

Характеристики петли Моубис ленты

I. Введение

Типичная петля, используемая для измерения временной производной магнитного поля B , состоит из двух участков коаксиального кабеля, который управляет сбалансированным кабелем (twinaх) и имеет только центральные проводники, соединённые для замыкания контура. Такой тип петли показан на рисунке 1. Однако для некоторых приложений можно улучшить этот элемент с помощью того, что можно назвать петлей Моубис-ленты (о чем будет рассказано позже), которая обладает свойствами вдвое большей чувствительности к магнитному полю, но существенно меньшей

sensitivity к переходным **radiation** эффектам.

На протяжении этой заметки более типичная конфигурация петли, которая может называться петлей с разрезной экранирующей оболочкой будет обсуждаться в первую очередь, для целей сравнения с петлей Моубис-ленты. Сравнение будет сделано как по электрическим характеристикам, так и по радиационным характеристикам.

II. Электрические характеристики

A. Петля с разделённой защитой

На рисунке 1 показаны соответствующие электрические параметры для петли разделённой защиты. Источники комптон-токов (I_g и I_{gy}) также показаны и будут обсуждены позже.

Можно увидеть, как этот датчик работает наиболее ясно через рассмотрение симметрии — Замечания. Напряжение V , равное произведению площади петли и EB , накладывается на зазор в коаксиальных кожухах в верхней части. Обе коаксиальные линии эквивалентно представляют собой резистивную нагрузку величиной $Z/2$, и эти нагрузки последовательно соединены, как показано на Рисунок 2. Напряжение затем делится поровну между двумя коаксиальными линиями, и для симметричной конфигурации, показанной на Рисунок 1, две волны складываются, чтобы дать исходное напряжение V в костной ленте Twinaх с импедансом Z . Эта конкретная конструкция подробно обсуждалась Л. Л. Либби в статье Special Aspects of Balanced Shielded Loops, I. R. E., сентябрь 1946 года.

Один момент, который следует обсудить здесь, — это согласование со- коаксиальных кабелей с петлей Twinaх, чтобы отражения не распространялись на этом соединении обратно к открытому участку в коаксиальных линиях вверх петли. Если рассмотреть только дифференциальный сигнал V_g , поступающий на коаксиальные линии, Twinaх **junction**, тогда без общего сигнала по моде (обычному) для распространения по Twinaх это соединение можно рассмотреть как на Рис. 3.

CLEARED
FOR PUBLIC RELEASE
PL/PA 26 02 94
1

Характеристики петли Моубис-ленты

I. Введение

Типичная петля, используемая для измерения производной по времени магнитного поля магнитное поле B строится из двух кусков коаксиального кабеля, которые питают 2 сбалансированных кабеля (twinaх) и имеют только их центральные проводники соединёнными для замыкания петли. Такой вид петли показан на Рисунке 1. Однако можно улучшить это для некоторых применений с помощью того, что можно назвать петлей Моубис-ленты (будет описано позже), которая обладает свойствами двойной чувствительности к магнитному полю, но гораздо меньшей чувствительностью к переходным радиационным эффектам.

На протяжении этого примечания более типичная конфигурация петли, которую можно назвать петлей с разделённой экран-проводкой, будет обсуждаться сначала в целях сравнения с петлей Моубис-ленты. Сравнение будет проводиться как по электрическим характеристикам, так и по характеристикам излучения.

II. Электрические характеристики

A. Петля coSplit Shield

На Рисунке 1 **pertinent** показаны электрические параметры для петли с разделённым экраном. Источники тока I_g и I_{cg} также показаны и будут обсуждены позже.

Можно увидеть, как этот датчик работает наиболее просто, если рассмотреть с симметрией. Симметрично рассмотрение удобнее всего показывает, как работает этот датчик. $4A$ напряжение V , равное произведению тока I на импеданс Z , и запечатывается через зазор в коаксиальных экранах вверху петли. Каждый коаксиальный кабель эквивалентно резистивной нагрузке величины $Z/2$, эти нагрузки соединены последовательно, как показано на Рисунке 2. Напряжение затем делится поровну между двумя коаксиальными линиями, и для симметричной системы на Рисунке 1 две волны объединяются, чтобы дать исходное напряжение V в двухпроводном кабеле twinaх с импедансом Z . Эта конкретная конструкция подробно обсуждалась Л. Л. Либби в *Special Aspects of Balanced Shielded Loops*, I. R. E., Sept. 1946.

Один момент, который здесь следует обсудить, это согласование коаксиальных кабелей в twinaх, чтобы отражения не распространялись из этого соединения обратно к входу в коаксиальные линии вверху петли. Если рассматривать только дифференциальный сигнал, поступающий к соединению коаксиал-twinaх, то без сигнала общего режима для распространения по twinaх

этот junction может быть **considered** как на Рис. 3.

Дифференциальный сигнал появляется на двойной импедансе, Z , который можно рассматривать как две последовательно соединённых резистора величиной $Z/2$. Поскольку напряжение на одном коаксиальном кабеле точно является отрицанием напряжения на втором, точка между этими двумя резисторами находится при нулевом напряжении и может быть, следовательно, подключена к зашитнику. Теперь можно увидеть, что каждый коаксил

(в этом дифференциальном режиме) является **terminated** в своей характеристической импедансе и что отражений нет. Эта методика, безусловно, может быть обобщена для расчета коэффициентов передачи и отражения для сочетаний коаксиальных кабелей и двойной кабельной линии. любой

Это свойство согласования импедансов важно для всех

экранированных контуров, включая развязанный зашитник и петлю Moibus, рассмотренные в этом примечании. Следует отметить, что это свойство имеет место только для дифференциальных сигналов. К счастью, в интересующих случаях, когда петля является сбалансированным устройством, отклик на магнитное поле представляет собой дифференциальный сигнал. Это условие выполняется как для развязанного зашитника, так и для петли Moibus.

петли с зашитниками и петли Moibus. **Another** важная характеристика петли с развязкой — время нарастания при резком изменении входного сигнала. Как показано выше, петля создает два резистивных импеданса Z . Это подразумевает два временных константы для этой петли,

$$\tau_1 = \frac{L}{Z}$$

\$9)

и, в свою очередь, придает рост времени, [A f

1

$$\tau_{r1} \approx 2\tau_1 = 2 \frac{L}{Z}$$

(2)

Это приближение действительно только если полное прохождение по петле меньше рассчитанного времени нарастания.

«Важно помнить, что эта петля является по сути однооборотной петлей с временной константой L/Z .

В. Моибусовый проволочный контур

Рисунок 4 — это изображение моибусового полосового контура. Единственное различие в конструкции по сравнению с отдельным щитковым контуром находится в верхней части петли, где разрез выпадает и сигнал входит в кабельные коаксиальные линии.

Различие в конструкции по сравнению с отдельным щитковым контуром заключается в верхней части петли, где происходит размыкание, и сигнал входит в коаксиальные линии. В моибусовой полосовой петле центральные проводники двух коаксиальных линий не соединены между собой, а каждый из них подключен к экрану противоположной коаксиальной линии. Различие, которое вносит это изменение, впервые демонстрируется путем проследования самой петли. Начиная с буквы А на левом двойном проводнике, можно проследить путь по центральному проводу левой руки петли до точки В и оттуда до точки D на экране правой руки. Продвигаясь по экрану, далее петля обходит до точки С на экране левой руки, а затем к точке Е на центральном проводнике правой руки. Наконец можно проследить путь вниз по центральному проводу правой руки к правому двойном проводнику. Пройденный путь фактически образует двухоборотную петлю и, как таковая, должна иметь вдвое большую чувствительность по сравнению с однооборотной петлей. Таким образом, если V — потенциал, создаваемый вокруг однооборотной петли такого размера, потенциал, появляющийся вокруг этой моибусовой полосовой петли, должен быть $2V$.

Более того, на рисунке 5 обратите внимание, что две руки коаксиального кабеля теперь имеют свои impedances параллельно на зазоре, тогда как на рисунке 2 отдельный щитковый контур имеет эти нагрузки, представленные последовательно. Это означает, что для расчетов частотной характеристики можно рассматривать моибусовый полосовой контур как индуктивность L с импедансом $Z/4$. Это предполагает постоянную времени, τ , для этой петли

$$\tau_2 = 4 L/Z$$

®

Таким образом, при той же структуре контура и impedance кабелей (игнорируя эффекты времени прохождения по структуре контура), частотная характеристика моибусовой полосовой петли составляет одну четверть по сравнению с петлей разделённого щитка.

В дополнение к этому факт того, что коаксиальные линии соединены в параллельно на зазоре означает, что полное напряжение V на зазоре приложено к каждому коаксиальному кабелю, но с противоположной полярностью в каждой коаксиальной линии. Теперь, когда волны достигают двойного аксона, разница будет $2V$, что подтверждает ранее приведенный аргумент, основанный на рассмотрении моибусовой полосовой петли как двухоборотной петли.

Важные электрические характеристики петлевой схемы из моуис-6 strip затем — двойная чувствительность и вчетверо уменьшенная частотная характеристика. Однако это последнее ограничение можно преодолеть, снижая индуктивность петли до той степени, когда время прохождения по структуре петли становится ограничивающим фактором, что обеспечивает одинаковую частотную характеристику обеих петель. Этот аспект проектирования петли будет обсуждаться в другой заметке о сенсоре.

III. Эффекты Комптона-скана тока

A. Общие

С точки зрения измерений EMP уменьшение радиационного шума индуцированные шумовые сигналы важнее, чем повышенная чувствительность к В. Конечно, все это можно объединить как оптимизацию отношения сигнал/шум, но следует отметить, что необходим анализ радиационно индуцированных электрических сигналов в кабелях.

В основном каждый участок кабеля действует как диод Комптона в радиации: гамма отрицательный заряд собирается на поле центрального проводника. поскольку больше высокоэнергетических электронов останавливается в центральном проводнике, чем выдвигается из него из-за поглощения гамма в этом проводнике. Кроме того, если диэлектрик кабеля содержит водородообразующие вещества (например, полиэтилен), центральный проводник будет собирать протоны нейтронно рассеянные, что усложняет картину. Сигналы, создаваемые этими токами, зависят от геометрии датчика и качества использованных методов различения.

B. Разделенная защитная петля

Для петли с разделенной защитой на Рис. 1 ток Комптона представлен как источник тока в каждой ветви петли. Поскольку центральные проводники кабелей не соединены с внешними экранами, этот ток Комптона должен проходить по центральным проводникам двойника. Если определить как сопротивление общего режима Twinaх (то есть отношение среднего значения напряжения на центральных проводниках к векторной сумме токов по этим проводникам), то возникает напряжение общего режима, заданное

$$V_{com} = (I_{c_L} + I_{c_R}) Z'$$

4)

В общем случае, если временем прохождения, характерным для размеров петли, можно пренебречь, то петлю с отдельным экраном можно представить эквивалентной схемой, показанной на рисунке 6. V_p и V_R — это соответственно напряжения на левом и правом выводах $twina$. $V_R - V_p$ представляет любые присутствующие дифференциальные напряжения, а $V_u + V_p$ представляет напряжения общего режима. Из этой эквивалентной схемы можно вывести уравнение (4), а также некоторые другие соотношения. Например, индуктивность петли и любая разница в токах Комптона в двух плечах будут создавать дифференциальный сигнал, V_{dif} , задаваемый как

$$V_{dif} = (V_R - V_L) \Big|_{V=0} = \left(\frac{I_{C_R} - I_{C_L}}{2} \right) \left(\frac{j\omega L}{Z + j\omega L} \right) Z \quad (5)$$

предполагая для этого расчёта, что $V = 0$ и что I_{C_R} и I_{C_L} являются компонентами Фурье токов Комптона на угловой частоте (2). Таким образом, если два коаксиальных кабеля имеют разную чувствительность к излучению или если один кабель экранирует другой от излучения, индуктивность петли приведёт к тому, что эта разница токов Комптона проявится как дифференциальный шумовой сигнал, задаваемый уравнением (5).

По мере того как длительность импульса приближается к характерным временам прохождения петли, приведённые выше приближения перестанут быть справедливыми. Структуру петли следует рассматривать не как сосредоточенную индуктивность, а как 2 закороченные линии передачи, как показал Libby в ранее упомянутой статье. Кроме того, коаксиальные линии, образующие петлю, имеют конечную длину, и поэтому сигнал тока Комптона распределён в пространстве и во времени. Сигнал излучения может приходить к двум коаксиальным линиям в разное время в зависимости от ориентации петли и вызывать ещё один дифференциальный сигнал.

В целом, петля с отдельным экраном обладает шумовыми характеристиками излучения-истиками: (1) сигналом общего режима, пропорциональным интенсивности излучения, и (2) дифференциальным сигналом, пропорциональным любым различиям в токе, индуцированном излучением, для частот, превышающих Z/L , или превышающих обратную величину временных постоянных, характерных для петли. Как показано при рассмотрении петли из полосы Мёбиуса, второй характерный признак также будет присутствовать, но первый будет существенно изменён.

С. Мойбус-ленточный контур

Для контура на основе мойбус-ленты на рисунке 4 ток Комтона снова представлен как источник тока в каждой ветви контура. В отличие от контура с развитыми экранами, центральные проводники обеих коаксиальных линий соединены с внешними экранами, что позволяет токам Комтона замкнуться на контуре, вместо того чтобы протягиваться по двойному коаксиальному кабелю к регистрирующим приборам. Конечно, индуктивность контура играет роль в этом, как показано на эквивалентной схеме низкой частоты контура на рисунке 7. В этом случае сигнал общего режима тождественно равен нулю, то есть,

$$i_+ = 0 \quad (8)$$

Это последнее уравнение верно при условии перехода между двумя коаксиальными линиями в верхней части контура без отражения (см. рисунок 3), чтобы сигнал Комтона, возникающий в одной линии, мог распространяться в другую линию, меняя знак по мере прохождения. Этот нулевой сигнал общего режима также предполагает частоты ниже обратно пропорционального значения времен прохождения в коаксиальных линиях. В качестве приближения, если время прохождения в одной из

коаксиальных линий равно t , а радиационный ток **considered** должен быть сгенерирован равномерно по всей коаксиальной системе, тогда ток общего режима I_{com} может быть рассчитан как

$$I_{com} \sim t \frac{d}{dt} \left(\frac{I_{CR} + I_{CL}}{2} \right) \quad (9)$$

Фактор 2 в токах возникает потому, что источник тока Комтона в любой данной точке возбуждает волну в обоих направлениях в кабеле.

Соответствующее напряжение общего режима, равно

$$V_{com} \approx Z' t_r \frac{d}{dt} \left(\frac{I_{CR} + I_{CL}}{2} \right) \quad (8)$$

Существуют и другие исправления, которые можно внести в эти выражения для сигнал общих режимов, включающий коэффициенты передачи и отражения общего режима в этом соединении, что вызовет токи, текущие обратно по петле и повторно инвертируемые в процессе. Однако форма этого исправления будет зависеть от выбранной формы для токов комптона и снова от производной времени этих токов. Чтобы оценить сигналы общего режима с большей точностью, чем у выражений (7) и (8), требуется детальное рассмотрение геометрии петли и выбранной формы токов комптона.

Этот сигнал общего режима намного меньше, чем сигнал для разделённой мазочной петли экранирования, и по мере уменьшения размеров петли (снижение ty) сигнал общего режима от петли с лентой моибусов становится намного меньше, чем от петли с разделённой экранирующей петлей.

Дифференциальный сигнал шума радиации, V_{4jg} , можно рассчитать для петли с лентой моибуса из эквивалентной цепи на Рисунке 7, дающей результат, схожий с результатом для петли разделённой экранирующей оболочки.

$$\begin{aligned}
 V_{dif} &= 2(LL) \frac{j\omega L Z/4}{Z/4 + j\omega L} \\
 &= \left(\frac{I_{cR} - I_{cL}}{2} \right) Z_{ry} j\omega L \\
 &= \left(\frac{I_{cR} - I_{cL}}{2} \right) Z Z_{+j\omega(4L)}
 \end{aligned}$$

9)

Этот результат подобен уравнению (5), за исключением того, что частота сглаживания всего в четверть ниже. Однако та же характеристика уже встречалась в электрических характеристиках этой петли, и она показывает, что снижение индуктивности петли с лентой моибуса для максимизации частотной характеристики по сравнению с ограничениями времени перехода снизит дифференциальный шумовой сигнал к этим

В принципе дифференциальные сигналы радиационного шума как для развязанного экранированного контура, так и для контура с лентой моубисовского типа можно привести к одному уровню, определяемому характеристиками времени прохода петель.

iv. Выводы

Для одинаковой площади петли лента Моубиса имеет вдвое больший ξ чувствительности по отношению к петле с разделенным экраном, но имеет более низкий частотный отклик при той же индуктивности петли. Еще важнее: петля с лентой Моубиса значительно снижает общие токи радиационного шума в режиме общего режима, встречающиеся в петле с разделенным экраном, и может быть сделана с тем же низким дифференциальным радиационным шумовым сигналом (с использованием **construction**, и т.д.) как у симметричной петли с разделенным экраном.

CARL E. BAUM, 1/LT, USAF 3
декабря 1964

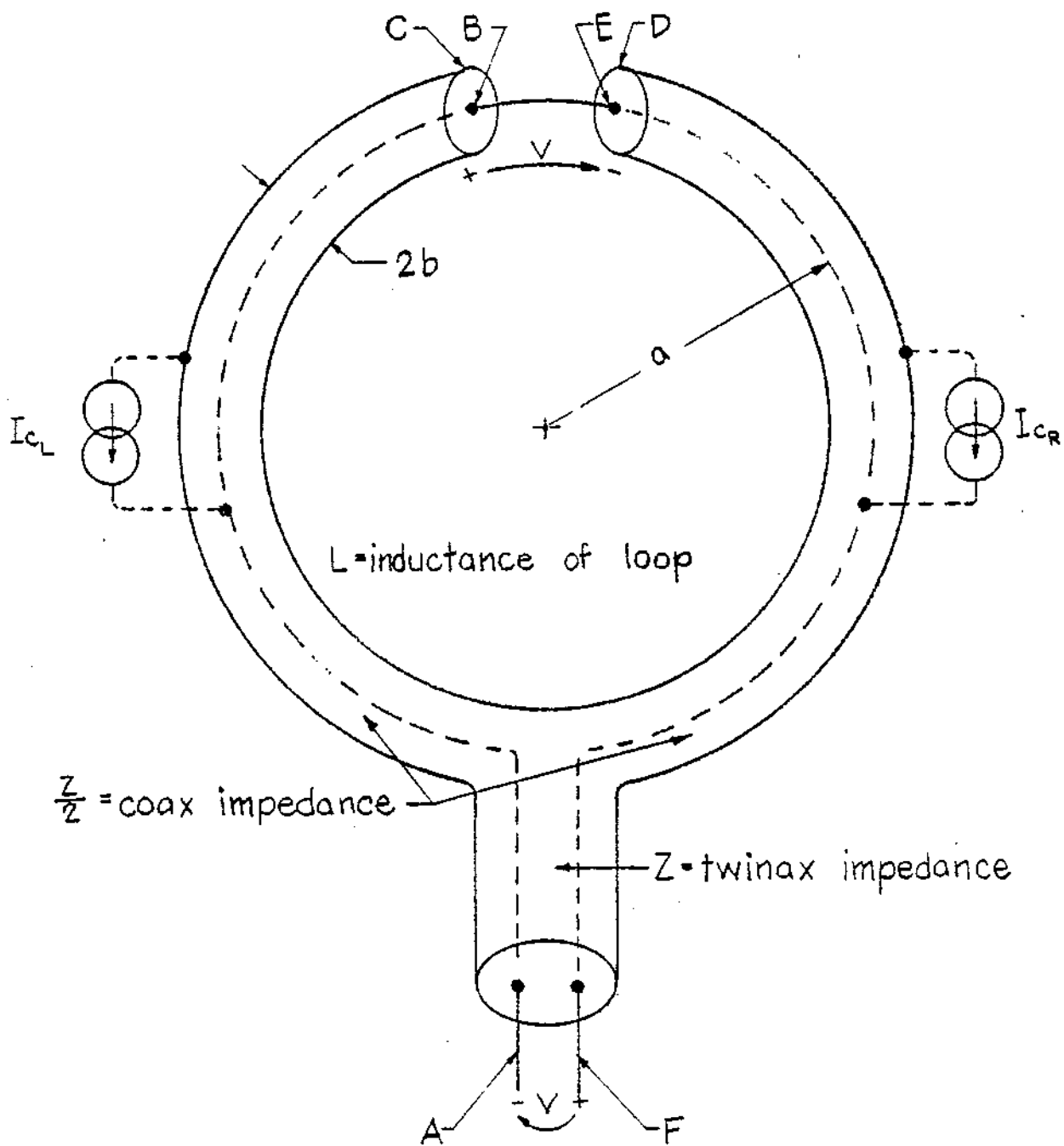


Рис. 1 Разделённый щит Loop

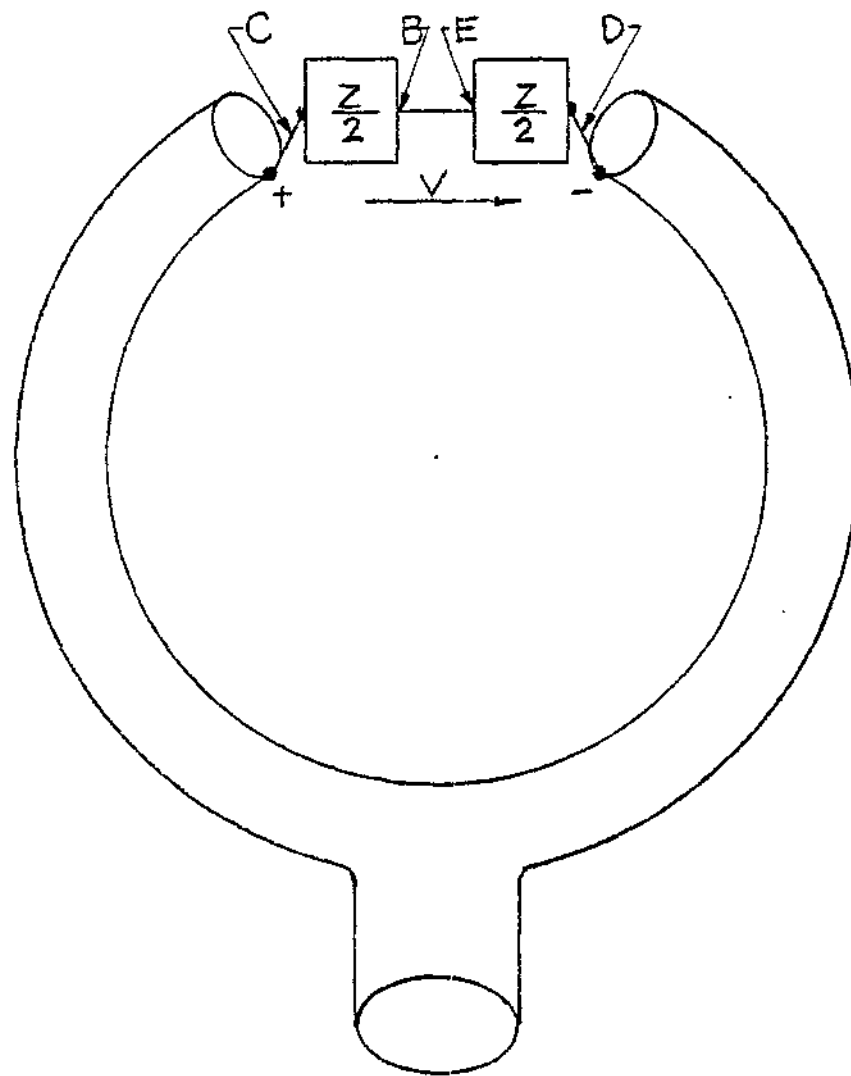
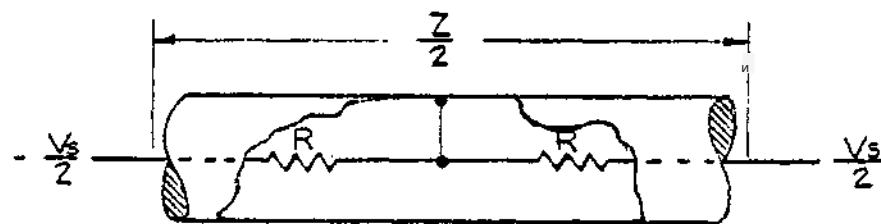
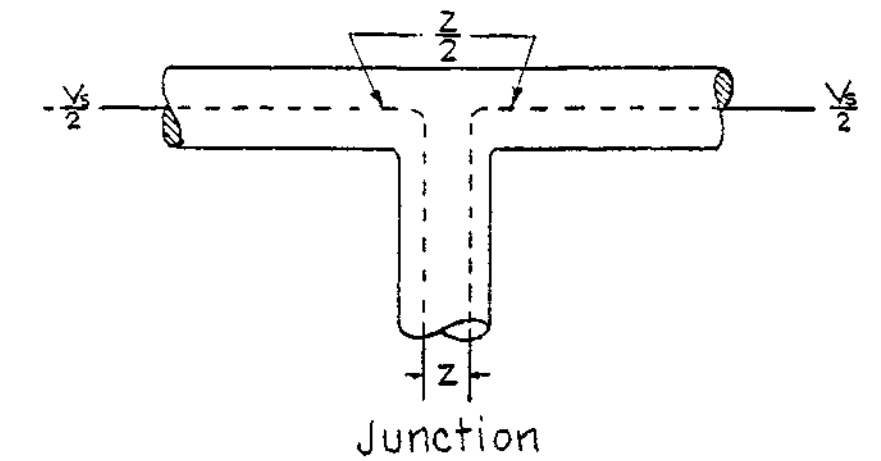


Fig. 2 Load для Split Shield Loop



$$2R = Z$$

R = эквивалентный terminating резистор

Эквивалентная схема

Рис.3 Дифференциальный сигнал на коаксиале до Twinax
соединение

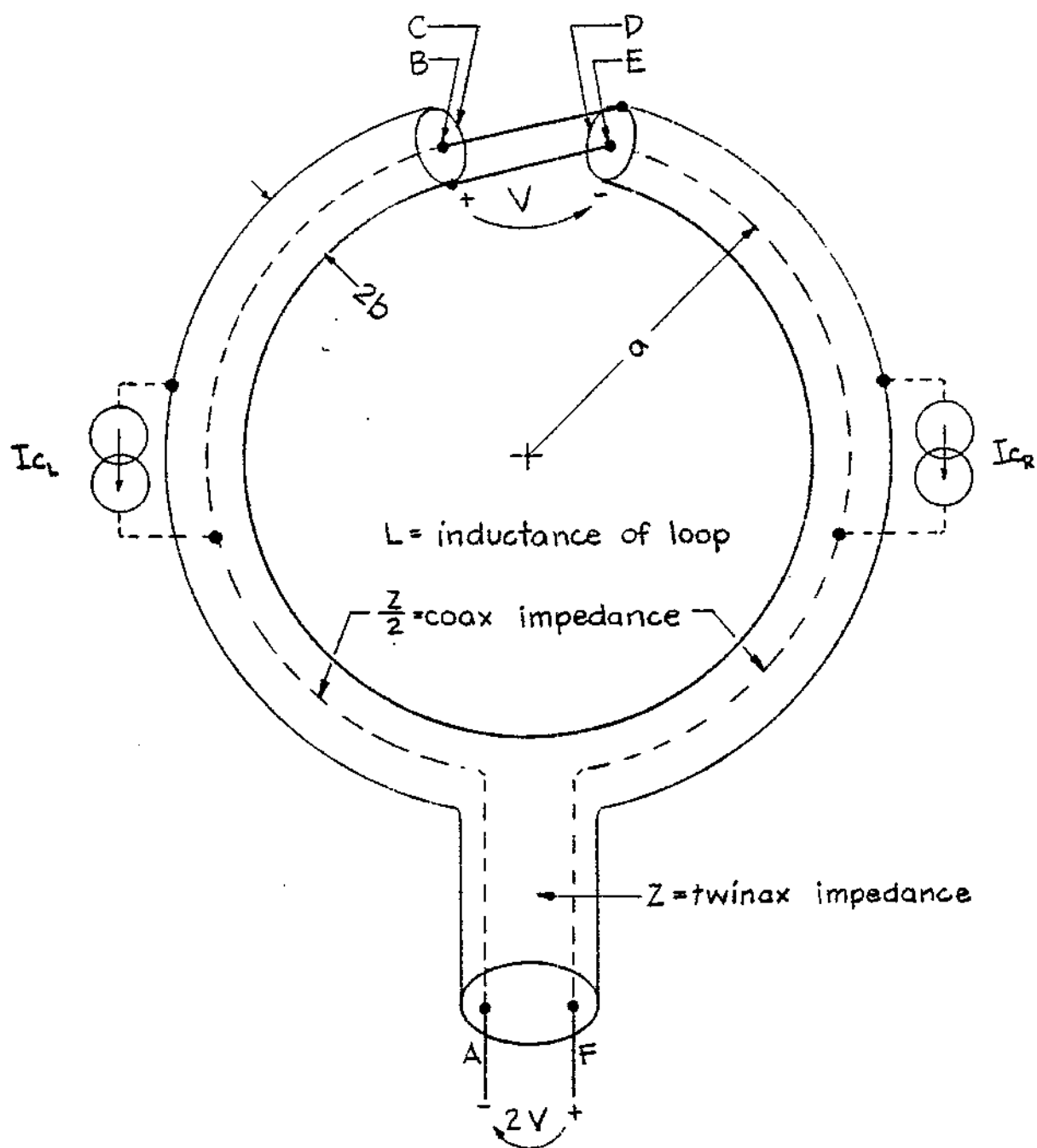


Fig.4 Moibus Стрип Луп

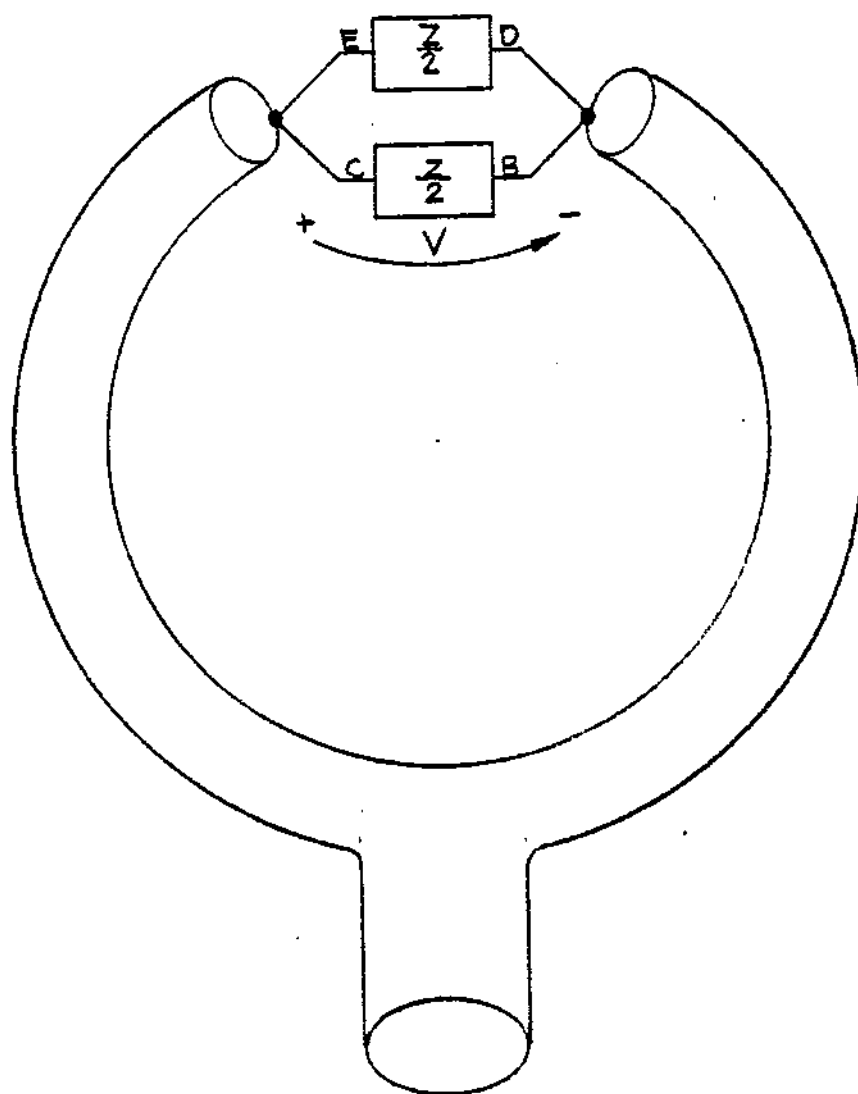
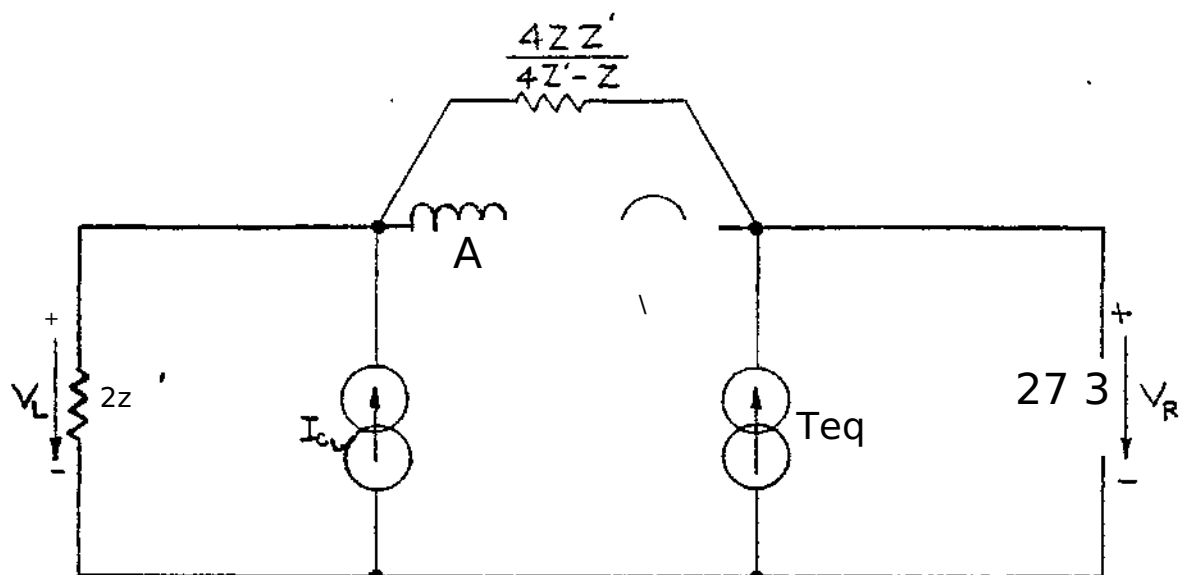
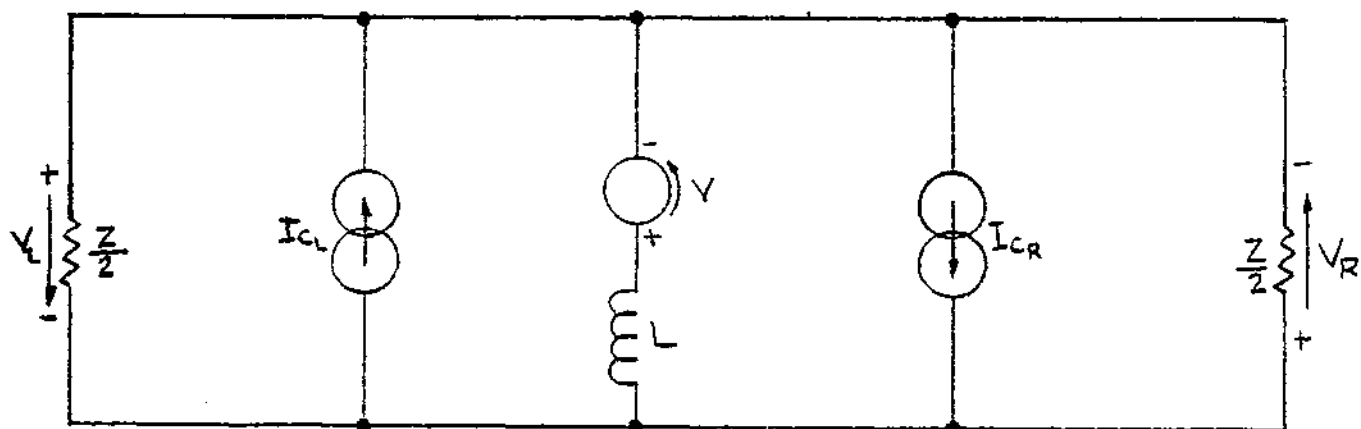


Рис.5 Нагрузка для петли Моисса



Z = дифференциальный импеданс
 Z' = общий импеданс двойного кабеля twinaх

Рис. © Эквивалентная схема для петли со сплит-экранированием
 (Игнорируя времена прохождения)



Z = дифференциальный импеданс

Рис. 7 Эквивалентная схема для петли Моебуса

(Ошибочно написано: Игнорируя времена прохождения)