-49.38
1.00000	54.105	-63.65	51.79499	23.832	-69.24	2682.69995	1.127	-48.23
1.38950	37.426	-66.51	71.96900	14.719	-72.46	3727.60009	1.090	-47.36
1.93070	25.624	-67.40	100.00000	9.164	-72.67	5179.50000	1.064	-46.72
2.68270	16.676	-66.20	138.94999	5.921	-70.99	7196.89990	1.045	-46.25
3.72760	10.909	-59.15	193.07000	4.029	-68.20	10000.00000	1.032	-45.90

Вариант 6.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	200.079	-45.01	5.17950	32.310	-36.30	268.26998	8.144	-72.26
0.13895	198.491	-44.95	7.19690	40.945	-40.44	372.76001	5.338	-70.28
0.19307	202.902	-43.85	10.00000	42.198	-47.98	517.95001	3.690	-67.33
0.26827	231.048	-44.99	13.89500	34.062	-53.09	719.69000	2.707	-63.95
0.37276	249.925	-52.69	19.30699	25.985	-50.38	1000.00000	2.109	-60.53
0.51795	207.281	-63.90	26.82700	25.038	-42.45	1389.50000	1.735	-57.35
0.71969	131.890	-72.42	37.27600	31.797	-38.36	1930.69995	1.496	-54.59
1.00000	74.013	-75.44	51.79499	41.259	-43.24	2682.69995	1.340	-52.30
1.38950	41.174	-72.63	71.96900	42.016	-54.11	3727.60009	1.236	-50.48
1.93070	25.460	-63.75	100.00000	32.027	-64.30	5179.50000	1.165	-49.06
2.68270	20.657	-50.49	138.94999	20.802	-70.36	7196.89990	1.116	-47.99
3.72760	23.740	-39.43	193.07000	12.930	-72.61	10000.00000	1.082	-47.18

Вариант 7.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	4.999	-44.99	5.17950	4.238	-53.21	268.26998	5.623	-82.05
0.13895	4.999	-45.00	7.19690	3.669	-39.85	372.76001	3.164	-81.42
0.19307	5.004	-44.95	10.00000	4.668	-25.65	517.95001	1.829	-79.75
0.26827	5.038	-45.37	13.89500	7.724	-16.72	719.69000	1.097	-77.27
0.37276	4.730	-45.98	19.30699	14.083	-13.96	1000.00000	0.689	-74.15
0.51795	4.308	-42.09	26.82700	25.706	-17.05	1389.50000	0.457	-70.57
0.71969	4.815	-34.90	37.27600	42.844	-26.50	1930.69995	0.322	-66.74
1.00000	6.660	-31.82	51.79499	55.653	-42.01	2682.69995	0.242	-62.93
1.38950	9.191	-36.00	71.96900	49.202	-58.84	3727.60009	0.193	-59.38
1.93070	10.512	-45.12	100.00000	32.126	-71.16	5179.50000	0.162	-56.25
2.68270	9.124	-54.70	138.94999	18.390	-78.06	7196.89990	0.142	-53.62
3.72760	6.273	-58.65	193.07000	10.162	-81.21	10000.00000	0.129	-51.50

Вариант 8.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	29.999	-45.00	5.17950	12.292	-30.69	268.26998	11.168	-75.29
0.13895	30.004	-45.00	7.19690	17.633	-28.28	372.76001	7.036	-73.16
0.19307	29.942	-45.02	10.00000	23.331	-30.22	517.95001	4.668	-70.13
0.26827	29.933	-44.59	13.89500	26.929	-30.79	719.69000	3.285	-66.61
0.37276	31.612	-44.43	19.30699	33.505	-27.44	1000.00000	2.460	-62.97
0.51795	33.876	-47.49	26.82700	49.886	-26.46	1389.50000	1.954	-59.49
0.71969	32.293	-53.36	37.27600	75.195	-32.75	1930.69995	1.637	-56.38
1.00000	26.533	-59.22	51.79499	90.909	-45.72	2682.69995	1.432	-53.75
1.38950	18.780	-62.92	71.96900	77.751	-59.73	3727.60009	1.297	-51.61
1.93070	12.291	-60.61	100.00000	51.705	-69.52	5179.50000	1.207	-49.93
2.68270	9.173	-51.10	138.94999	31.120	-74.48	7196.89990	1.145	-48.64
3.72760	9.322	-38.98	193.07000	18.446	-75.99	10000.00000	1.102	-47.67

Вариант 9.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	10.000	-45.00	5.17950	17.567	-32.68	268.26998	6.035	-72.34
0.13895	9.998	-44.99	7.19690	24.141	-25.58	372.76001	4.086	-69.00
0.19307	10.022	-44.98	10.00000	36.330	-23.14	517.95001	2.940	-65.35
0.26827	9.996	-45.40	13.89500	55.435	-23.94	719.69000	2.250	-61.71
0.37276	9.502	-45.34	19.30699	84.499	-29.47	1000.00000	1.823	-58.33
0.51795	9.019	-42.48	26.82700	110.233	-41.37	1389.50000	1.553	-55.38
0.71969	9.533	-37.21	37.27600	103.797	-56.01	1930.69995	1.377	-52.93
1.00000	11.833	-32.75	51.79499	72.732	-67.50	2682.69995	1.261	-50.96
1.38950	16.029	-32.63	71.96900	44.255	-73.97	3727.60009	1.182	-49.43
1.93070	19.964	-37.84	100.00000	25.970	-76.56	5179.50000	1.128	-48.26
2.68270	19.332	-43.29	138.94999	15.394	-76.61	7196.89990	1.090	-47.39
3.72760	16.669	-41.21	193.07000	9.422	-75.01	10000.00000	1.064	-46.74

Вариант 10.

Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T	Srqt(T)	Rho_T	Phi_T
0.10000	100.006	-45.02	5.17950	16.568	-32.21	268.26998	15.400	-77.45
0.13895	99.425	-44.89	7.19690	24.739	-22.66	372.76001	9.412	-75.46
0.19307	101.919	-44.19	10.00000	41.136	-19.43	517.95001	6.026	-72.57
0.26827	111.149	-45.54	13.89500	66.619	-21.58	719.69000	4.079	-69.12
0.37276	113.980	-50.97	19.30699	95.749	-27.08	1000.00000	2.936	-65.40
0.51795	98.405	-57.77	26.82700	122.741	-33.00	1389.50000	2.247	-61.73
0.71969	73.842	-62.58	37.27600	150.438	-40.73	1930.69995	1.822	-58.34
1.00000	52.559	-64.47	51.79499	155.765	-52.59	2682.69995	1.552	-55.38
1.38950	37.800	-64.53	71.96900	120.962	-64.67	3727.60009	1.377	-52.92
1.93070	26.431	-63.44	100.00000	76.699	-72.87	5179.50000	1.260	-50.95
2.68270	18.177	-57.80	138.94999	44.981	-76.96	7196.89990	1.182	-49.42
3.72760	14.717	-46.01	193.07000	26.081	-78.16	10000.00000	1.128	-48.26