

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/303985193>

It is Quite Another Electricity: Transmitting by one wire and without grounding

Book · June 2016

CITATIONS

16

READS

872

1 author:



[Michael Bank](#)

Jerusalem College of Technology

71 PUBLICATIONS 189 CITATIONS

SEE PROFILE



Михаил Банк

Совсем Другое Электричество, передаваемое с помощью только одного провода



English version: "Quite Another Electricity, transmitting without grounding"
see in <https://www.amazon.com/dp/B01GYDBIUW>

Редактор Аркадий Мальтинский

Иерусалим 2016

***“Этого не может быть, потому, что этого не
может быть никогда”***

Антон Чехов

Содержание	Стр.
1. Введение с точки зрения истории.	5
2. Объяснение и обоснование основной идеи - электрический ток можно передавать по одному проводу, при этом не надо менять частоту и форму сигнала, земля в этом случае не является вторым проводом	12
3. Обнуление без заземления. Обнулитель - Обнуление тока и потенциала можно делать, не вводя тока в землю. А может быть заземление – это антенна,	16
4. Симметричная и несимметричная однопроводная системы, система «SWER». Предлагаемая однопроводная линия это симметричная линия, хотя это звучит странно.	31
5. Трёхфазный сигнал по одному проводу - на входе и на выходе однопроводной линии могут быть однопроводные, однофазные и трёхфазные сигналы в любом сочетании	36
6. Экспериментальные системы – Приведены результаты построения опытных однопроводных систем	42
7. Однопроводная система «зелёной» энергии – Системы сбора ветряной или солнечной энергии могут быть построены по однопроводному методу	47
8. Помехи и потери – Однопроводная система не вносит дополнительных потерь, она менее отрицательно воздействует на окружающую среду	53
9. Подземные и подводные однопроводные системы – Одиночный провод можно и выгодно прокладывать под землей или под водой	56
10. Высокочастотные однопроводные системы. Антенны. - Однопроводный метод упрощает многие высокочастотные устройства, включая антенны	61
11. Заключение, благодарности, литература, об авторе	68

1. Введение с точки зрения истории

Война Токов была целой серией событий, сопровождавших введение конкурирующих систем передачи электроэнергии в конце 1880-ых и в начале 1890-ых, включая коммерческую конкуренцию, споры об электрической безопасности, пропагандистскую кампанию и кампанию в средствах массовой информации которые выросли на их базе с участием главных игроков, строивших свою позицию на основе предпочтительности использования постоянного тока (компания Edison Electric Light Company) или переменного тока (компания Westinghouse Electric Company)

Метод переменного тока получил серьёзный стимулирующий импульс после изобретения трёхфазной системы (см. патент в US Patent Publication number US427978 A Publication date May 13, 1890 Inventors Michael Von Dolivo-Dobrowolsky). После этого изобретения русского инженера Доливо-Добровольского родом из Санкт Петербурга вот уже более 120 лет мы используем трёхфазную систему.



Доливо-Добровольский

Первая триумфальная демонстрация трёхфазной системы в Европе состоялась на международной электротехнической выставке в 1891 году, где Доливо-Добровольский использовал эту систему для передачи электроэнергии на расстояние 176 км при КПД 75%.

С этого момента началось интенсивное внедрение трёхфазной системы и до настоящего времени большая часть электроэнергии вырабатывается и распределяется трёхфазными системами.

Но высокий КПД генераторов и двигателей, пожалуй, являются единственным преимуществом трёхфазной системы. За 120 лет вся техника изменилась и только трехфазные системы не претерпели скольконибудь значительных изменений.

Кроме, преимущества, указанного выше, сейчас ясно, что с этой системой связано много недостатков и проблем:

- Много дорогостоящих проводов (три или четыре);
- Большие дорогостоящие опоры для проводов ;
- Необходимость использования промежуточных станций;
- Она не может использоваться в подводных и подземных системах;
- Оказывает сильное отрицательное воздействие на окружающую среду ;
- Большое число обрывов проводов и коротких замыканий;
- Проблемы из-за разбалансировки нагрузок;
- Большие потери электроэнергии.

Один из разделов этой книги должен показать, что сегодня можно создать электрическую систему свободную от этих недостатков и, тем не менее, позволяющую использовать трёхфазные генераторы и двигатели.

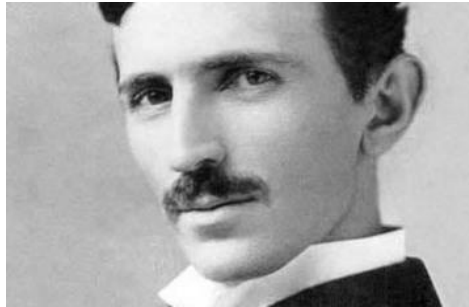
Перечисленные выше недостатки трёхфазных систем способствовали в недавнем времени разработке и применению высоковольтных систем постоянного тока (HVDC система).

Для передачи электроэнергии на большие расстояния HVDC системы могут быть менее дорогими и приводить к меньшим электрическим потерям. При использовании мощных подводных кабелей система HVDC позволяет избежать больших токов при заряде и разряде кабельной ёмкости во время каждого цикла. При использовании на небольших расстояниях более высокая стоимость оборудования для преобразования постоянного тока (по сравнению с системами переменного тока) иногда считается оправданной благодаря другим преимуществам линий электропередачи постоянного тока (https://en.wikipedia.org/wiki/High-voltage_direct_current).

Главные недостатки HVDC системы связаны с преобразованием, коммутацией, управлением, доступностью и техническим обслуживанием. Необходимые конверторные станции дороги и имеют ограниченную перегрузочную способность.

Эксплуатация схем системы HVDC требует наличия многих запасных частей часто предназначенных исключительно только для одной конкретной системы. В отличие от систем переменного тока реализация систем с большим числом терминалов является сложной (особенно в линиях с коммутируемыми конвертерами) так как это связано с расширением использования имеющихся схем на системы с многими терминалами. Заземление в системах постоянного тока является более сложным и имеет более высокое сопротивление.

Вот почему наверно пришло время применить метод, впервые предложенный великим Тесла (см. патент ***Single-wire electrical energy transmission by Nikola Tesla*** (1890) [US Patent number 1,119,736])



Никола Тесла

"Для передачи электроэнергии требуется, по крайней мере два провода" - это утверждение укоренилось в сознании инженеров более чем 150 лет тому назад. Действительно, ведь у любой батареи и любой обмотки генератора есть минимум два терминала. Любые нагрузки для электрической энергии имеют минимум два терминала также. Поэтому электрическая схема должна иметь минимум два провода. Обычно в книгах, статьях или лекциях авторы объясняют работу электрической цепи, как процесс протекает тока от генератора к нагрузке и обратно к генератору. Таким образом, мы должны иметь минимум два провода И тем не менее необходимость всегда иметь два провода (два канала) не так уж очевидна[1].

Ведь вот уже более 100 лет человечество передает информацию и энергию по эфиру с помощью электромагнитного поля, от передатчика к приемнику. То есть мы имеем дело с одним каналом.



Рис. 1.1 Линия радиосвязи

Если нужно ответить по эфиру то используется другой канал, но опять один канал. Эти каналы разделяются по времени или по частоте или с помощью специального кода. Иногда говорят, что в этом случае в радиосвязи есть два сигнала, поскольку электромагнитное поле имеет две составляющие: электрическую и магнитную. Действительно, в точке приема есть магнитное и электрическое поля. Соотношение между ними 120π . Зная уровень одного из этих полей и сопротивление излучения (или действующую высоту или эффективную изотропную апертуру) приемной антенны, можно вычислить активную мощность, попадающую в приемник. То есть, мы имеем дело с одноканальной системой.

Другой пример однопроводной системы является связь с помощью волоконно-оптических линий



Рис. 1.2 Волоконно-оптическая линия связи

Из одного конца земного шара до другого протягивается один оптический кабель, который передает огромный объем информации. Никакого обратного кабеля не требуется. Другой кабель используется, если нужно передать дополнительную информацию или для резервирования. Интересно, что энергия для питания усилителей оптического сигнала, которые включаются через определенные расстояния, тоже обычно передается по одиночному проводу.

Еще один пример одноканальной системы передачи энергии и информации это волновод, широко применяемый сегодня в технике связи.

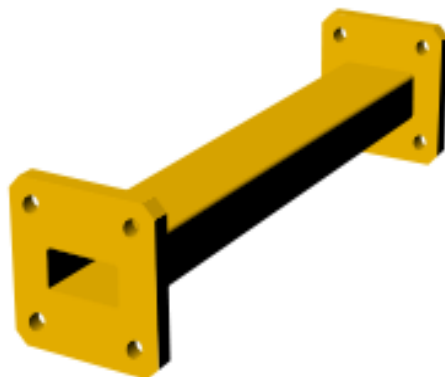


Рис. 1.3 Волновод

Волновод - это канал естественного или искусственного происхождения, обеспечивающий распространение волны определенной природы вдоль некоторой осевой линии или осевой поверхности с относительно малым затуханием и ограничивающий эту волну в области пространства вблизи оси или осевой поверхности.

Но вернемся к проводной электрической системе, относительно которой у большинства специалистов и любителей существует твердое мнение, что она должна быть многопроводной. Здесь необходимо предупредить, что автор этой работы не физик и у него нет намерения, научно обосновать какую-то новую теорию электричества. Здесь он хочет только обратить внимание на некоторые общепринятые нелогичности, в объяснениях электрических процессов.

Сегодня уже очень многих не удовлетворяет широко принятое описание процессов, происходящих в электрической цепи. Это описание основано на модели, в которой внутри проводника двигаются электроны (или другие заряды). Иногда можно читать, что электроны не двигаются, а толкают одного за другим, как в известном эффекте домино.

Но такое объяснение не правдоподобно. Электроны – это механические частицы, имеющие вес. Они не могут двигаться или толкать друг друга со скоростью света. Но электрический сигнал передается именно со скоростью света.

Другое противоречие. Когда описывают работу самой популярной антенны типа монополь, то пишут, что на конце монополя ток должен быть равен нулю, так как дальше ему идти некуда. Но тогда возникает вопрос, куда деваются электроны, которые подходят к концу антенны. Они должны остановиться и образовать пробку. Но антенна работает.

Еще одно противоречие – это процессы в системах заземления. В системах заземления ток вводится в землю. При этом оказывается, что на глубине несколько метров ток обнаружить нельзя. Куда же он делся? Есть очень много попыток объяснить эти процессы. При этом все эти объяснения разные. Некоторые пишут, что

земля это огромная емкость, то есть конденсатор. Но, во-первых, у конденсатора должна быть вторая обкладка. И, во-вторых, внутри конденсатора должен быть диэлектрик. А земля диэлектриком быть не может. Другие объясняют процессы в заземлениях как абсорбция тока. Но абсорбция не может быть бесконечной. Любая губка, когда наполнится водой, прекратит ее абсорбировать. Есть и другие объяснения, но все они вызывают новые вопросы.

Однако это привычно и удобно использовать термин тока, даже если его там нет. Вернемся к вопросу о непрерывности тока в электрической цепи. Трудно говорить о непрерывности тока, если схема используется трансформатор.

Но даже ещё труднее говорить об этом, если в цепи **есть** конденсатор, между пластинами которого **находится** идеальный изолятор. Изолятор не пропускает ток, но схема работает правильно, то есть в соответствии с законом Ома. При создании электромагнитной теории Максвелл ввёл понятие тока смещения. В дополнение к току проводимости ток смещения в уравнениях Максвелла определён в зависимости от скорости изменения электрического поля смещения. Ток смещения имеет размерность плотности электрического тока и обладает связанным с ним магнитным полем точно также как и обычные токи. Однако это не поток движущихся зарядов, а скорее меняющееся во времени электрическое поле.

Эта идея зародилась у Максвелла уже в его статье 1861 года о физических силовых линиях в связи наличием смещения электрических частиц в диэлектрической среде. Максвелл добавлял ток смещения к термину «электрический ток» в определении Закона ампера об электрической цепи. В своей статье 1865 года «Динамическая теория электромагнитного поля» Максвелл использовал эту откорректированную версию Закона ампера об электрической цепи для вывода уравнения электромагнитной волны. Термин «ток смещения» в настоящее время рассматривается в качестве ключевого дополнения, которое завершило уравнения Максвелла и необходимо для того, чтобы объяснить многие явления и особенно существование электромагнитных волн.

Таким образом, мы можем предположить, что ток это математическая величина, равная V/Z , деленная на Z . Это удобно для анализа электронных схем.

Итак, видимо, нельзя считать, что электрический провод – это труба, в которой что-то протекает. Наверно такое понимание укоренилось из-за **общего (бытового)** значения слова «current» (поток, течение). Может быть, понятие сила тока вообще не обязательно, хотя оно и удобно. Ведь сила тока – это разность потенциалов, деленная на сопротивление, и может быть, вполне достаточно этих двух понятий. Конечно, понятие силы тока удобно для расчетов, моделирований и обоснований различных законов.

Тем более, что мы знаем и другие примеры, когда применяются термины или величины, не существующие в природе, но удобные для анализа. Например, в теории преобразования сигналов широко применяется понятие отрицательной частоты. Хотя частота не может быть отрицательной.

Учитывая эти и другие противоречия, можно прийти к следующему предположению. Видимо, нет никакого «протекания» электрического тока. Источник создает разность

потенциалов. Эти потенциалы благодаря магнитному полю, существующему вокруг провода, распространяются со скоростью света вдоль поверхности провода (отсюда известный Скин Эффект). Если разность потенциалов встречает сопротивление, то она производит работу. Хорошо известно, что активная энергия не возвращается от нагрузки к источнику. То есть второй канал не нужен.

Правда может быть необходим второй провод, потому что необходимо передать не потенциал, а разность потенциалов. Но к этому вопросу мы вернемся в следующем разделе, где будет показано, что энергия и информация могут быть переданы на любой частоте, включая постоянный ток, по одному проводу.

Были ранние попытки предложить метод для передачи электрической энергии с помощью одного провода. Существует Goubau линия, предназначенная для использования в СВЧ и микроволновых частотах [2]. Был УКВ эксперимент на основе российской патентной заявки, поданной 10 мая 1993 г. Станиславом и Константином Авраменко (PCT / GB93 / 00960)], [3, 4]

Это также и непосредственное применение передачи электроэнергии по одному проводу на основе принципа продольных электростатических волн, как описано Никола Тесла в 1890 году [5]. Эти и другие известные резонансные методы используют увеличения частоты. В случае большой мощности должны иметь заметные потери из-за излучения.

Существует и использовалась в течение длительного времени. система с возвратом тока под названием SWER [6] В этой системе один порт источника и один порт нагрузки подключены к земле. Как будет показано ниже, эта система может иметь большую реактивной мощности, из-за дисбаланса (асимметрии) при большом увеличении длины линии. Это обстоятельство будет подробно обосновано в следующих разделах. Кроме того система SWER не позволяет соединять трехфазные устройства.

Если предположить, что активная энергия не возвращается из нагрузки к источнику, мы можем попытаться построить однопроводную электрическую линию. Эта линия не должна использовать землю для передачи энергии от источника к нагрузке. Линия должна работать без изменения частоты источника и не должна создавать дополнительных потерь, по сравнению с обычными двухпроводными или трехфазными линиями.

Автор уверен, что будущие электрические системы будут представлять собой однопроводные линии, проложенные под землей.

В следующих разделах представляется однопроводная симметричная электрическая система B-Line или SLE (Single Line Electricity) или Однопроводная Система (все эти названия являются синонимами).

1. Объяснение и обоснование основной идеи

Обычная электрическая линия, например A-line (Рис.1 левая часть) это комбинация генератора и нагрузки, соединённых двумя проводами, фазы токов в которых противоположны (отличаются на π).

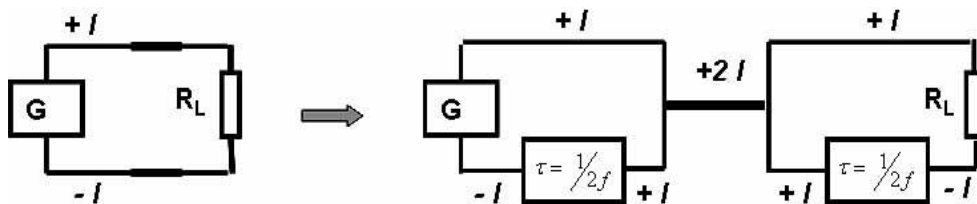


Рис. 2.1 Обычная двухпроводная схема (А- линия) и предлагаемая схема (В- линия).

Очевидно, что если объединить два провода, то получим короткое замыкание. Но если мы все-таки хотим их объединить, то надо изменить фазу в одном из проводов на противоположную. При этом амплитуда в обоих проводах должна быть одинаковой.

Это может быть сделано путём введения в один из проводов фазовращателя (фазосдвигающей схемы), осуществляющего сдвиг фазы на 180 градусов. Известно, что фаза напряжения или тока в электрической линии меняется на противоположную, через временные интервалы, равные половине периода.

Например, 10 миллисекундная (половина периода) линия задержки может быть использована для сигнала с частотой 50 Гц. Ниже будет показано, что на низких частотах более удобно использовать трансформатор со встречно включенными обмотками.

После фазового сдвига на 180 градусов фазы и амплитуды токов в обеих линиях будут одинаковыми. В этом случае линии могут быть объединены. Но нагрузка требует иметь разность потенциалов, а не один потенциал. Для того, чтобы обеспечить нормальное функционирование системы надо перед нагрузкой разделить провод на два, зазем в один из проводов ввести фазовращатель. В результате двухпроводная система превращается в однопроводную систему В-line (Рис 1 правая часть). Таким образом генератор и нагрузка “видят” ту же, ситуацию, которая существовала до введения фазовращателей. Другими словами с точки зрения генератора и нагрузки ничего не изменилось.

Те же самые результаты можно получить используя фазовращатели в обеих линиях, и сдвигая фазу в одной линии когда в одной линии на φ , а в другой на $-(\pi-\varphi)$.

Это может быть достигнуто с помощью линии задержки, трансформатора со встречно включенными обмотками, фильтров или с помощью фазовращателей другого типа, например, с помощью преобразования Гильберта.

Если в качестве фазовращателя используется линия задержки, то ее задержка должна быть равна половине периода. На низких частотах это пока невозможно, так как длина провода, который соответствует половине длины волны для частоты 50 Гц, должна составлять 3000 км. Поэтому на низких частотах в качестве фазовращателя удобнее использовать трансформатор со встречно включёнными обмотками, а для построения однопроводной системы на высоких частотах линия задержки является хорошим решением.

Изложенное выше может быть подытожено так:

- Имеются два провода, в которых токи имеют противоположные фазы
- С помощью фазовращателя получаем одинаковые фазы в обоих проводах
- Объединяем обе линии
- Перед нагрузкой разделяем линию на две и с помощью фазоинвертирующего элемента получаем в них противоположные фазы.

Предлагаемая идея многократно проверялась с помощью компьютерной программы ADS. Были выполнены серии моделирований при различных фазовых сдвигах и при различных сопротивлениях линий

Каждое моделирование выполнялось как для линии типа A-Line, так и для линии типа B-Line. Для ясности на приведенных ниже рисунках указаны условия и результаты моделирования, включая полярности и величины токов. На Рис. 2.2 показано одно из моделирований для проверки действия закона Ома в предлагаемой нормальной двухпроводной схеме. Это схема A-Line с током в линии $90\mu\text{A}$.

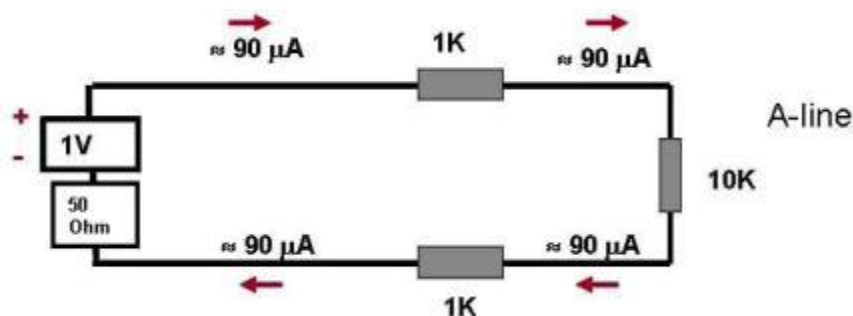


Рис. 2.2 Обычная двухпроводная схема (A-Line) как прототип однопроводной (B-Line) линии

В этой схеме сопротивление каждого провода должно быть равно 1 ком. В предлагаемой однопроводной (B-Line) схеме мы добавили инверторы на входе и на выходе и объединили две линии. В результате сопротивление стало равным 0,5 ком.

Моделирование показывает, что токи на входе и выходе остались без изменения (см. Рис. 2.3). Полярность тока нагрузки зависит от того, где включены инверторы: в верхнем или верхнем проводе.

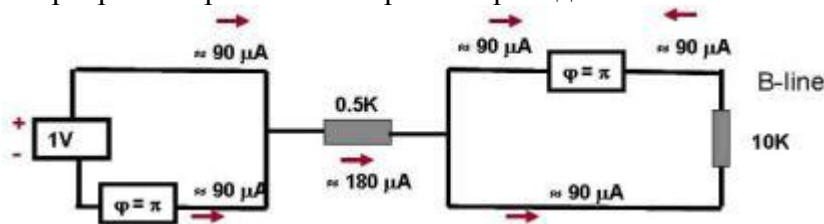


Рис.2.3 В-Line версия однопроводной линии (A-Line) показанной на Рис.2.2

На Рис. 2.4 приводятся результаты моделирования В-Line, соответствующей схеме показанной на Рис. 2.3. Как мы видим фазы и амплитуды токов в источниках и нагрузках обеих схем совпадают.

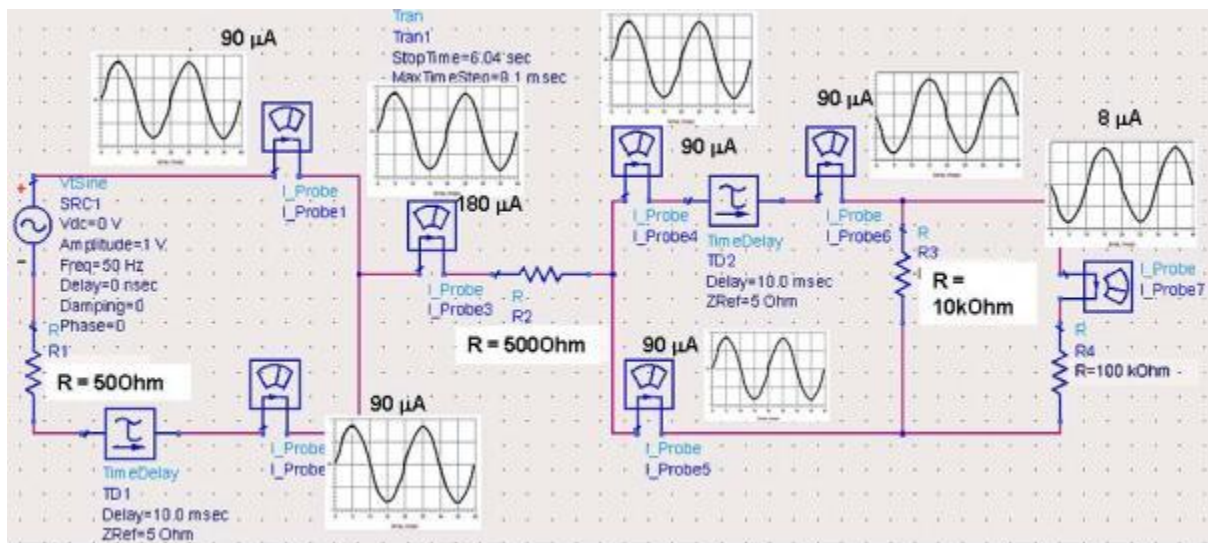


Рис. 2.4 Схема В-Line аналогичная схеме показанной на Рис.2.3 и результаты моделирования.

Как указывалось выше, на практике трудно выполнить линию задержки на частотах 50 и 60 Гц. Но можно применить трансформатор со встречно включёнными обмотками (см. Рис. 2.5)

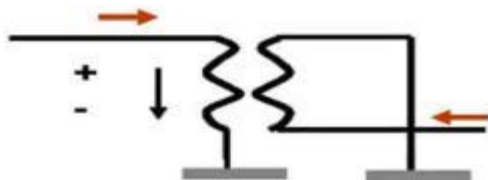


Рис. .2.5 Инвертирование фазы в одной линии с помощью трансформатора.

Потенциалы нижних концов обмоток должны быть не просто соединены, а обнулены, так как в противном случае ток потечет из одной катушки в другую.

Указанное обнуление можно выполнить с помощью заземления. Как будет показано ниже, заземление в этом случае не участвует в процессе передачи энергии от генератора к нагрузке.

Результаты моделирования в схеме с идеальными (1:1) трансформаторами показаны на Рис. 2.6

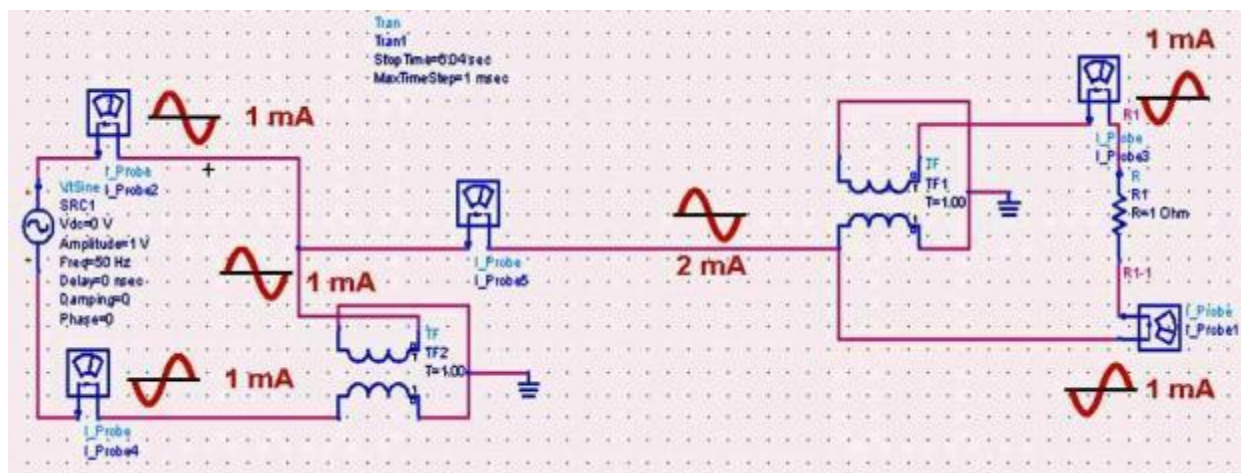


Рис. 2.6 Однопроводная линия B-Line, в которой трансформаторы используются в качестве инверторов.

В этой схеме ток в общем проводе соответствует закону Ома. Следовательно, никакого другого тока (например, в земле) быть не может.

Если однопроводная линия B-Line используется в системе с возрастающим или уменьшающимся напряжением, то трансформаторы должны использоваться как в начале, так и в конце линии. Пример такой линии с напряжением 6 кВ описан в разделе «Экспериментальные системы» [7, 8].

Однопроводная линия B-Line на постоянном токе

Применение инвертора (фазовращателя) в системах постоянного тока требует использовать другое решение вместо вышеупомянутых трансформаторов. В соответствии с основной идеей построения однопроводной линии B-Line предлагается использовать два конденсатора и соответствующие переключатели для того, чтобы реализовать инвертор, как показано на Рис. 2.7 как на стороне источника так и, соответственно, и на стороне нагрузки.

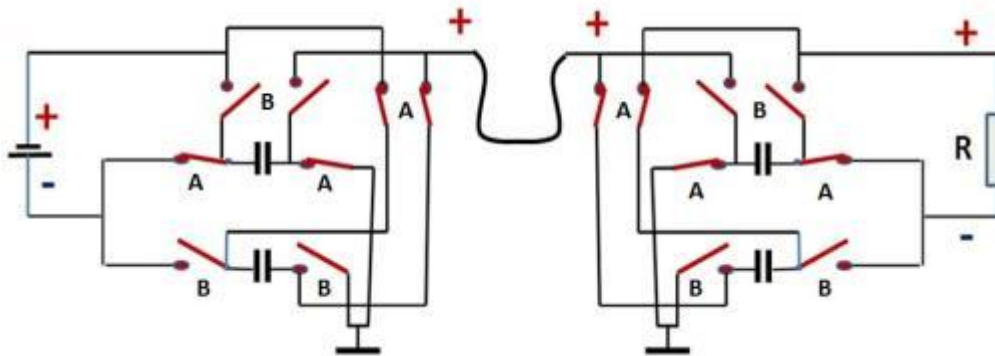


Рис. 2.7 Пример однопроводной линии B-Line на постоянном токе

В этой схеме мы будем обозначать как «период А» состояние когда ключи замкнуты в точках А и как «период В» состояние, когда ключи замкнуты в точках В.

Каждый инвертор работает следующим образом: во время периода А первый конденсатор заряжается, а второй – разряжается. В течение периода В конденсаторы меняются функциями. Зарядный ток имеет одно направление. А разрядный ток – противоположное направление. В результате, суммарный ток в общем проводе будет иметь полярность тока, который не принимает участие в заряде конденсаторов.

В этом примере ток в линии имеет одно направление, положительное или отрицательное. На Рис. 2.7 направление – положительное.

Времена заряда и разряда конденсаторов можно устанавливать, выбирая ёмкость конденсаторов с учётом величины сопротивления нагрузки.

Такая система постоянного тока, с использованием однопроводной линии типа B-line, может быть применена в системе электрического железнодорожного транспорта (например, в трамвайной линии). В этом случае можно подводить электроэнергию только по одному проводу без участия рельсов.

В схеме, показанной на Рис.2.7 существует серьёзная проблема связанная с обнулением потенциалов. Эта проблема обусловлена тем, что сделать заземление на постоянном токе гораздо труднее, чем на переменном токе. Это хорошо известно в системах электрифицированного транспорта и однопроводных системах питания усилителей оптических линий. Однако и для этих случаев могут быть предложены новые решения, описанные в разделе 3.

Заканчивая этот раздел необходимо отметить, что ток в однопроводной системе в два раза больше чем в двухпроводной. Это означает, что сопротивление провода должно быть в два раза меньше. Однако один провод с погонным сопротивлением $R/2$ много дешевле, чем два провода с погонным сопротивлением R . К тому же опоры линии электропередач будут гораздо дешевле или их вообще не будет. То есть возможно, что самое большое преимущество однопроводных систем это возможность передавать электроэнергию под землёй или под водой (см. об этом в разделе 9)

3. Обнуление без введения тока в землю. Обнулитель.

Обнуление в системах переменного тока.

Система электрического заземления должна иметь надлежащую допустимую токовую нагрузку с тем, чтобы служить в качестве необходимого опорного уровня нулевого напряжения. В теории электрических цепей «земля» обычно идеализируется в качестве неограниченного источника тока или неограниченного абсорбента зарядов, который может абсорбировать ток любой величины, не изменяя своего потенциала [9]



Рис 3.1 Измерение сопротивления земли

На рисунке 3.1 показана установка для измерения погонного сопротивления земли. Металлические стержни не должны входить в землю глубже, чем 20 см. Иначе потенциал на их концах будет обнуляться. Измерения, выполненные на различных участках почвы, подтвердили известные данные о том, что погонное сопротивление земли (между двумя точками на поверхности) велико (от 50 до 1000 Ом на метр). Поэтому нельзя передавать энергию между двумя точками используя землю.

Главное назначение заземления при передаче электрической мощности на большие расстояния это обнуление потенциала. Как показано в различных источниках, если заземление выполнено надлежащим образом, невозможно обнаружить следы тока на глубине больше чем 10 м [9 - 11]

В однопроводной линии типа В-Line заземление предназначено только для обнуления потенциала. Однако обнуление можно также и другими методами но используя землю. Например, если имеются две однопроводные линии типа В-Line с противоположными фазами, соединенные с разными нагрузками, то можно, с целью обнуления, объединить те обе точки, которые предназначенные для того, чтобы иметь нулевой потенциал. В этом случае не надо иметь заземление, как показано в разделе 6. Следует заметить, что этот метод может быть весьма востребованным на практике, так как мощные электростанции часто имеют несколько выходов.

Однако необходимость в обнулении потенциалов существует почти во всех электрических системах. Это может быть заземление для систем защиты или обнуление нейтральной линии в трёхфазной системе или же обнуление в несимметричной антенне, например, монополя или обнуление потенциалов в однопроводных системах SWER или SLE

Обнуление необходимо также в некоторых системах, работающих на постоянном токе, например, электрифицированных транспортных средствах или в системах электропитания усилителей для оптических кабелей.

Сегодня обнуление потенциала делается с помощью заземления. Обычно заземление это металлический штырь, около 1,5 метра которого находятся в земле (см. Рис.3.2).

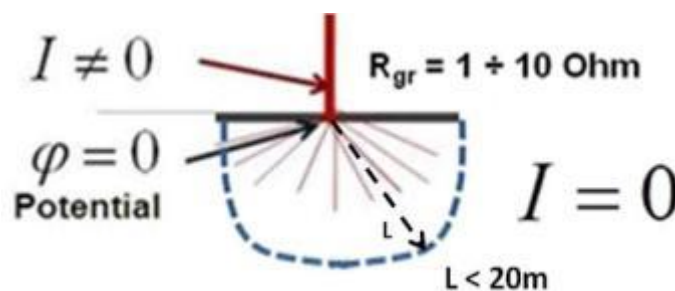


Рис.3.2 Распределение тока в земле

Если сопротивление заземления оказывается большим и поэтому приводит к недопустимо высоким потерям энергии, то можно использовать несколько заземлений, которые соединены параллельно и расположены на расстоянии не менее 10 метров друг от друга

Обычно заземление создаёт много проблем. Эти проблемы связаны с нестабильностью параметров земли при изменении погодных условий. Помимо этого заземление для заземления часто требуются большие площади. Кроме того, в некоторых странах заземление разрешается использовать только для защиты, так как опасаются, что электрический ток может нанести вред живым существам и растениям в земле.

Сегодня не существует общепризнанных объяснений действия заземления. Об этом шла речь во введении (см. раздел 1).

Ниже в порядке гипотезы приводится другое объяснение процесса обнуления и предлагается новое устройство для реализации обнуления, которое мы называем «обнулитель» («Nullifier»).

Возможно система обнуления на переменном токе – это антенна.

Ток, который вводится в землю, делится на большое число слабых токов. По мере того как глубина возрастает количество этих токов растёт и,

следовательно, амплитуда каждого тока стремиться к нулю. Рассмотрим защитное заземление распределительного шкафа.

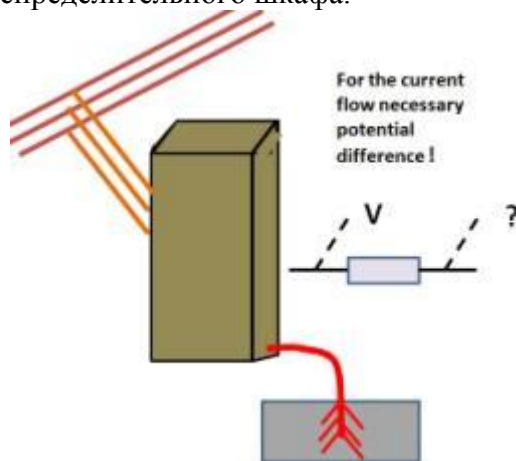


Рис. 3.3 Возможный ток в защитном заземлении

Для протекания тока необходимо иметь разность потенциалов. Но здесь мы имеем только один потенциал (V), а не разность. Это означает обрыв “провода” тока заземления. Может ли течь ток через разорванный провод? Да, может, например, в линейной антенне.

В случае электрической антенны, такой как диполь или монополь, тока нет в концах излучателей, но его энергия превращается в энергию электромагнитного поля. Это означает, что путь распространения энергии не прерывается.

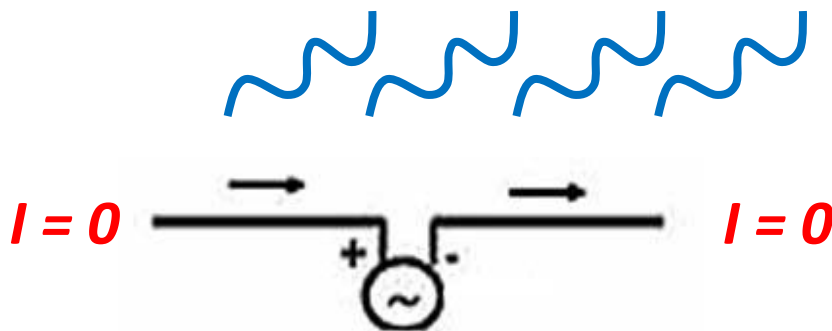


Рис. 3.4 Диполь

Теперь мы можем представить заземление как множество антенн типа укороченных монополей, подключенных к центральному стержню заземления. Известно, что монополь высотой “h”, где “h” << λ/4, имеет сопротивление излучения, которое равно:

$$R_{rad} \approx 14(mh)^2 \Omega, \quad m = \frac{2\pi}{\lambda}$$

При уменьшении h по сравнению с четвертью длины волны ($\lambda/4$) величина этого сопротивление стремиться к нулю. Уменьшение сопротивления излучения ведёт к уменьшению излучаемой мощности, так как

$$P_{rad} = R_{rad} \cdot I_{rms}^2$$

Таким образом, можно сказать, что монополь высотой $h \approx 5-10$ м на частоте 50 или 60 Гц имеет практически нулевое сопротивление излучения и практически нулевую плотность поля излучения.

Однако сопротивление излучения монополя, чья высота гораздо меньше четверти длины волны, имеет и емкостную составляющую [12]. Но при параллельном соединении монополей емкостная составляющая импеданса также уменьшается. Другими словами можно предположить, что заземление это антенна, состоящая из достаточно большого количества монополей, высота которых гораздо меньше четверти длины волны. Если эта гипотеза правильна, то можно выполнить обнулитель в виде устройства изолированного от земли и других токопроводящих предметов. Например, такой обнулитель может представлять собой токопроводящий штырь длиной 0,2-5 м, от которого исходит множество проводов или тонких стержней длиной более 5 м, идущих от штыря к основанию, сделанному из непроводящего материала. На рис 3.5 показан пример такого «воздушного» обнулителя, в котором используются электрические провода.

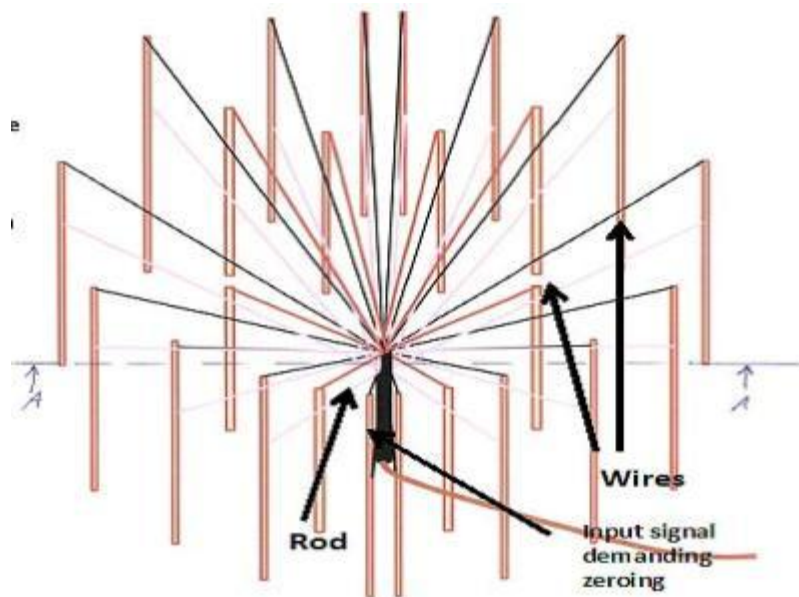


Рис.3.5 Конструкция «воздушного» обнулителя

Можно выполнить “земляной” обнулитель, взяв изолированный объём (рис.3.6) заполненный полупроводящим материалом типа почва или почвой. Это может быть бетонная труба круглого или прямоугольного сечения длиной 5 или более метров и площадью сечения 10 или более квадратных метров. Как и в случае обычного заземления в этот объём вставляется проводящий штырь длиной примерно полтора метра.

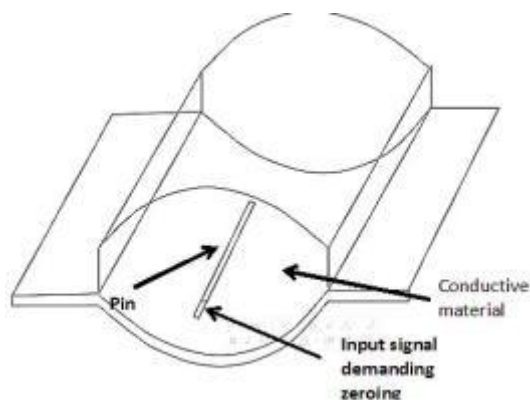


Рис.3.6 Изолированный обнулитель

Реальный земляной обнулитель такого типа показан на рис.3.7.



Рис.3.7 Земляной обнулитель изолированный непроводящей тканью

Для реализации земляного обнулителя в экспериментальной однопроводной 6-и киловольтной системе была вырыта траншея глубиной в 3 метра и длиной 6 метров (см. раздел 6). Стены и дно траншеи были покрыты непроводящей тканью типа нейлона. Результаты, полученные при применении такого обнулителя приведены в разделе 6. Если сопротивление обнулителя для системы с большим током недостаточно мало, то можно как и при использовании обычного заземления соединить несколько обнулителей, как показано на Рис. 3.8.

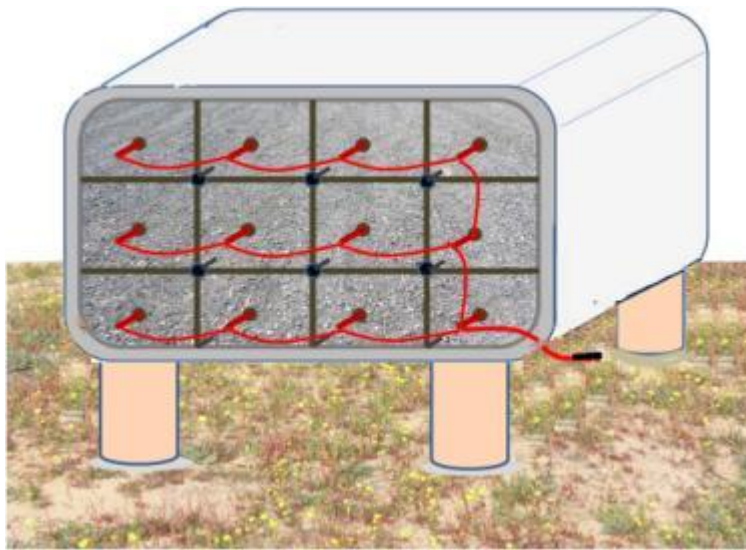


Рис.. 3.8 Несколько объединённых обнулителей

Та же самая идея снижения сопротивления обнулителя может быть применена и в случае «воздушного» обнулителя, показанного на рис.3.9. При этом мы получаем конструкцию, показанную на рис 3.9. Если количество проводов, которые использовались для построения обнулителя, показанного на рис 3.9, оказалось недостаточным или же размер обнулителя, показанного на рис. 3.7, получилось недостаточно большим, то обнулитель будет иметь слишком большое емкостное сопротивление. В этом случае емкостное сопротивление можно скомпенсировать путём включения индуктивности L между точкой, в которой требуется обнуление, и обнулителем, как показано на рис. 3.9.

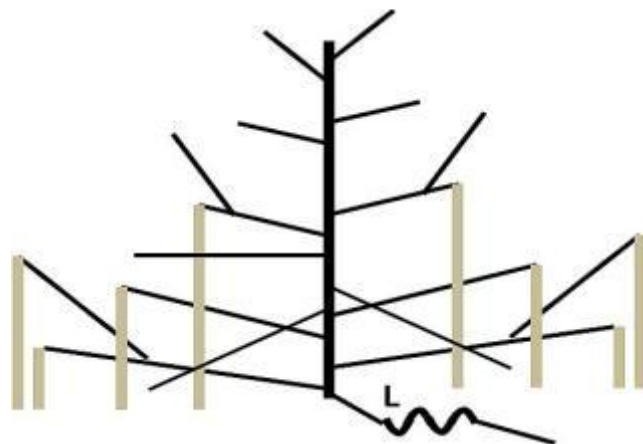


Рис. 3.9 Обнулятор с компенсирующей индуктивностью

Этот метод был проверен на частоте 1 МГц (Известные нам программы не позволяют провести моделирование антенны на частоте 50 Гц). Сначала был проверен монополь, высота которого (12 мм) гораздо меньше чем четверть длины волны (см. рис. 5.9)



Рис. 3.10 Монополь

В этом случае активное сопротивление оказалось равным 0,65 Ом, реактивное - 453 Ома. Затем были добавлены «лучи» (рис.3.11)

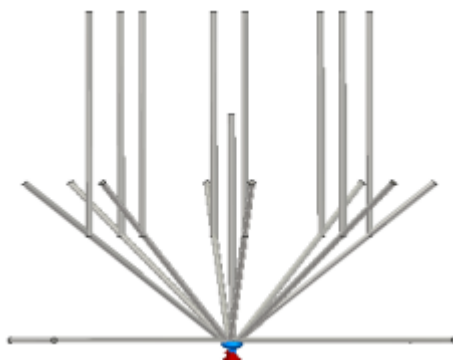


Рис 3.11 Высокочастотный обнулятор для моделирования

В этом случае активное сопротивление было равным 0,8 Ом, а реактивное – 60 Ом. Затем между источником и входом «антенны» была включена индуктивность. В этом случае активное сопротивление оказалось равным 1,0 Ом, а реактивное – 1,98 Ом. Данная симуляция подтверждает идею возможности построения устройства для обнуления потенциала в виде совокупности укороченных монополей.

Одночастотный обнулитель

Здесь мы предлагаем другое устройство для обнуления в системах на высокой частоте или для симуляций на любых частотах. Его действие понятно из рис.3.12

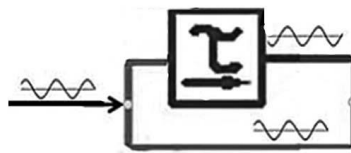


Рис. 3.12 Обнуление сигнала на одной частоте

Здесь обнуление происходит путём подключения к точке, требующей обнуления, двух проводов. В один из проводов включается линия задержки на пол длины волны. Затем концы обоих проводов соединяются.

Этот метод обнуления (или этот обнулитель) работает на частоте $F_0 = 1/2\tau$ или на всех других частотах, удовлетворяющих условию: $F_n = 1 / (2n + 1)\tau$, потому что на всех этих частотах задержка τ обеспечивает фазовый сдвиг 180° . Метод, показанный на рис 3.12, в реальных устройствах может быть применён только на высоких частотах, так как в этом случае реализация указанной линии задержки не является проблемой. На низких частотах (50-60 Hz) этот метод пригоден только для моделирования.

В разделе 2 на рис 2.5 приведена схема инвертора предназначенного для преобразования двухпроводного сигнала в однопроводный, и в котором средняя точка требует обнуления. Применение обнулителя, который описан здесь позволяет выполнить обнуления без введения тока в землю (рис 3.13)

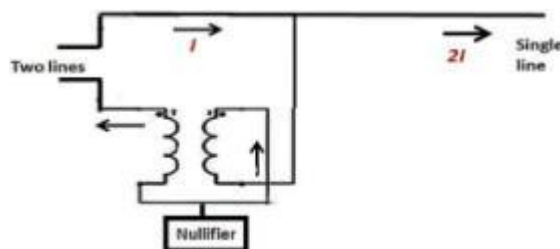


Рис. 3.13 Обнулитель вместо заземления

Как было отмечено выше во многих странах по просьбе «зелёных» допускается вводить ток в землю только в системах защиты от коротких замыканий.

Попытки понять процессы, происходящие в заземлениях, привели к появлению гипотезы о представлении заземления как совокупностей укороченных монополей.

Были проведены первые эксперименты для проверки идеи применения обнулителя в качестве антенны. С этой целью была построена система, изолированная от земли (см. фото рис 3.14.).



Рис. 3.14 Фотография экспериментального воздушного обнулителя

Общая длина проводов пяти уровней около 1270 м. Та точка устройства, в которой требуется иметь нулевой потенциал, соединена с нижней точкой стержня длиной 1,5 м. Провода длиной от 2 до 5 метров расходятся от стержня в стороны и вверх.

Измерения параметров этого обнулителя показали, что необходимо компенсировать емкостную составляющую с помощью индуктивности, имеющей малое активное сопротивление.

То есть гипотеза — это только начало. Требуется проведение исследовательских и проектных работ. Необходимо найти оптимальные размеры и параметры различных обнулителей и их частей, в зависимости от требуемого сопротивления обнуления.

Хотя общие закономерности здесь таковы: если величина компенсирующей индуктивности оказывается слишком большой, необходимо в воздушном обнулителе удлинять провода и увеличивать их количество или в земляном обнулителе увеличить его объем. Тогда их емкостное сопротивление уменьшится и соответственно потребуется меньшая индуктивность для ее компенсации

Однако проведенные симуляции и первые эксперименты показывают, что представленное здесь решения в форме «обнулителей» дают надежду выполнить необходимые требования без ущерба для эффективности работы электрических систем. Кроме того системы обнуления изолированные от земли имеют ещё одно важное преимущество: они не зависят от погодных условий.

Рассмотрим влияние сопротивления заземления или обнулителя. Возьмем такой пример. Пусть необходимо обеспечить в городе электрическую мощность 2,2 МВт. Напряжение сети в городе - 220 В. Это означает, потребляемый ток – 10000 А и сопротивление нагрузки $0,02 \text{ Ом}$.

Мы будем подавать электроэнергию при напряжении 220 кВ. Это означает, что повышающий трансформатор будет «видеть» $0,02 \cdot 10^6 = 20 \text{ кОм}$

Для того, чтобы получить однопроводную линию, подключим инвертор показанный на рис 3.13. Однако такая схема не будет работать так как оба тока текут навстречу друг другу создавая друг для друга бесконечное сопротивление.

Для того, чтобы получить однопроводную линию, которая будет действительно работать, применим идеальный инвертер, т.е. инвертор, в котором сопротивление проводов равно нулю, и заземление или обнуление идеальны. Теперь токи протекают и нет никаких потерь.

Пусть сопротивление заземления или обнулителя равно 10 Ом; это означает, что полезный ток будет течь не только через 20 кОм но также и через сопротивление 10 Ом. Очевидно, что потери будут пренебрежимо малы.

Можно предположить, что нулевая точка заземления эта та точка внутри земли, где ток равен нулю и сопротивление заземления незначительно.

Предлагаемый обнулитель действует именно таким же образом. Ток на конце антенны всегда равен нулю и сопротивление (импеданс) излучения короткой (по сравнению с длиной волны) антенны очень близко к нулю. «Воздушный» обнулитель может иметь емкостное сопротивление, оно может быть скомпенсировано, подобно тому как показано на рис 3.9.

Вышеизложенное позволяет предположить, что заземление это антенна, состоящая большого числа коротких монополей. Земля (почва) представляет собой гранулированное проводящее вещество. Между гранулами протекают токи проходя расстояние в несколько метров. Можно предположить, что это очень короткие монополи (четверть длины волны на частоте 50 Гц равна 3000 км). А это означает, что эти монополи имеют нулевое активное сопротивление излучения и большое

емкостное сопротивление. Но ввиду того, что имеется целое множество таких монополей, емкостное сопротивление тоже очень мало. Ввиду того, что реактивное сопротивление укороченного монополя близко к нулю, такая антенна практически ничего не излучает.

Можно задать вопрос: почему токи протекают в земле на глубину не более 10 метров. Это явление можно объяснить следующим образом: пусть мы подали потенциал на обычное заземление. В первый момент пути протекания токов будут малыми и количество токов будет мало. В этом случае емкостная составляющая импеданса заземления будет большой и не будет никакого обнуления потенциала. Вскоре наступает момент, когда сопротивление заземления будет близко к нулю. В этот момент начинается обнуление потенциала, как следствие, перестаёт увеличиваться продолжительность и количество токов.

Обнуление в системах постоянного тока

В число проблем, которые возникают при протекании постоянного тока в земле входит электрохимическая коррозия длинных металлических предметов, проложенных в земле, таких как трубопроводы. В других случаях, например, при использовании воды в качестве второго проводника ток, протекающий в морской воде, может производить хлор или каким-то иным образом воздействовать на структуру воды. Ток в воде может приводить к появлению магнитного поля, которое может воздействовать на компасы магнитной навигации кораблей, проплывающих над подводными кабелями. Ещё одна серьёзная проблема это блуждающие токи.

Источниками блуждающих токов обычно являются рельсовые пути электропоездов, заземления линий постоянного тока, установки для электросварки, системы катодной защиты и установки для нанесения гальванических покрытий. Примером возникновения блуждающего постоянного тока являются трамвайные линии, где рельсы используются для возврата тока к генераторной станции. Вследствие плохого контакта рельсов на стыках и недостаточной изоляции их от земли часть тока входит в почву и находит пути через объекты с низким сопротивлением, например подземные газо- и водопроводы. Если труба защищена неметаллическим покрытием, это усугубляет коррозионные разрушения, так как в этом случае все блуждающие токи выходят через дефекты в покрытии трубы, что вызывает увеличение плотности тока на ограниченных участках поверхности и ускоряет разрушение трубы.

Во многих источниках, например в <http://forca.ru/stati/energetika/osnovnye-nedostatki-setey-vysokogo-napryazheniya-postoyannogo-toka.html> говорится, что заземление линии передачи постоянного тока связано со сложной и трудоёмкой установкой, поскольку необходимо создавать надёжный и постоянный контакт с землей для обеспечения правильной работы, и для

устранения возможности возникновения опасного "шагового напряжения". Примерами применения однопроводных DC систем являются системы питания усилителей оптических кабелей, в том числе для подводных линий. Для обнуления, в прибрежной зоне делается бурение глубоких скважин до грунтовых вод. Потом в эти скважины вставляются хорошо проводящие стержни. Существуют и более сложные схемы. В <http://forca.ru/stati/energetika/osnovnye-nedostatki-setey-vysokogo-napryazheniya-postoyannogo-toka.html> показано например, что для тока 225 А нужен стержень длиной 33,54 м.

Система обнуления для постоянного тока

Никакие антенны не работают на постоянном токе. Но заземления необходимы для обнуления потенциала и для снятия зарядов статического электричества. Один из путей борьбы со статическим электричеством является заземление устройств, машин, емкостей и трубопроводов. При наличии заземления заряды статического электричества отводятся в землю и не накапливаются до такой величины, при которой возможно возникновение искр. Устройство заземления состоит из стальных труб, длиной 2-3 метра, которые закапываются в землю так, чтобы их верхние концы находились бы на глубине 0,5 метра от поверхности земли. Эти трубы соединяются с поверхностями защищаемых объектов стальными полосами. Объектами заземления являются установки, автомобили, трубопроводы.

На основе приведённых выше данных и многочисленных других источников может быть предложена следующая гипотеза: для обнуления потенциала постоянного тока можно соединить нужную точку к большому металлическому предмету обладающему возможностями избавляться от статического электричества. Таким предметом может быть цилиндр (труба) определённой длины и толщины изготовленный из проводящего материала.

Для оценки возможных размеров цилиндров было выполнено следующее моделирование: был взят цилиндр расположенный над токопроводящей поверхностью (как показано на рис 3.15)

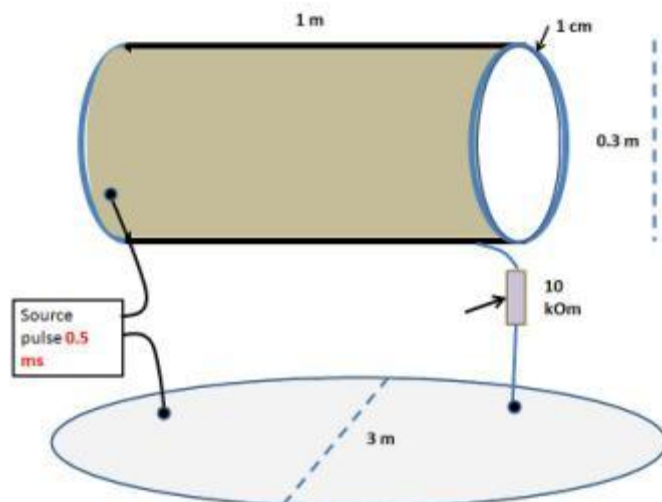


Рис. 3.15 Модель разрядника для моделирования

В качестве входного сигнала был использован импульс длительностью пол миллисекунды. После окончания прохождения импульса измерялся ток, протекающий через резистор 10 ком. Было предположено, что если после прохождения импульса ток не равен нулю, то это означает, что потенциал эквивалентный статическому электричеству остаётся на цилиндре. В процессе моделирования выбирались различные размеры цилиндра, что давало возможность уменьшать величину тока. Если величина тока меньше, то это означает, что часть потенциала разрядилась. Некоторые результаты моделирования показаны на рис. 3.16

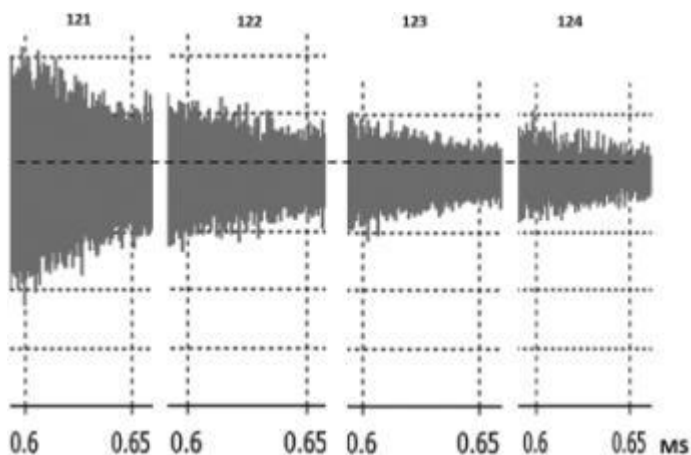


Рис 3.16 Результаты моделирования разряда при различных условиях

На рис.3.16 показаны результаты моделирования процесса разряда в изобретённом методе и в системе показанной на рис 3.15 После прекращения прохождения тока цилиндр разряжается через большое сопротивление (10 кОм). Уменьшение тока, зависящее от размеров цилиндра, указывает на саморазряд статического потенциала цилиндра. Цилиндр сделан из токопроводящего материала с не очень высокой проводимостью.

На рис 3.16 : 111 – длина 1 метр, наружный диаметр – 60 см, толщина стенок – 15 см
112 - длина 1 метр, наружный диаметр – 60 см, толщина стенок -15 см
113 - длина 2 метра, наружный диаметр – 60 см, толщина стенок -15 см
114 - длина 2 метра, наружный диаметр – 60 см, толщина стенок -15 см
и цилиндр закрыт двумя металлическими дисками

Как можно видеть из рис 3.15 разряд зависит от размеров цилиндра. Когда вместо цилиндра был использован провод, ток был равен нулю, так как провод не может нести сколько - нибудь существенного статического электричества.

Учитывая результаты моделирования, можно осторожно предположить, что приемлемое обнуление может быть достигнуто посредством одного или нескольких цилиндров длиной 1-3 метра и с толщиной стенок 10-30 см. Материал стенок не должен иметь очень высокую проводимость. Это может быть цилиндр, вставленный в ящик заполненный землёй.

Стержень, на который подано постоянное напряжение, представляет собой цилиндр, по поверхности которого равномерно распределен заряд. Этот заряд обладает потенциальной энергией. Эта энергия, приходящаяся на единицу потенциала, называется электрическим потенциалом. Если все точки поверхности цилиндра соединить с помощью сопротивлений с точками на большом расстоянии от цилиндра, где электрические потенциалы равны нулю, то по сопротивлениям потечет ток. Если параллельное сопротивление всех сопротивлений будет близко к нулю, то электрический потенциал цилиндра также будет близок к нулю.

В нашем случае все эти сопротивления это почва, куда вставлен стержень для обнуления. Поскольку сопротивление почвы может быть большим, стержень приходится выбирать достаточно длинным. Этот стержень во много раз длиннее стержня, применяемого в системах переменного тока. Вот почему при сравнении систем переменного и постоянного тока сложность изготовления и эксплуатации системы обнуления является важным фактором в пользу использования систем переменного тока.

В различных источниках указывается, что минимальное сопротивление заземления на постоянном токе может быть порядка 100 Ом.

4. Симметричные и несимметричные однопроводные системы. Система SWER

К сожалению в литературе на английском языке термины симметричный (balanced) и несимметричный (unbalanced) используются в двух совершенно различных случаях.

Двухпроводная линия, у которой ни один из двух проводов не заземлен, у которой вторым проводом не является коаксиальный кабель является симметричной линией.

С этой точки зрения трехфазная система это несимметричная линия, поскольку она состоит из трех двух проводных линий, у которых один провод удален при объединении в трехфазную линию.

Будем называть трехфазную линию балансной, если у нее все три нагрузки одинаковые. И не балансной - в противном случае.

Таким образом трехфазная система это несимметричная балансная или не балансная система.

Рис. 4.1 иллюстрирует обычные конструкции симметричной и несимметричной линий. Симметричные линии в большей степени используются для передачи информационных сигналов. Это позволяет уменьшить влияние шумов и интерференции [13].

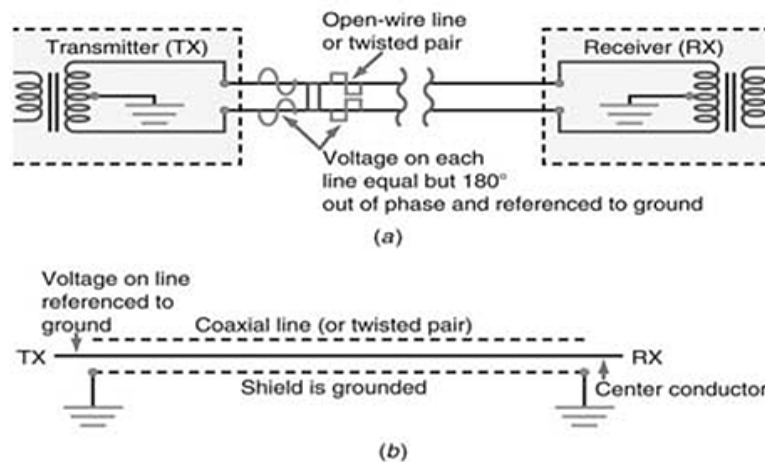


Рис. 4. 1 Симметричная линия (a) и несимметричная линия (b)

В теории электронных и электрических цепей, как показано выше не всегда обоснованно, «земля» обычно идеализируется как неограниченный источник или поглотитель заряда, который может абсорбировать (поглотить) неограниченный объем тока и в котором потенциал точки заземления равен нулю.

Более подробно о заземлении см. в разделе 3, в котором показано, что энергия между двумя точками не может передаваться через землю. Однако заземление может помочь передавать энергию по одному проводу.

Можно показать, что все три схемы, показанные на рис 4.2 (a,b и c) эквивалентны, если расстояние между источником и нагрузкой гораздо меньше длины волны. Действительно, если, например, две точки схемы рис 3.2 а имеют идентичный (нулевой) потенциал, то эти точки могут быть объединены (см. рис 4.2b)

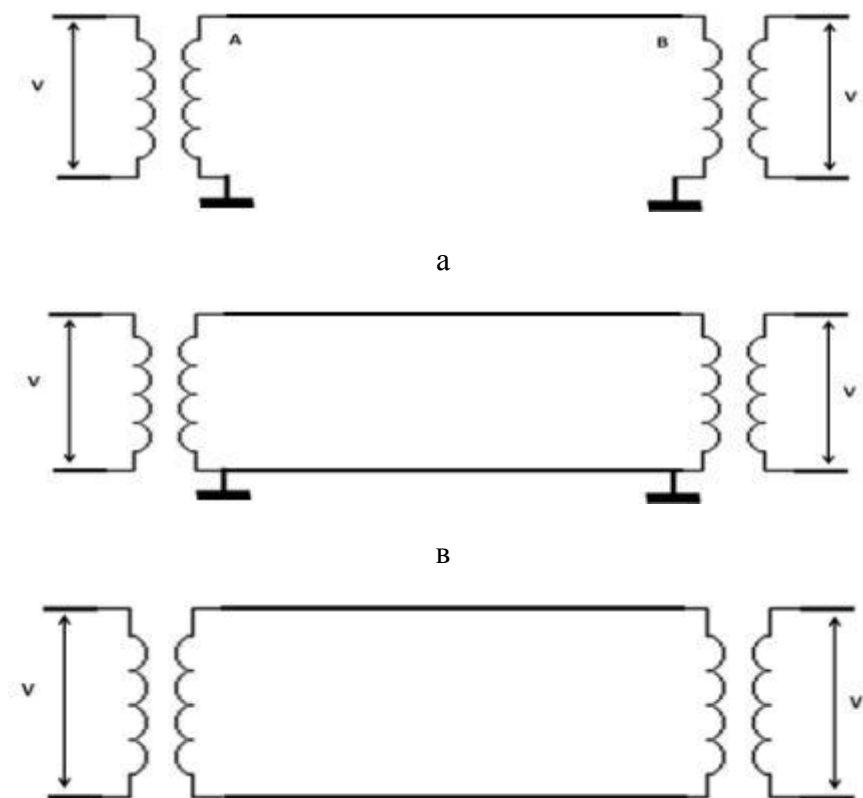


Рис. 4.2 Эквивалентность симметричной и несимметричной схемы

Если не использовать заземления в схеме показанной на рис 4.2b, то величины токов не изменяются. В схеме, показанной на рис 4.3d в обоих проводах токи соответствуют закону Ома. В схемах показанных на рис 4.3a и рис 4.3 b ток протекает только в одном поводе. Но в этих случаях потенциал в рабочей линии превышает нулевой уровень, то есть вместо потенциалов $+V/2$ и $-V/2$ мы имеем потенциалы $+V$ и 0 . Следовательно, нагрузка получает такую же мощность как и в случае показанном на рис 3.2c.

Другими словами с точки зрения передачи энергии двухпроводная симметричная схема и однопроводная схема, например типа SWER, эквивалентны (о системе SWER смотри ниже).

Однако, как уже было указано, вывод об эквивалентности справедлив только в случае, если длина линий гораздо меньше длины волны. Это обстоятельство является одной из проблем в несимметричных устройствах, например, в системе SWER.

Эта несимметричная линия должна передавать всю энергию и все сигналы из Тх в Rx. Потенциалы заземления в обеих точках одинаковы (ноль). Однако потенциалы в точках А и В на рис 3.2а различны из-за задержки сигнала. То есть разность потенциалов на выходе передатчика и на входе приёмника различны.

Это означает, что Тх и Rx имеют различную фазу. Следует отметить, что в симметричной схеме в случае активной нагрузки разность потенциалов на входе приёмника не зависит от задержки сигнала, так как потенциалы на концах обоих проводов одинаково изменяются в зависимости от задержки.

Эта ситуация может быть подобна ситуации из-за проблем при реактивной нагрузке. В случае реактивной нагрузки появляется реактивная мощность, то есть источник должен создавать активную и реактивную энергию. Другими словами в случае длинных линий такая система теряет большое количество энергии. Проблема появления реактивной мощности в несимметричных схемах хорошо известна [3]. Это положение может быть проиллюстрировано на примере системы SWER.

О системе SWER

Авторы этой системы заявляют, что в их системе (см. рис.4.3) применяется метод распределения электроэнергии, который использует только единственный проводник (SW - Single Wire), а также путь возврата тока через землю (ER – Earth Return) [4].

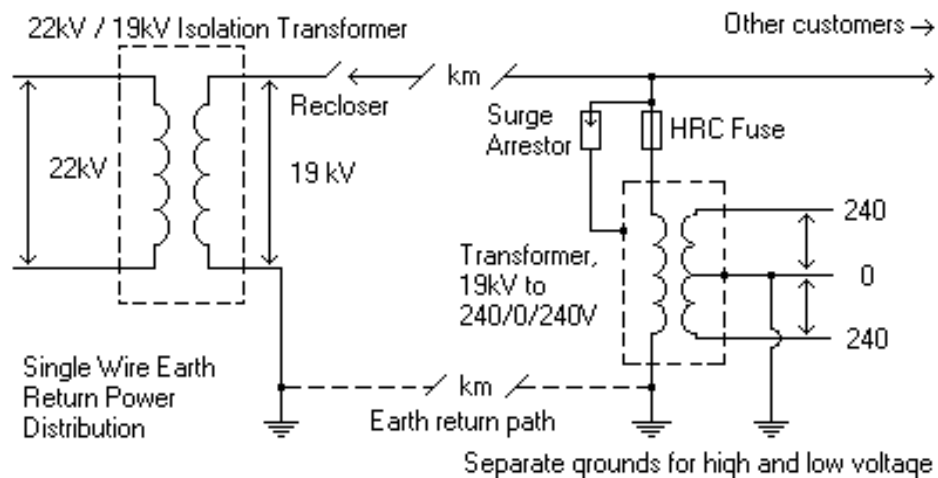


Рис. 4.3 Схема системы SWER

Возникновение реактивной мощности в реальной SWEP системе может быть показано с помощью моделирования (рис 4.4a). В этом случае фазовый сдвиг в линии равен $\cos \varphi = 0,65$, что соответствует длине линии 450 км. Это эквивалентно шунтированию нагрузки реактивным сопротивлением, что должно приводить к увеличению тока генератора. В этом случае ток генератора оказался более чем в два раза больше тока в нагрузке (рис 3.4b).

В работах о небалансных линиях эта проблема описывается как возврат напряжения от нагрузки к генератору (см <https://www.scribd.com/doc/199795708/Principles-of-Electronic-Communication-Systems-1-Third-Edition-Louis-E-Frenzel-Jr-By-McGraw-Hill>)

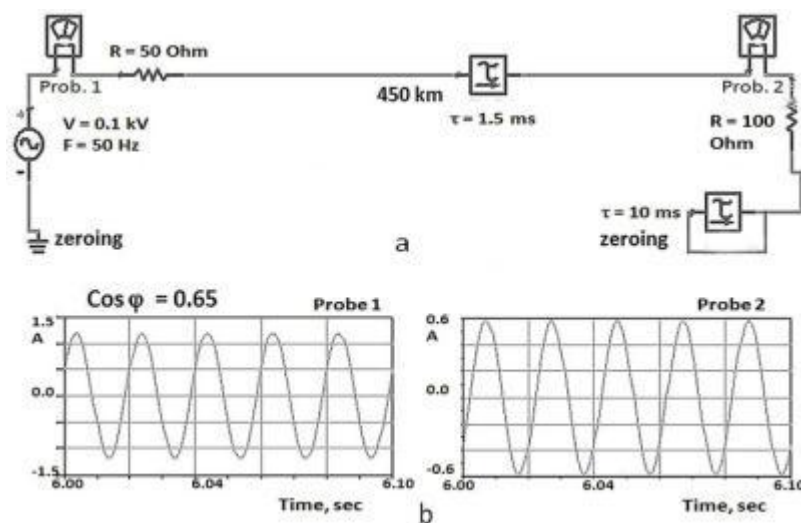


Рис. 4.4 Схема моделирования системы SWER – a and результаты моделирования - b

В моделировании по схеме на рис 4.4 в качестве заземления нагрузки использовался одночастотный обнулитель, приведенный в разделе 3.

Следует заметить, что переход от симметричной двухпроводной схемы к несимметричной однопроводной схеме типа SWER не приводит к уменьшению передаваемой мощности. Но поскольку потенциал нижних концов генератора и нагрузки обнуляется, то напряжение относительно земли верхних концов генератора и нагрузки, а так же провода удваивается. Система типа SWER позволяет уменьшить в два раза количество проводов, но эти провода должны быть рассчитаны на двукратное увеличение напряжения.

Компенсация реактивности, которая возникает из-за несимметричности и создаёт проблемы вследствие непостоянства нагрузки, а также из-за возможных потерь в компенсирующих фильтрах.

Рис 4.3 иллюстрирует тот факт, что система SWER это обычная несимметричная схема. То есть можно ожидать, что в ней будут иметь место определённые потери энергии. Однако эти потери не обусловлены

непосредственно тем фактом, что нижние (по схеме) точки трансформаторов соединены с землёй.

Таким образом, в относительно протяженной линии SWER генератор должен создавать ток, который больше тока в нагрузке. Эта проблема может быть частично решена с помощью компенсации, используя последовательно или параллельно включаемые индуктивности или конденсаторы. Однако эти фильтры вносят большое затухание, что значительно усложняет возможность компенсации фазового сдвига.

Симметричная однопроводная система (B-Line)

В предлагаемой однопроводной системе перед нагрузкой одиночный провод разделяется на два или три провода и устанавливаются нужные фазы. Генератор в линии типа (B-Line) создает точно те же два тока, что и в обычной симметричной двухпроводной схеме. По этой причине схема типа (B-Line) может считаться симметричной. Рис 4.5 иллюстрирует схему и результаты моделирования системы типа (B-Line) для сравнения с результатами полученными для системы SWER (см. рис 4.5).

В случае использования линии типа (B-Line) ток генератора почти равен току в нагрузке.

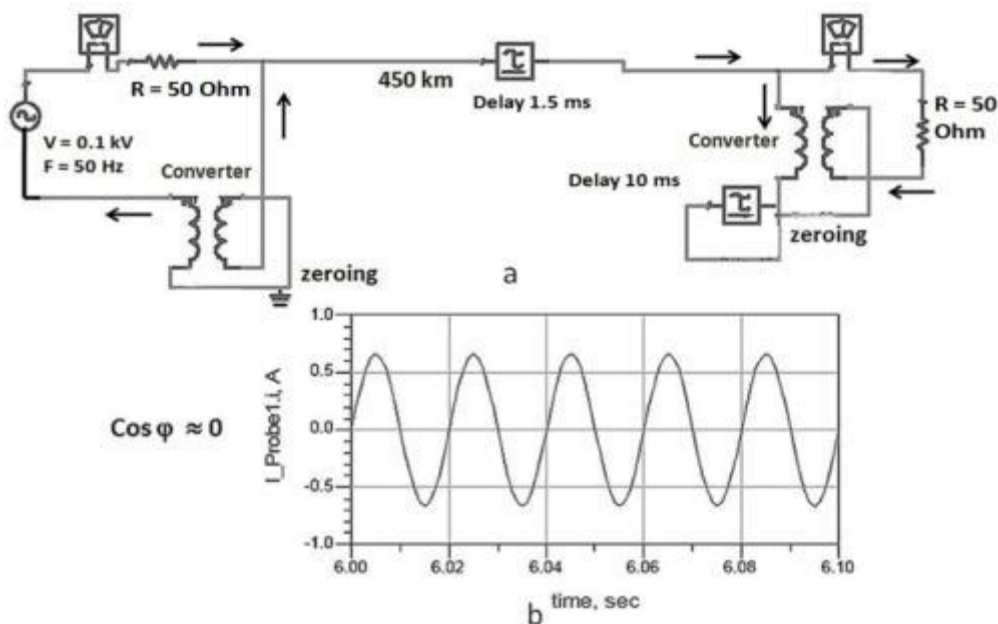


Рис 4.5 Схема моделирования линии типа (B-Line) – а и результаты моделирования - б

Выбранные параметры линии задержки соответствуют нужному фазовому сдвигу тока в нагрузке. Таким образом мы получили еще одно существенное преимущество схемы типа (B-Line): это её способность передавать дифференциальный (симметричный) сигнал по одному проводу.

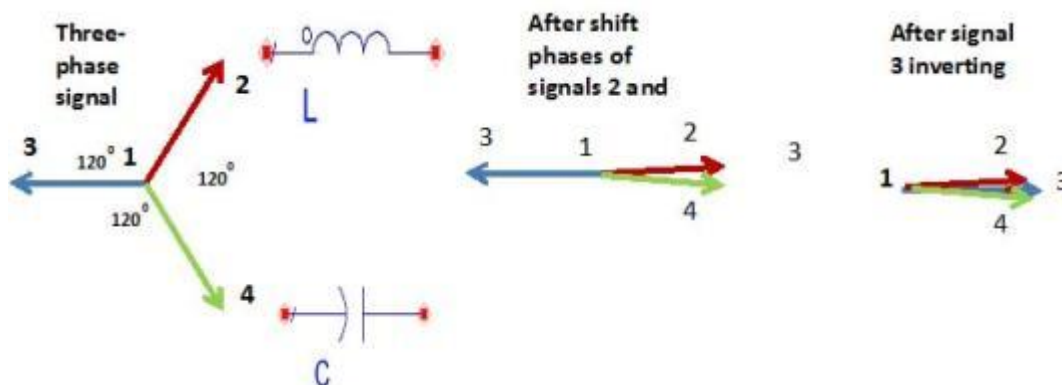
5. Трёхфазный сигнал по одному проводу

Хорошо известная трёхфазная система является комбинацией трёх однопроводных систем. Если у всех трёх фаз нагрузка одинаковая (балансная схема), ток в общем проводе равен нулю и в этом случае четвёртый провод не нужен. Проблема возникает в случае, если фазы нагрузок изменяются неодинаково. Основное преимущество трёхфазных систем состоит в использовании трёх или четырёх проводов вместо шести для передачи трёх сигналов, так как трёхфазный сигнал лучше для некоторых электродвигателей и генераторов. Недостатками трёхфазной системы являются: необходимость использования трёх или четырёх проводов для передачи одного сигнала для трёхфазной нагрузки, необходимость обеспечивать большое расстояние между проводами, необходимость иметь промежуточные станции, более дорогие опоры для линий электропередач и более высокое линейное напряжение, которое в 1,73 раза больше фазного напряжения, необходимость компенсировать реактивную мощность в случае протяженной линии (смотри предыдущий раздел).

Покажем, что сигнал, передаваемый в трёхфазной системе, можно передать по одному проводу. К сожалению, изменить фазу на 120° является не простой задачей. Простой однозвенный фильтр может изменять фазу менее чем на 90 градусов. Использование более сложных фильтров в мощных системах невыгодно из-за больших потерь.

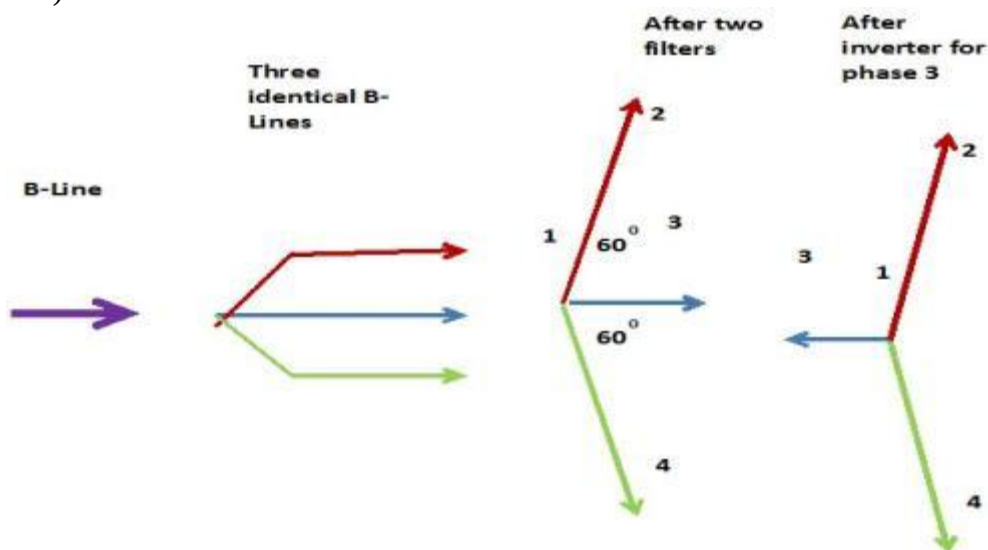
Однако задача, преобразования трёхфазного сигнала в однопроводный сигнал (построения конвертера), может быть решена более простым методом, предлагаемым ниже. Идея применения конвертера для решения этой задачи иллюстрируется на рис. 5.1а

В этом случае фазы двух сигналов сдвигаются на 60 градусов с помощью простых фильтров, а фаза третьего сигнала сдвигается на 180 градусов с помощью инвертора.



a

Тот же самый метод позволяет преобразовать однопроводный сигнал в трёхфазный (рис 5.1b)



b

Рис. 5.1 Векторные диаграммы: 3 в 1 (a) и 1 в 3 (b)

Здесь инвертор представляет собой трансформатор 1:1 со встречно включёнными обмотками. Все три элемента должны соответствовать заданному напряжению и току.

Величины C и L совместно с сопротивлением нагрузки должны обеспечивать фазовый сдвиг равный 60 градусов. Следовательно, соотношение X_C и X_L должно быть 1,73. Значение сопротивления R может быть определено по известной величине полной мощности в нагрузках. В результате схема конвертора выглядит, как показано на рис 5.2.

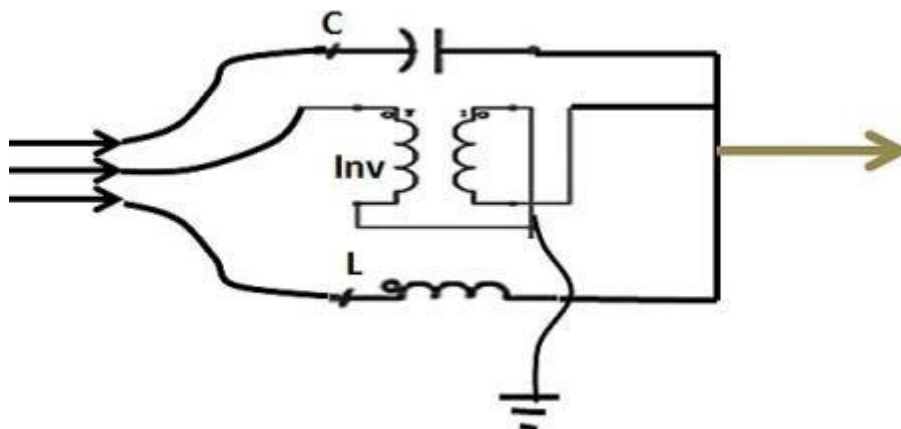


Рис. 5.2 Схема конвертора 3 в 1

Схема и результаты моделирования предложенного конвертора показаны на рис. 5.3

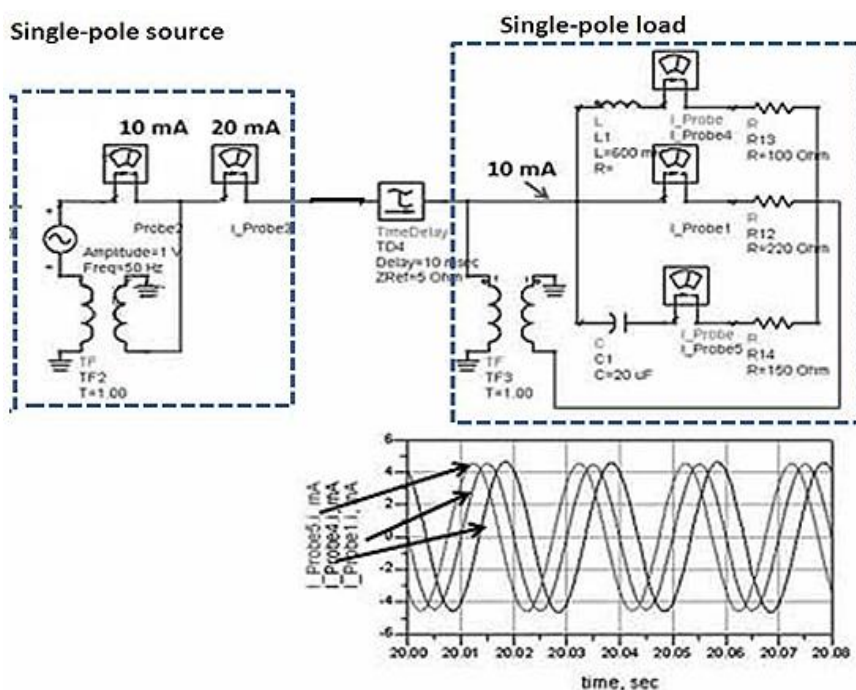


Рис. 5.3.Схема конвертора 3 в 1 для трёхфазной линии типа В-Line результаты моделирования

Заметим, что эта схема не требует использования дополнительного провода даже в случае трех различных нагрузочных сопротивлений (схема с несимметричной фазой).

На практике нагрузка в системе может изменяться. Следовательно, необходимо изменять соответственно значения ёмкости C и индуктивности L .

Это может быть сделано, используя обратную связь от изменений величины тока, которые обратно пропорциональны величине нагрузки. Сегодня для того, чтобы поддерживать постоянный уровень напряжения при изменениях сопротивления нагрузки используются так называемые « Трансформаторы с переключающимися отводами обмоток (TCUL)». Однако и этот трансформатор также не решает полностью проблему изменения сопротивления нагрузки при попытке сохранять необходимые значения фаз. В этом случае можно увеличивать L и уменьшать C пропорционально уменьшению тока (как показано на рис. 5.4).

Значения ёмкостей C и индуктивностей L могут быть выбраны в соответствии со значениями скачков напряжения в трансформаторе, а в качестве источника сигнала обратной связи может быть использован любой бесконтактный датчик.

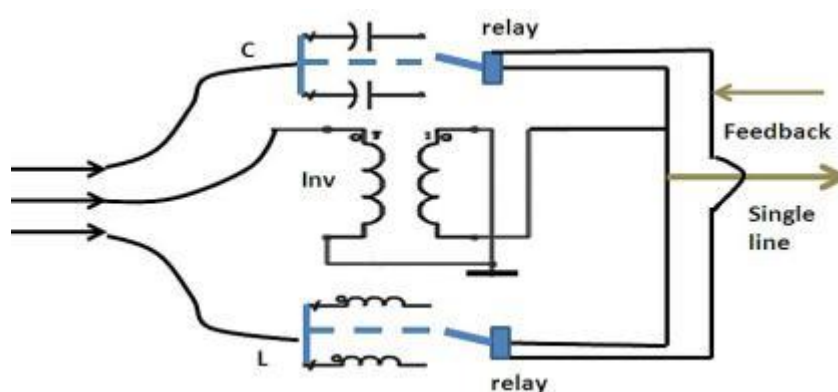


Рис. 5.4 Схема конвертера 3 в 1

Система регулировки фазы может быть автоматической. В этом случае система состоит из двух частей. Первая часть представляет собой блок управления. Сигнал обратной связи может быть получен с помощью известного бесконтактного метода, как показано на рис 5.5.



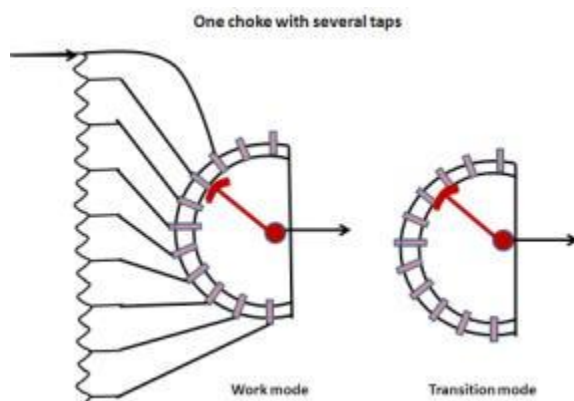
Рис. 5.5 Устройство для приёма сигнала обратной связи

Во вторую часть входят реле, переменные индуктивности и конденсаторы. Эта часть будет различной в различных системах. Системный разработчик подготавливает таблицу с рекомендациями по параметрам этих элементов.

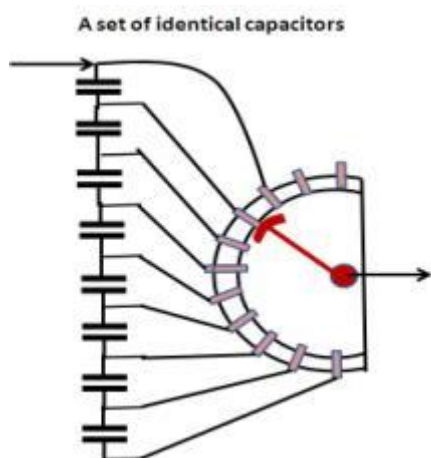
Практическая реализация этой схемы может быть не сложной (см. рис 5.6 а и б).

Набор индуктивностей можно выполнить в виде одного дросселя с отводами.

Конденсаторы в наборе могут быть одинаковыми по емкости.



а



б

Рис. 5.6 Переменная индуктивность (а) and переменный конденсатор (б)

Как можно видеть из рис 5.6 в этих схемах не происходит прерывание тока, а есть только возрастание или уменьшение тока.

Таким образом, показано, что система однопроводного электричества позволяет осуществить передачу от источника трёхфазного сигнала к

приёмнику трёхфазного сигнала по одному проводу вместо трёх и четырёх проводов. Однако имеется ещё три других важных преимущества.

Первое: пусть есть три фазы с проводами сопротивлением 1 Ом, током 1 ампер и фазным напряжением 1 вольт. Мощность, выделяющаяся в проводах, (потери мощности) будет: $PL = 3 \cdot 1^2 \cdot 1 = 3 \text{ Вт}$.

Но линейное напряжение в этой системе равно 1,7 вольт. Давайте создадим также однопроводную систему с напряжением 1,7 вольта. Для того, чтобы иметь такие же потери мощности мы должны взять сопротивление: $3 \text{ Вт} / (1.7)^2 = 1.0 \text{ Ом}$.

Таким образом, вместо трёх проводов с сопротивлением 1 Ом мы используем один провод с сопротивлением 1 Ом.

За счёт чего получается этот большой выигрыш? Можно сказать, что трёхфазная система это плохой трансформатор, в котором напряжение повышается в 1,7 раза, а ток не уменьшается.

Второе: как указывалось выше, в трёхфазной линии повышенной длины создаётся реактивная мощность, что обусловлено тем, что эта система является несимметричной. Потенциал оконечной нагрузки, которая подключена к этой линии, меняется при изменении расстояния (длины). Потенциал другой оконечной нагрузки является постоянным и равен нулю, а это эквивалентно присутствию в нагрузке индуктивности. Схему для моделирования трёх различных расстояний можно видеть на рис 5.7.

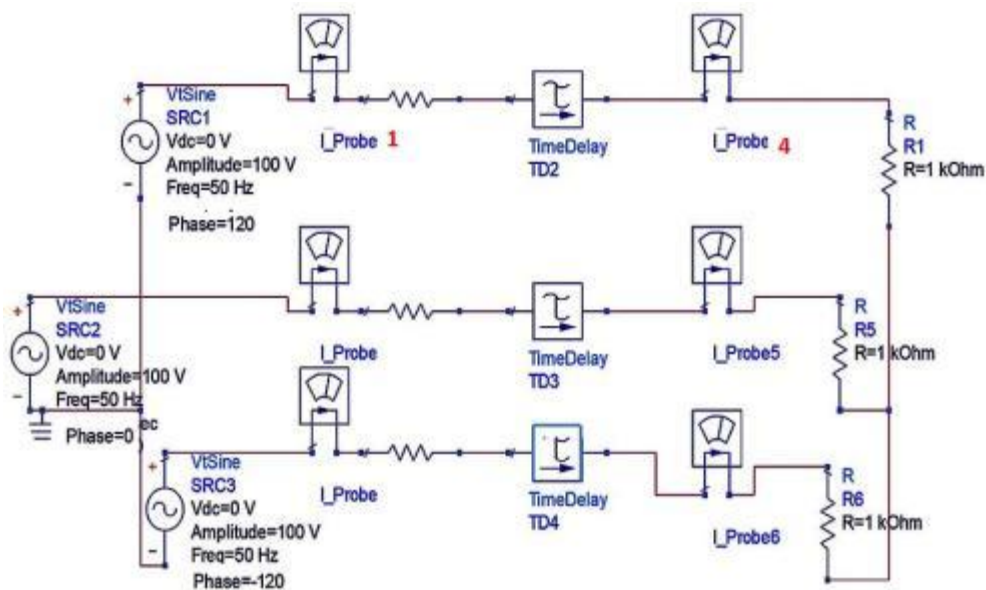


Рис. 5.7 Схема для моделирования влияния изменения расстояния в трёхфазной системе

Результаты моделирования при трёх различных задержках показаны на рис 5.8

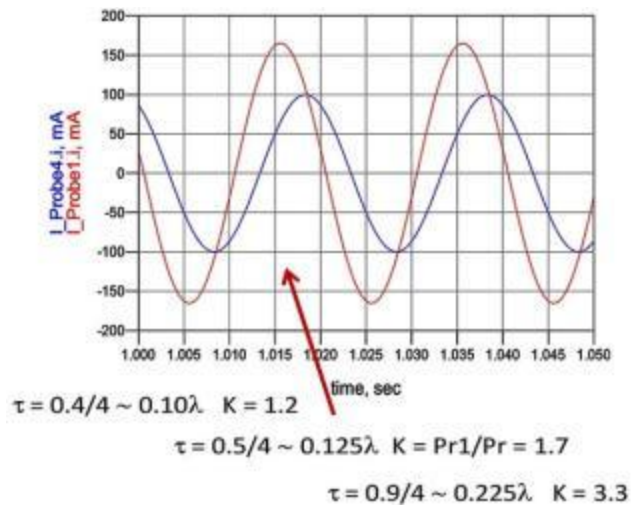


Рис. 5.8 Результаты моделирования

Можно видеть, что при увеличении расстояния (увеличение задержки) реактивная мощность возрастает. Здесь K – это отношение тока в генераторе к току в нагрузке. Третье: однопроводная система (как показано на рис. 5.4) всегда сбалансирована, поскольку каждая ваза корректируется отдельно.

5. Экспериментальные системы

Однопроводная линия с напряжением 220 В

Помимо проведения моделирований и экспериментов было решено построить экспериментальные линии. Первая работающая однопроводная линия была проложена между двумя кампусами в Иерусалимском Технологическом Колледже (JCT). Передающая часть (источник) была расположена в первом здании. Первый приёмник (электрическая лампочка 60 Вт) находилась в другом здании (см. рис.6.1).



рис 6.1 Однопроводная система в JCT

Второй приёмник (такая же лампочка) находился в первом здании, но в другой комнате. Эти здания имеют разные точки заземления. Длина проводов между источником и приёмниками равна 300 метров. На источник подаются напряжение 220 вольт. Напряжение сети подается через разделительный трансформатор, чтобы исключить возможное влияние защитного заземления. Источники имеют один однопроводный выход для каждой линии.

Средние точки инверторов в обоих источниках имеют противоположные полярности и, следовательно, их соединение обеспечивает необходимое обнуление потенциалов. При этом источник и его инверторы не подсоединены к земле (см. схему на рис 6.2)

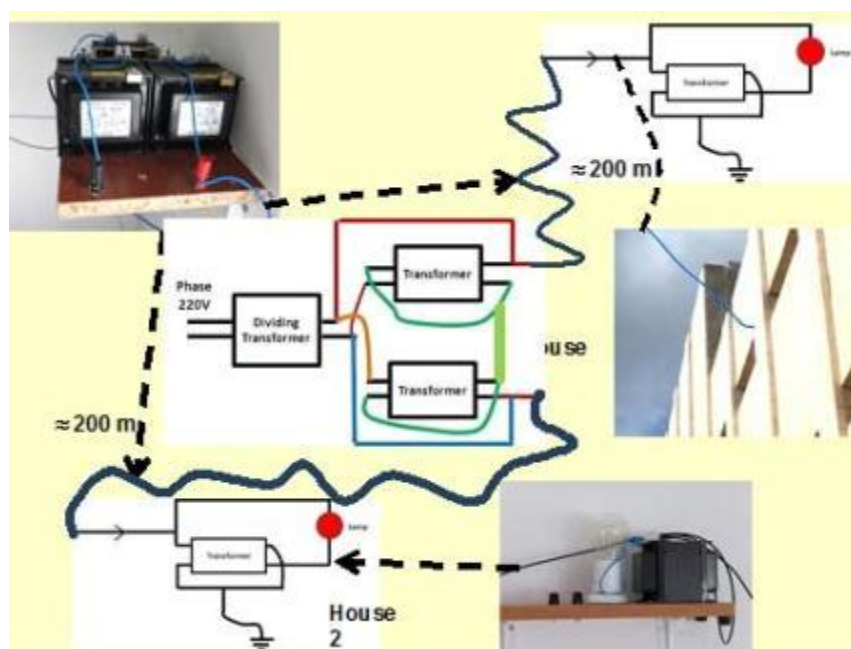


Рис. 6.2 Схема однопроводной системы в JST

То есть заземление обеих линий имеется только на приёмных концах. В одном из этих зданий было сделано отдельное заземление для однопроводной линии.

Эти линии были дважды проверены специалистом направленным израильским министерством энергетики, который подтвердил, что система работает как однопроводная линия и не вносит никаких дополнительных потерь.

Для того, чтобы продемонстрировать, что земля не участвует в в процессе передачи электрического сигнала, был проведён другой эксперимент на частоте 300 МГц (см. рис 6.3). В этом случае инвертор был выполнен в виде 500 метровой линии (линия задержки на пол периода) без соединения с землёй.

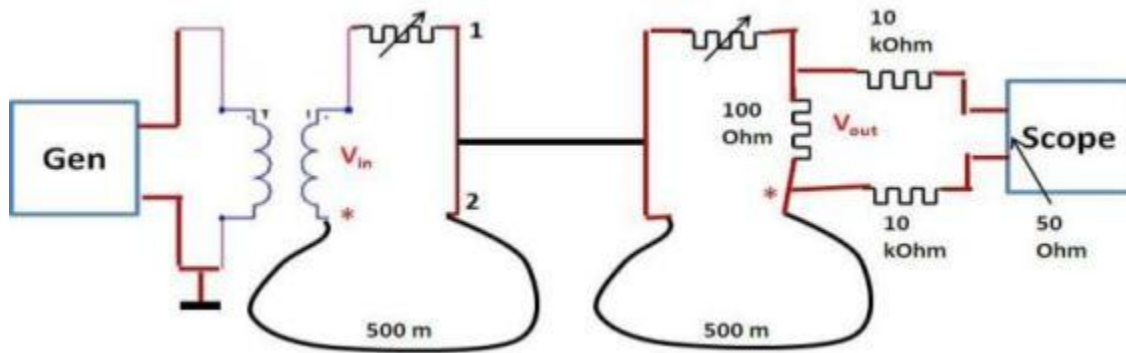


Рис. 6.3 Однопроводная система без заземления в JST

И эта линия, как и первая, полностью соответствовала двухпроводному эквиваленту.

Шести киловольтная однопроводная система

После демонстрации первой экспериментальной линии автор получил много замечаний типа «это невозможно» или «вы используете при моделировании идеальные элементы, но в реальной системе это не будет работать» или «для обнуления используется заземление, так что земля это другая линия») или «220 вольт это не практическая система» и т.д.

Поэтому в центре Израиля (в посёлке Таль Шахар) была построена ещё одна экспериментальная линия. Эта линия работает при напряжении 6 киловольт.

Сначала было выполнено моделирование предложенной схемы (см. рис 6.4)

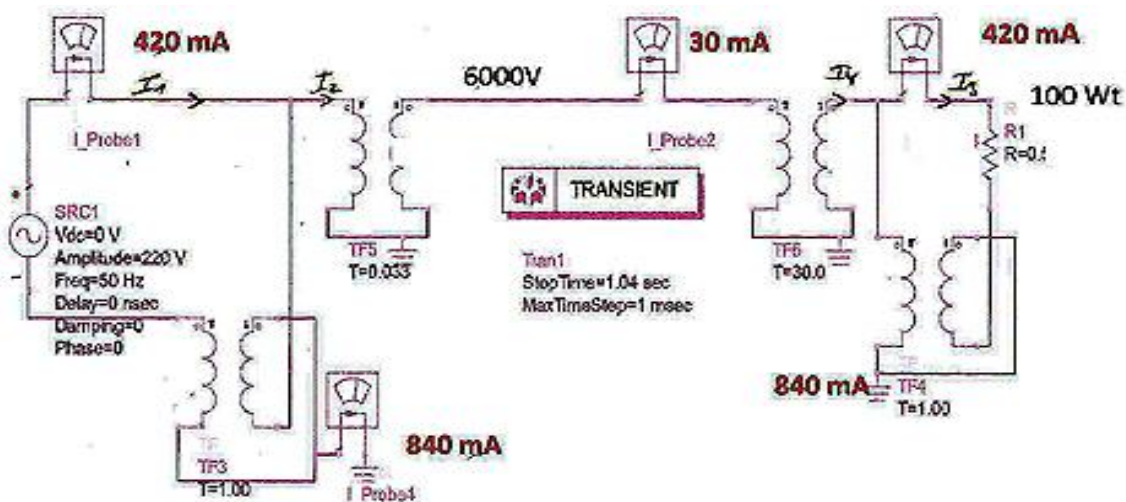


Рис. 6.4 Схема и результаты моделирования экспериментальной 6 киловольтной системы

Сначала эта система была проверена в лабораторных условиях. Обе части системы (передающая и приёмная) показаны на рис 6.5.

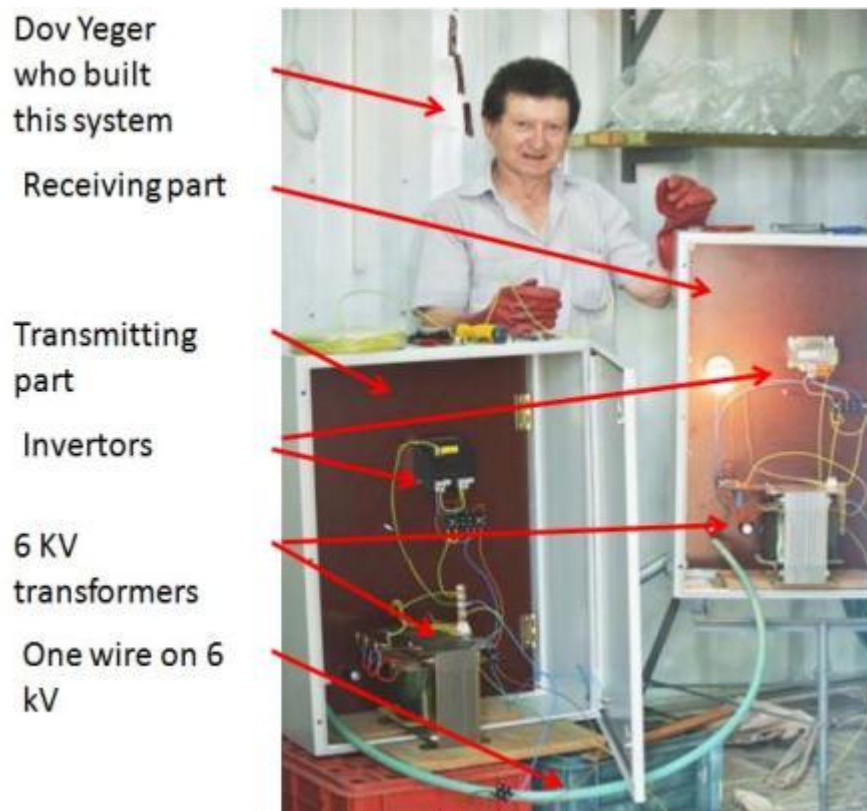


Рис 6.5 Передающая и приёмная части в лаборатории.

Испытываемая система была развернута по длине 200 м, с использованием высоковольтного провода.

На первой стадии испытаний обнуление в передающей и приёмной части было выполнено с помощью заземления.

Для этого вблизи передающей части в землю был забит медный штырь, диаметром 18 мм и длиной 1.5 м., который был соединён с клеммой заземления передающей части (см. рис. 6.6)



Рис. 6.6 Обычное заземление

Одним из главных преимуществ однопроводных линий является возможность использования подземных и подводных линий помещённых вместо туннелей в трубы малого диаметра. Поэтому около 20 метров этой экспериментальной линии собой подземную линию. На рис. 6.7 можно видеть также часть экспериментальной линии, протянутой над кактусовым полем. Видны также шесты (металлические трубы) прикреплённые верёвками к кактусам, чтобы предотвратить поломки из порывов сильного ветра.



Рис. 6.7 Израильская высоковольтная экспериментальная однопроводная система

На рис 6.8 можно видеть результаты измерения, которые соответствуют результатам измерений, полученным в лаборатории и перечисленным выше (на рис 6.4).

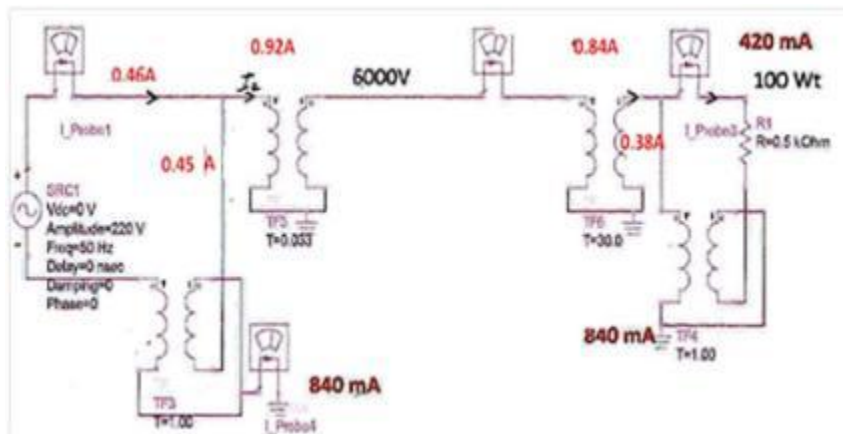


Рис. 6.8 Величины токов в воздушной электропроводной линии

После было решено показать, что не имеет места передача энергии между двумя точками заземления.

С этой целью было отключено заземление от передающей части и включен земляной обнулитель, который показан на рис 5.6. Величины всех токов системы не изменились.

Другой эксперимент был проведён в приёмной части системы. Был добавлен в нее конвертор, который показан на рис 4.2. В результате был получен трёхфазный сигнал. Амплитуды и фазы всех трёх токов соответствовали необходимым значениям.

Эти эксперименты показали, что однопроводная электрическая система с напряжением 6 кВ. и частотой тока 50 Гц работает и не вносит никаких дополнительных потерь. Эта система работает без реального заземления, но с обнулителем. Следовательно, земля не является второй линией. Нагрузка и источник системы однопроводной линии могут представлять собой трёхфазную систему.

7. Однопроводная система «зелёной» энергии

Обычная двухпроводная структура

В настоящее время большинство систем «зелёной» (природосберегающей, возобновляемой) энергии строятся как системы, работающие на постоянном токе, и все источники подключаются к устройствам накопления энергии посредством двухпроводных линий. Системы ветровой энергии строятся

подобным же образом, хотя каждый из источников (ветровых генераторов) вырабатывает переменный ток (рис.7.1). Основной причиной для использования именно постоянного (а не переменного) тока является проблема синхронизации всех источников и потому на выходе каждого источника используется выпрямитель.

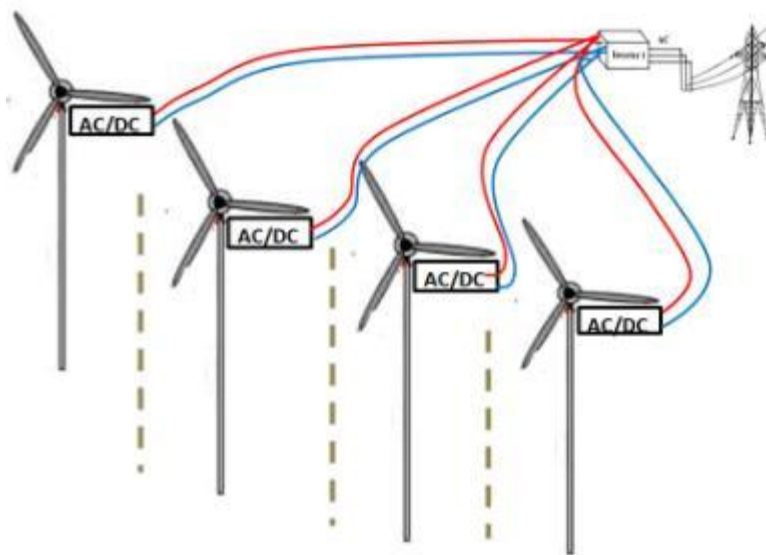


Рис. 7.1 Двухпроводная система получения ветровой энергии

Ниже описывается однопроводный метод отбора энергии от «зелёных» источников. Как следует из предыдущих разделов конверторы 2 в 1 и 3 в 1, а также обнулители легче выполнить на переменном токе. И они ещё проще, если частота тока больше 10 кГц. Как показано ниже, в этом случае конвертор может быть выполнен в виде бифилярной линии.

Но проблема синхронизации по-прежнему сохраняется.

Для решения этой проблемы было решено использовать не постоянный ток, а квазипостоянный ток.

Предложенная здесь система не содержит преобразователи AC - DC и DC – AC, батареи, системы обнуления и синхронизации. Система состоит из блоков источников и блока отбора энергии. В состав каждого блока источника входит сам источник и генератор, например, на частоты 100 кГц. Источник, в состав которого входит этот генератор, построен в соответствии с однопроводным методом, описанным в разделе 2 с использованием полуволновой линии задержки. Этот источник можно назвать однополярным источником - One Pole Source (OPS). На этих частотах линию задержки можно выполнить в виде бифилярной обмотки.

Переход от источника постоянного тока к источникам квазипостоянного тока показан на рис 7.2.

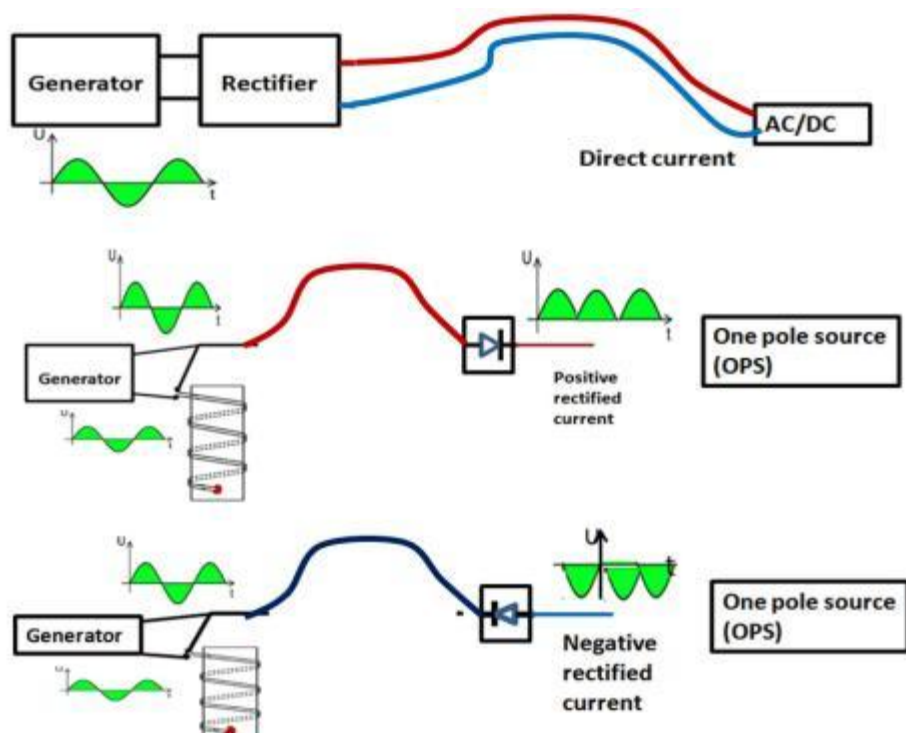


Рис. 7.2 Система с квазипостоянным током

Преобразователь или линия задержки могут быть выполнены в форме известной бифилярной линии (см. рис 7.3).

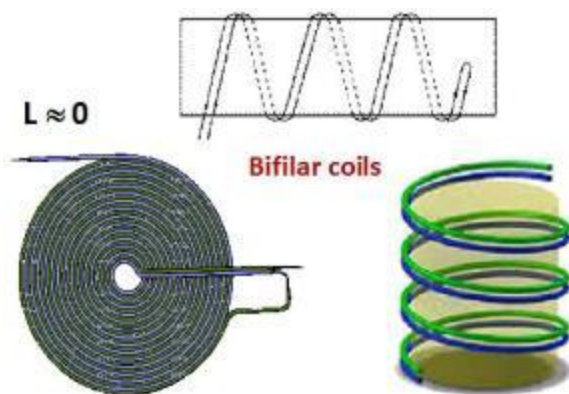


Рис. 7.3 Типы бифилярных линий

Половина источников генерирует ток положительной полярности, а другая половина – ток отрицательной полярности. Система отбора и накопления энергии в виде аккумулятора получает оба квазипеременных тока. Далее, как и в обычной системе (Рис 7.1), преобразователь постоянного тока в переменный генерирует ток, который соответствует требованиям сети.

В этом случае однопроводная линия системы зелёной энергии выглядит, как показано на рис 7.4

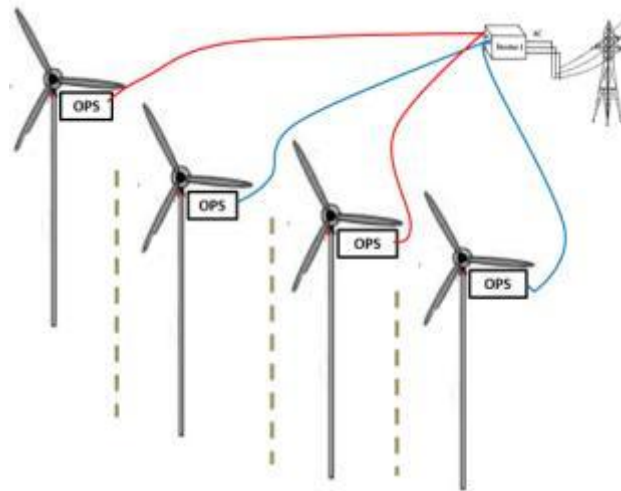


Рис. 7.4 Однопроводная система ветровой энергии

В качестве основы для выпрямителя в блоке сбора и накопления энергии мы можем использовать обычный симметричный однофазный двухполупериодный выпрямитель (см. рис 7.5).

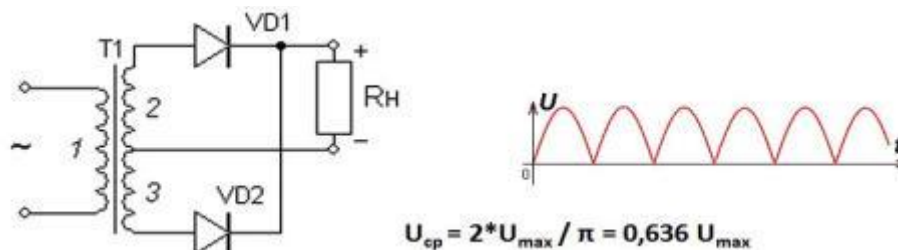


Рис. 7.5.Обычный двух полу-периодный выпрямитель

Моделирование системы с одним блоком источника было выполнено по схеме, показанной на рис 7.6.

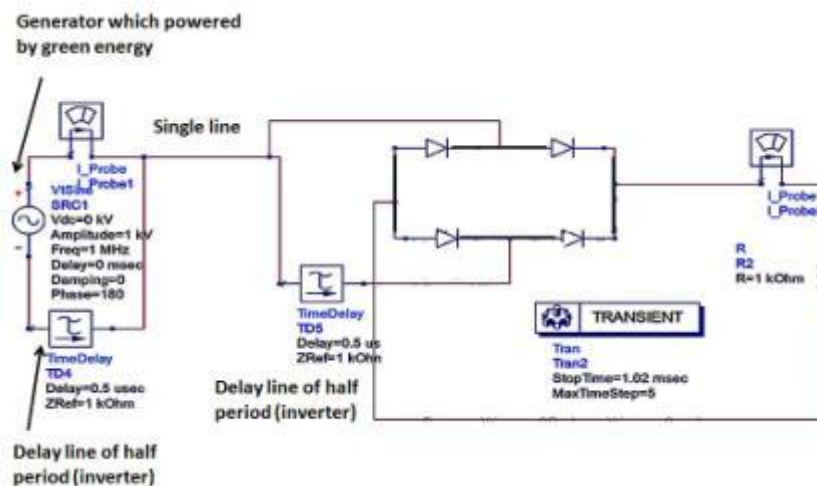


Рис. 7.5 Схема квазипостоянного тока для моделирования

Результаты моделирования можно видеть на рис 7.6

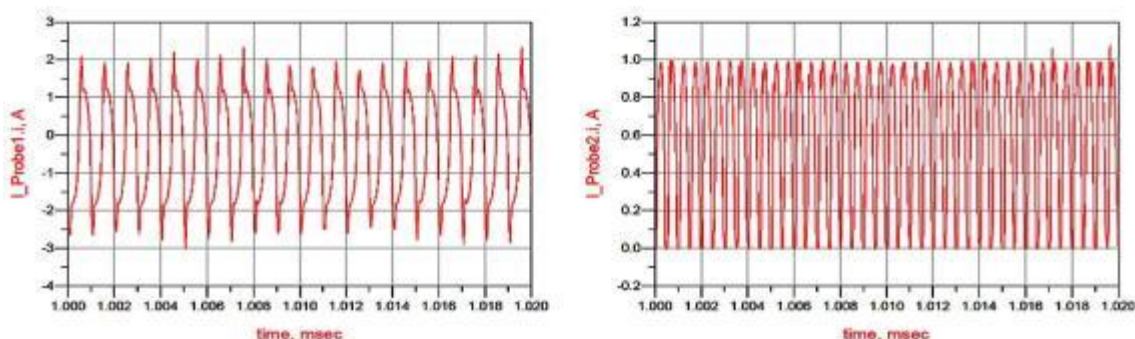


Рис. 7.6 Входной и выходной токи в схеме на рис 7.5

Это не идеальный сигнал постоянного тока. Но это квазипостоянный ток или однополярный ток. После его суммирования с множеством подобных сигналов с различной задержкой мы можем получить сигнал практически постоянного тока. Эти задержки создаются из-за различных расстояний между блоком источников и блоком отбора (накопления) энергии.

Моделирование системы с пятью блоками источников выполнено по схеме показанной на рис 7.8.

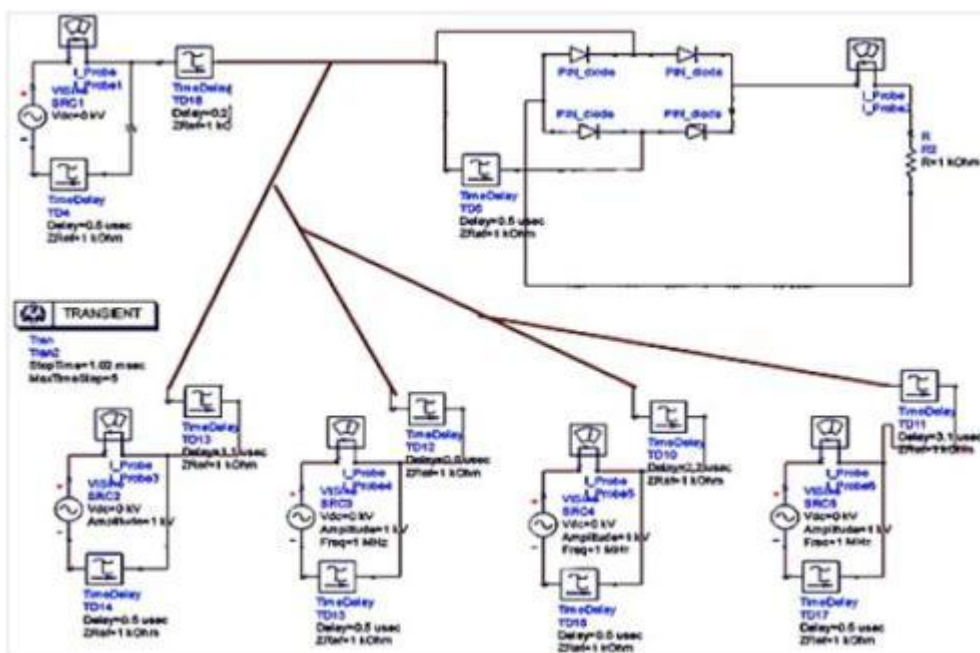


Рис.7.8. Схема моделирования с пятью источниками квазипостоянных токов

Каждый сигнал источников имеет различную задержку соответствующую расстоянию от 0,1 до 1 км. Результаты моделирования квази постоянного сигнала можно видеть на рис 7.9. Совершенно очевидно, что если подключить низкочастотные фильтры к обоим входам устройства накопления энергии, (батареи или генератору), мы получим нормальный двухпроводный сигнал постоянного тока.

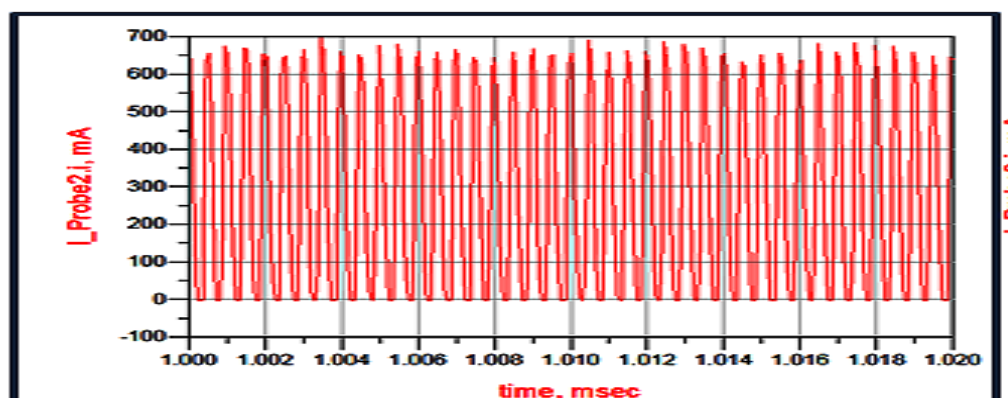


Рис 7.9 Форма выходного тока в схеме, показанной на рис 7.8

Следует отметить, что по сравнению с обычными двухпроводными системами, здесь используется в два раза меньшее число проводов, более простая система

преобразования в источниках энергии и исключены проблемы заземления в системе постоянного тока.

8. Помехи и потери

Электрическое поле и эффект «короны»

Высокое напряжение между проводами создаёт электрическое поле и приводит к эффекту коронарного разряда («короны»). Помимо возможного нанесения ущерба окружающей среде эти факторы приводят к дополнительным потерям. Напомним, линейное напряжение в трёхфазной системе $\sqrt{3}$ раз больше напряжения каждой фазы.

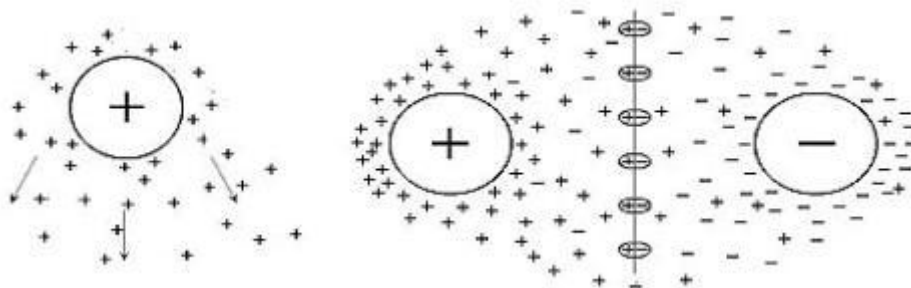


Рис 8.1 Эффект «короны» в одном и двух проводах

В результате воздействия высокого напряжения увеличивается скорость ионизации и, как следствие, увеличиваются потери энергии и коронарные явления в токе. Этот режим называется «биполярная корона» (см. правую часть рис. 8.1).

Возникновение короны не только создаёт дополнительные потери в проводах, но и приводит к таким дополнительным искажениям первоначальной синусоидальной формы тока, которые не приемлемы для используемых в настоящее время сетей переменного тока. В двухпроводных системах типа В-Line этой проблемы почти нет (см. левую часть рис. 8.1).

Проблемы коротких замыканий

Разрыв проводов и короткие замыкания являются проблемой во многих регионах мира. В настоящее время сервисное обслуживание трехфазных линий довольно дорого. Можно предположить, что будущие системы передачи электроэнергии будут однопроводными системами. На рис. 8.2 можно видеть, что число коротких

замыканий при переходе к однопроводному методу резко уменьшится. Меньше проводов - меньше коротких замыканий - меньше несчастных случаев.

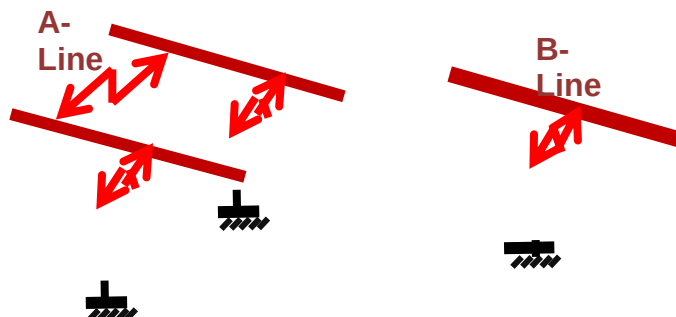


рис 8.2 Меньше проводов – меньше коротких замыканий

Количество разрывов проводов должно уменьшиться в такой же степени. При использовании однопроводного метода одиночный провод будет прокладываться под землёй или под водой (см. раздел 9), что еще меньше уменьшит возможные случаи коротких замыканий или разрывов цепи.

Потери мощности

Основное преимущество однопроводной системы это использование одного провода вместо двух, трех или четырёх, что приведёт к резкому уменьшению стоимости электрической системы.

Другим важным преимуществом является уменьшение потерь при передаче электроэнергии. Расчёты и моделирования показывают, что взаимное влияние двух относительно близко расположенных проводников с токами противоположной полярности, приводит к увеличению сопротивления обоих проводов (см. рис 8.3).

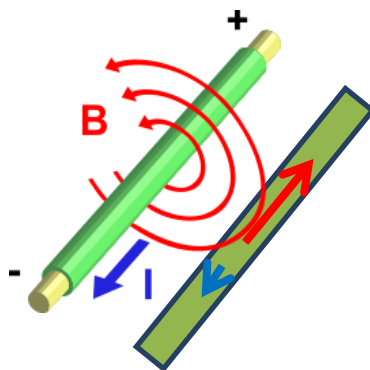


Рис. 8.3 Взаимное влияние двух проводников

Эта проблема подробно изучена в отношении кабелей получивших название «витая пара» («twisted pair»). Эта кабельная скрутка представляет такой тип провода, в котором два проводника скручиваются друг с другом с целью подавления электромагнитной интерференции с сигналами от внешних источников, например, электромагнитного излучения от неэкранированных витых кабельных пар и перекрёстных помех от соседних пар.

Из-за указанных интерференций каналы из витых пар не делают длинее 100м. [14].

В трёхфазных системах передачи энергия передаётся тремя отдельными проводами. Это обеспечивает уменьшения потерь из-за коронарного разряда и из-за взаимного влияния токов в проводах. Такое решение приводит к увеличению стоимости линии и реальной невозможности сооружать подземные или подводные линии.

Влияние электромагнитного поля на человека

Существует весьма серьёзная проблема с оценкой влияния линий электропередач высокого напряжения и трансформаторов на здоровье человека. Имеются нормы, рекомендации и методы измерения такого параметра уровня магнитной индукции. Однако этот параметр не позволяет оценить уровень мощности, которая проникает в человеческое тело.

Оппоненты однопроводного метода часто говорят, что в случае обычного двухпроводного или трехпроводного методов электромагнитное поле, создаваемое несколькими проводами, взаимно компенсируется. Но если будет только один провод, то влияние создаваемого им поля будет больше. Однако вероятно эти опасения преувеличены.

Можно считать, что электрический провод является передающей электрической антенной, а человеческое тело – это приёмная антенна. Из теории антенн хорошо известно, что эффективность антенны очень низка, если длина антенны гораздо меньше, чем четверть длины волны. Здесь мы имеем как раз такой случай. Провод, проходящий над головой человека, и тем более рост человека во много раз меньше чем четверть длины волны. Следует отметить, что длина волны на частоте 50 Гц равна 6000 км.

Мощные трансформаторы, в которых используются обмотки с большим числом витков, а также сердечники с высокой магнитной проницаемостью могут создавать электромагнитное поле. Такие трансформаторы могут представлять собой магнитную антенну с очень большой действующей высотой.

На рис. 8.4 можно видеть ввод электроэнергии в многоквартирный жилой дом в центре Иерусалима, использующий понижающий трансформатор.



рис. 8.4 Дом в центре Иерусалима

Очевидно, что эти трансформаторы должны быть как в многопроводных системах, так и в однопроводных системах. Но однопроводной метод позволяет подавать электроэнергию под землёй. В этом случае трансформаторы или коммутирующие устройства могут располагаться на уровне земли или ниже этого уровня, а не перед окнами жилого дома.

9. Подземные и подводные однопроводные системы

Имеются две проблемы связанные с подземной трёхфазной системой. Первое. Между проводами трёхфазной системы должно быть определённое расстояние и уменьшение этого расстояния приводит к большим дополнительным потерям. Для уменьшения этих потерь приходится строить очень дорогие туннели (рис 9.1).



Рис 9.1 Туннели для подземной трёхфазной системы

Вторая проблема это ёмкость кабеля на единицу длины [14, 15].

Эта ёмкость у каждого провода возрастает в присутствии других проводов. Это является причиной возникновения большой реактивной мощности и для того, чтобы воспрепятствовать этому в системах большой длины, используют промежуточные станции, которые обеспечивают компенсацию реактивной мощности.

Другое решение этих проблем – передача электроэнергии с помощью постоянного тока, однако практическая реализация такого решения очень дорога.

Реактивная мощность в электрической системе это давно хорошо известная проблема. Покажем это на приведённом ниже моделировании (рис 9.2). Для имитации влияния емкости кабеля возьмём конденсатор и подключим его параллельно нагрузке.

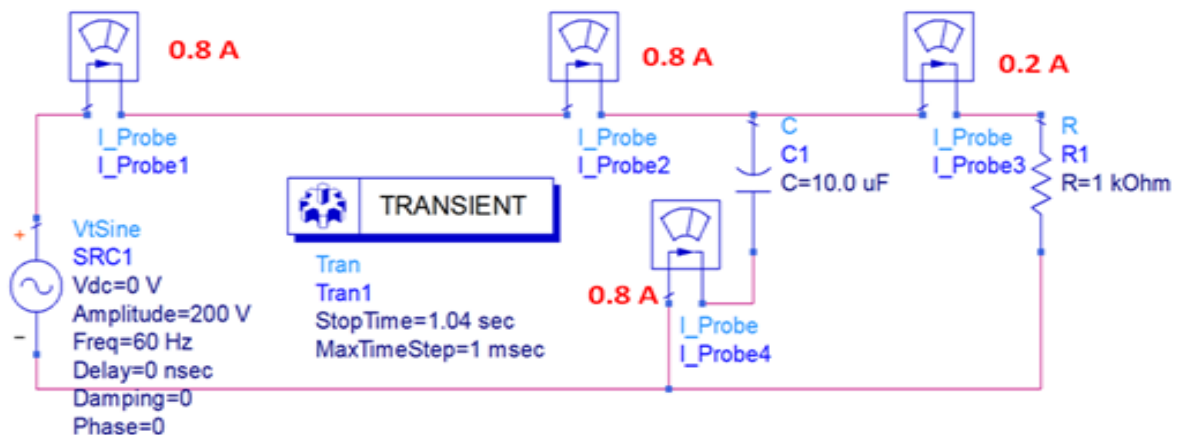


Рис. 9.2 Система с ёмкостью подключённой параллельно нагрузке

Здесь присутствует большая реактивная мощность (входной ток возрастает с 200 мА до 800 мА) Такие же токи получаются, если второй провод подключён к земле. А в однопроводной системе такая же ёмкость создаёт гораздо меньшую реактивную мощность (рис 9.3).

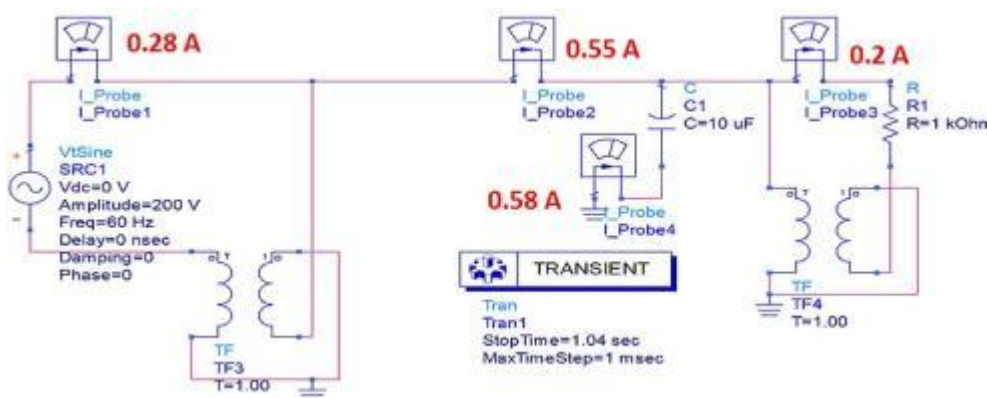


Рис. 9.3 Моделирование однопроводной системы с подключением ёмкости параллельно нагрузке.

Наибольшее влияние имеет линейная или зарядная ёмкость. В большой степени это ёмкость между любым кабелем или между кабельной жилой и экранирующей оплёткой кабеля.(рис 9.4).

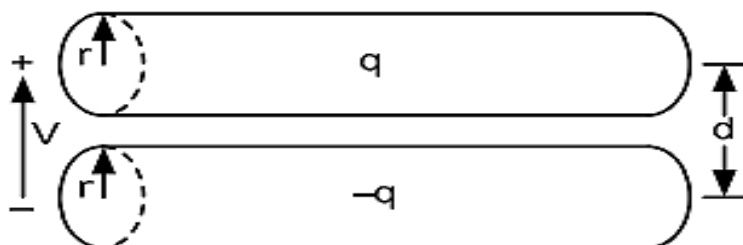


рис 9.4 Влияние второго провода на ёмкость кабеля

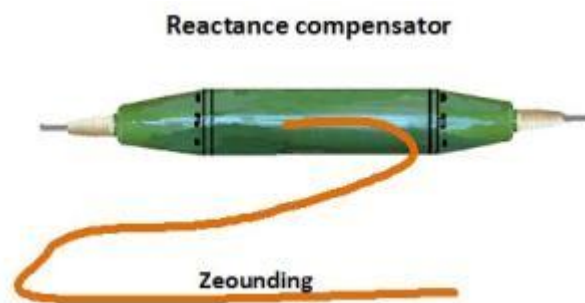
Обычно подразумевается, что кабель передаёт однофазный сигнал. Один полюс фазы подключен к центральной жиле кабеля, а второй – к кабельной оплётке. Кабельная оплетка может быть заземлена на входе, а также и на выходе, но между входом и выходом кабель не заземлён.

В однопроводной системе линейной (погонной) ёмкости нет (или почти нет) и потому, возможно что, в этом случае нет необходимости что-либо компенсировать. То есть в этом отношении однопроводная система не отличается от системы постоянного тока.

В однопроводной системе нечего не надо подключать к оплётке и даже если она будет заземлена, она не станет двухпроводной системой.

Сейчас можно сформулировать проблемы компенсации реактивности. реактивной мощности. В общем случае реактивная мощность возникает, если параллельно нагрузке подключена реактивность. Последовательная реактивность создаёт фазовый сдвиг, и дополнительные потери, но эта реактивность легко компенсируется. В высоковольтных воздушных линиях имеется большая ёмкость между проводами, то есть параллельная нагрузке. Поэтому на промежуточных станциях установлены компенсирующие устройства.

Одним из важных преимуществ однопроводных электрических линий является отсутствие ёмкости между проводами, но и ёмкость между проводами и землёй тоже очень мала. Следовательно, может оказаться, что промежуточные станции будут не нужны. В подземных и подводных линиях есть ёмкость между проводом и землёй. Поэтому необходимо использовать промежуточные компенсирующие устройства. Но возможно, что это не большая проблема. Можно разработать небольшие устройства типа усилителя в системе оптической линии (нечто подобное соединительной муфте, см. рис 9.5).

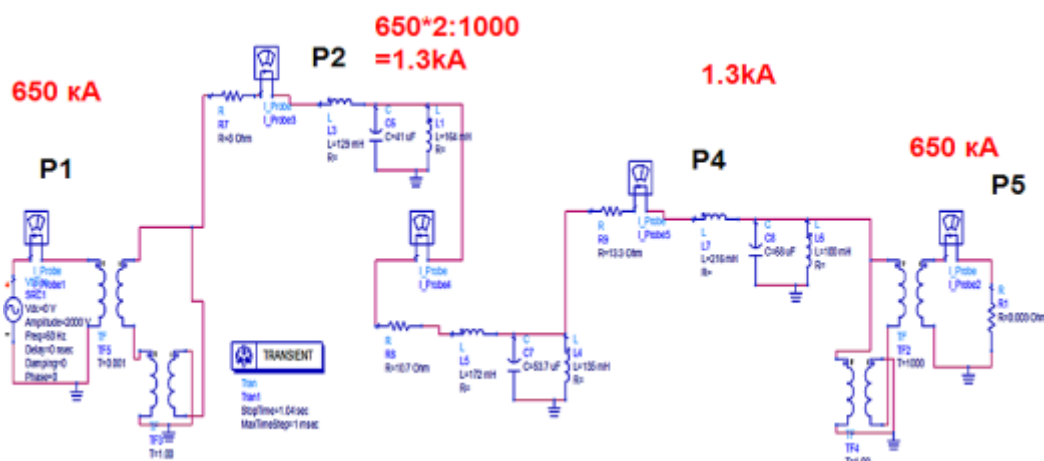


Fig

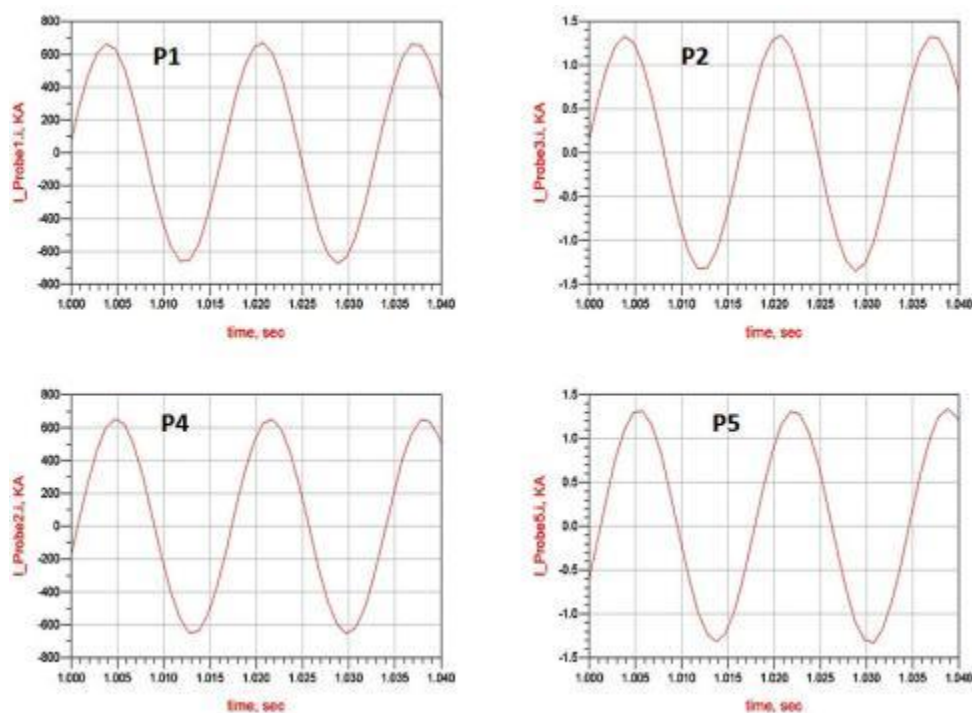
Рис. 9.5 Подводный метод обнуления

То есть мы получили проводной обнулитель. В подводной системе этот компенсатор **будет находиться в солёной воде на дне.**

По просьбе одной электрической компании было выполнено моделирование однопроводной системы для передачи электроэнергии (1.3 МВт) по линии, которая состоит из трёх участков длиной 300 – 400 – 500 км, которое показало, что используя последовательную индуктивность и параллельный конденсатор можно устранить реактивную мощность (рис 9.6 а и b).



a



b

Рис. 9.6 Схема (а) и результаты моделирования (b) трёх секционной однопроводной подводной линии

Таким образом, при применении однопроводного метода, возможно не понадобятся промежуточные станции для компенсации реактивной мощности в воздушных системах. В случае подземных или подводных систем небольшие компенсирующие элементы могут решать проблему обусловленную влиянием погонной индуктивности и погонной (зарядной) ёмкости.

10. Высокочастотные однопроводные системы. Антенны

Линия на высокой частоте

Покажем, что идея однопроводной линии типа B-Line также применима на высоких частотах. Сначала мы сравним нормальную длинную линию с волновым сопротивлением 300 Ом с линией типа B-Line на частоте 1.1 ГГц.

На высокой частоте можно создать инвертер в виде линии задержки, длина которой равна половине длины волны [17] или в виде **однополюсной** полосковой линии (Strip line), см. рис 10.1

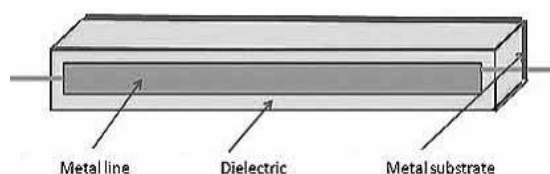


Рис. 10.1 Однополюсная полосковая линия

Покажем результаты моделирования длинной (по сравнению с длиной волны) линии с волновым сопротивлением 300 Ом. Схема линии типа A-Line (модель 1) и линии типа B-Line (модель 2) показаны на графиках рис.10.2 и 10.3. В качестве нагрузки применялся источник с внутренним сопротивлением 300 Ом и нулевым напряжением. На тех же рисунках можно видеть параметры S11 and S21

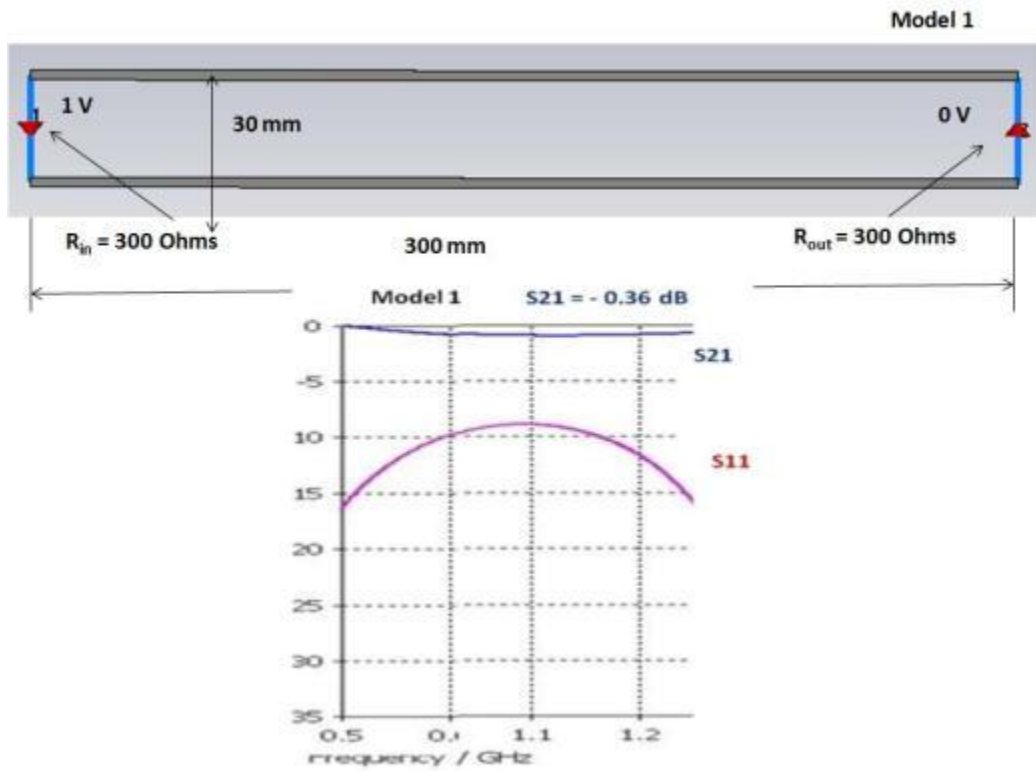


Рис. 10.2 Моделирование обычной высокочастотной длинной линии

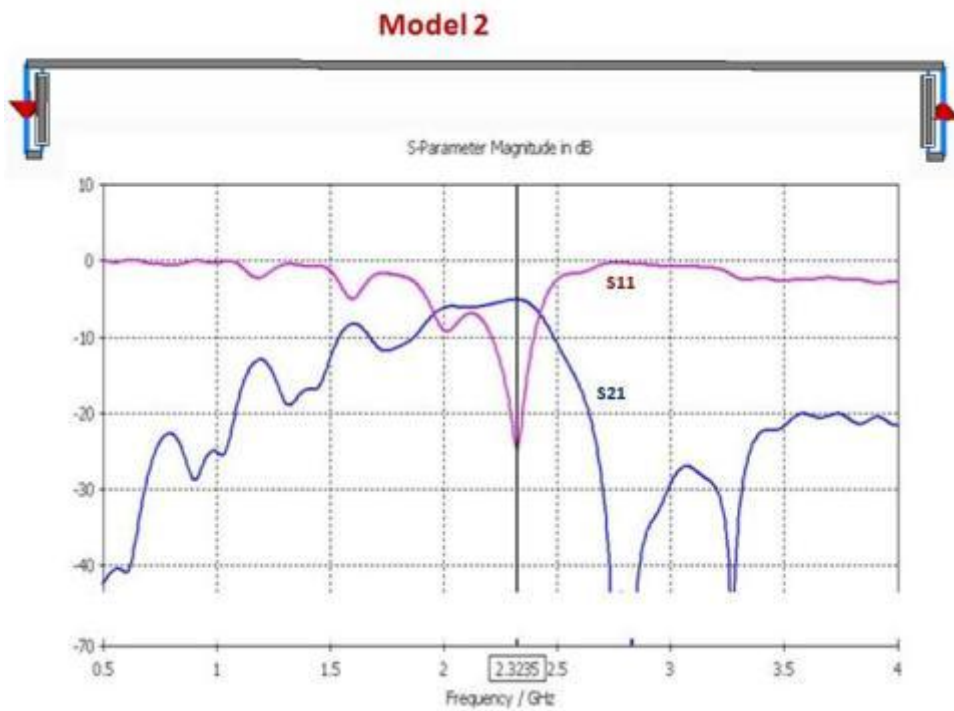


Рис. 10.3 Моделирование однопроводной высокочастотной длинной линии

Обычная двухпроводная длинная линия имеет широкую полосу. Это является её преимуществом, но одновременно и недостатком. Преимущество состоит в том, что можно пропускать через линии множество сигналов с различными частотами. Однако в реальной системе всегда присутствует некоторое количество шумов. Даже если шум слабый в широкой полосе шум будет всё таки большим (конечно это справедливо если шум является белым) Хотя конечно можно поставить фильтр на входе приёмника, но нередко это проблематично так как фильтр вносит потери и увеличивает фактор шума.

Предлагаемая однопроводная система типа V-Line является селективной системой. Недостатком линии типа V-Line является необходимость изменять линию задержки в случае изменения частоты. Но линия типа V-Line совместима с источником и нагрузкой и в этом смысле она ничем не отличается от обычной длинной линии. К ней не предъявляется никаких требований касающихся симметрии, что часто является проблемой в системах прошлого при использовании длинной линии внутри устройства, где могут иметь место различные влияния на каждый из проводов.

Использование линий типа V-Line в антенных конструкциях

Принцип построения линии типа V-Line позволяет построить монополь с параметрами диполя (МВ антенна [18]). Эта идея объясняется на рис Fig. 10.4

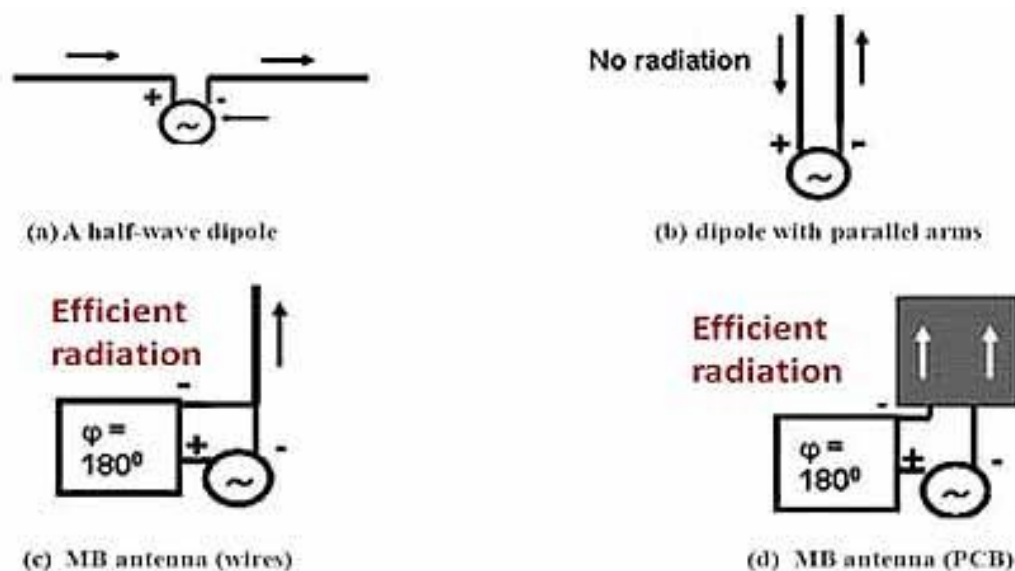


Рис. 10.4 Однопроводная идея и МВ антенна

МВ антенна подробно описана [16, 17]. Показано, что МВ антенна обладает усилением и эффективностью сравнимым с диполем. При этом она имеет все преимущества монополя.

Одно из важнейших преимуществ МВ антенны обусловлено тем фактом, что её характеристики обеспечиваются при устранении необходимости иметь отдельную встраиваемую антенну в мобильном устройстве. Печатная плата мобильных телефонных устройств может быть использована в качестве излучающего элемента МВ антенны. В этом случае можно просто добавить фазовращатель на 180° к одному выводу источника сигнала. МВ антенна фактически устраняет необходимость устанавливать отдельную антенну такую как антенна PIFA на печатную плату и следовательно устраняет любые потенциально возможные негативные воздействия печатной платы на характеристики антенны. При этом и в этом случае можно получить круговую диаграмму направленности.

Обычный диполь является симметричной антенной, поэтому его вибраторы подключены к выводам симметричного источника. В этом случае токи текущие по вибраторам диполя находятся в противофазе и ввиду того, что вибраторы направлены в противоположные направления, излучаемые вибраторами сигналы **складываются**. В случае МВ антенны оба выхода симметричного источника питают один излучатель. Токи, протекающие из выводов, делаются синфазными с помощью инвертора - фазовращателя на 180° , установленного в одном из проводов от источника (Рис 10.5). Таким образом, ток в единственном излучающем элементе МВ антенны удваивается по сравнению с током в одном луче диполя.

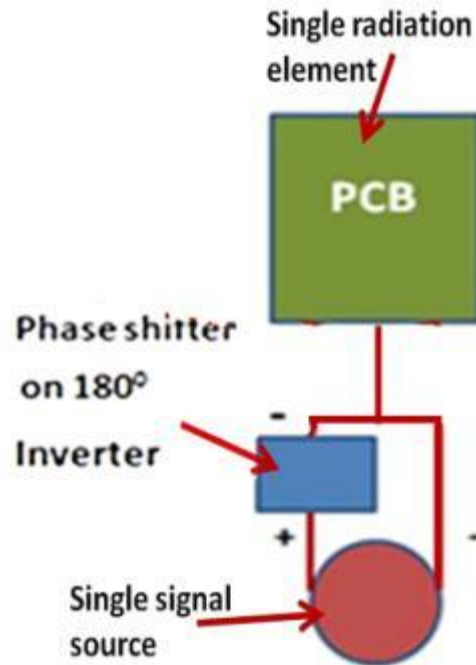


Рис. 10.5 Принцип МВ антенны

МВ антенна может быть сконструирована для многодиапазонного исполнения и может обеспечивать очень широкие полосы пропускания. Кроме того идея, положенная в основу МВ антенны, может быть применена **к прозрачным антеннам, занимающим большие площади.**

Сегодня в сотовых телефонах обычно применяется антенна типа PIFA. Однако имеются проблемы в случаях использования этой антенны в малогабаритных преобразователях (см. рис 10.6)

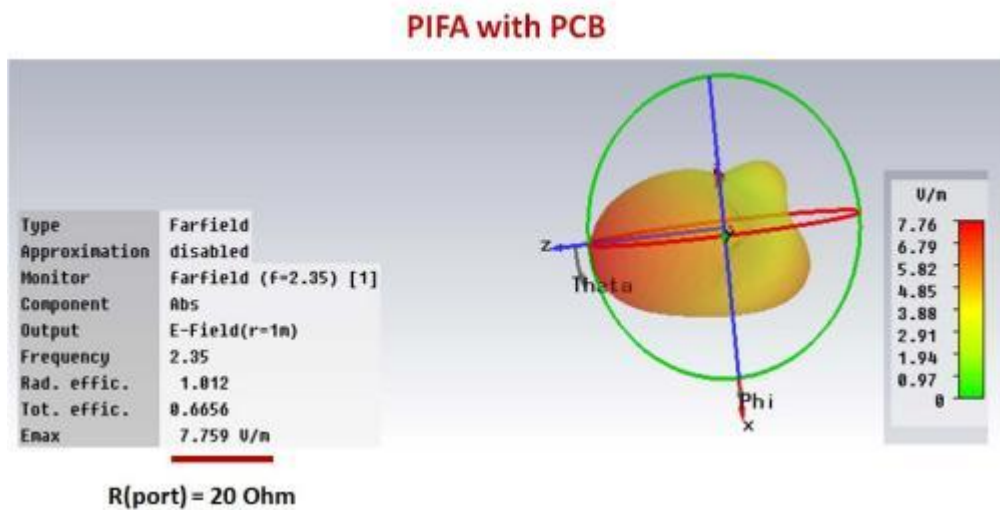


Рис.10.6 Диаграмма направленности излучения PIFA антенны

Используя МВ антенну можно построить параметры, показанные на рис 10.7.

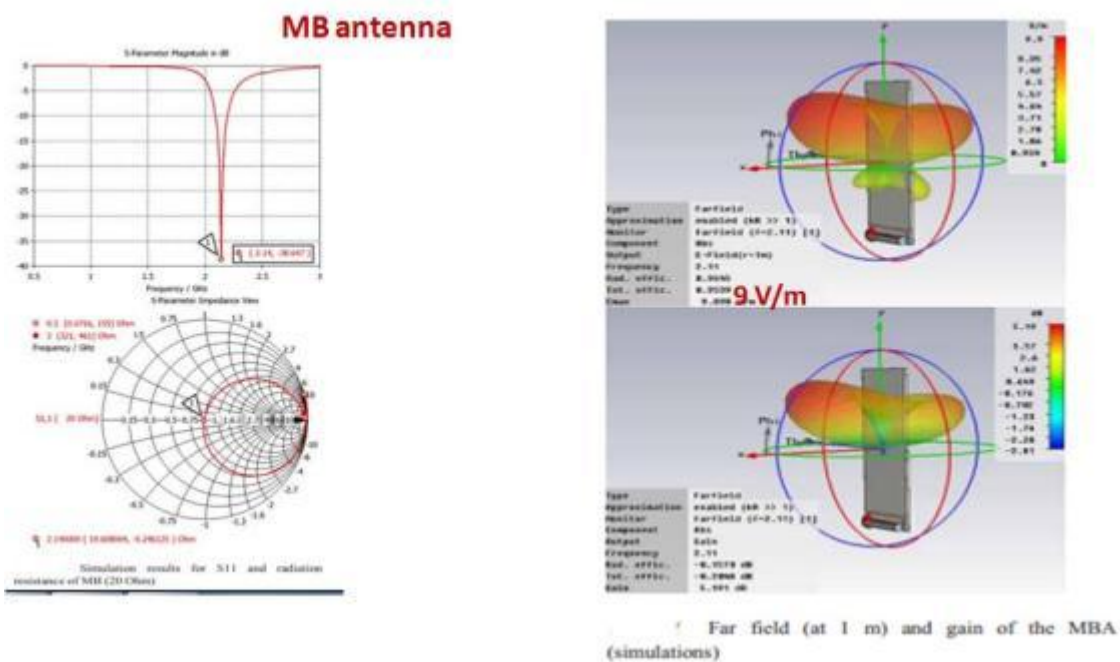


Рис. 10.7 Результаты моделирования МВ антенны

Принцип построения МВ антенны позволяет разработать сотовый телефон в наручных часах, как показано на рис 10.8, (вместо карманного сотового телефона, работающего через Bluetooth).

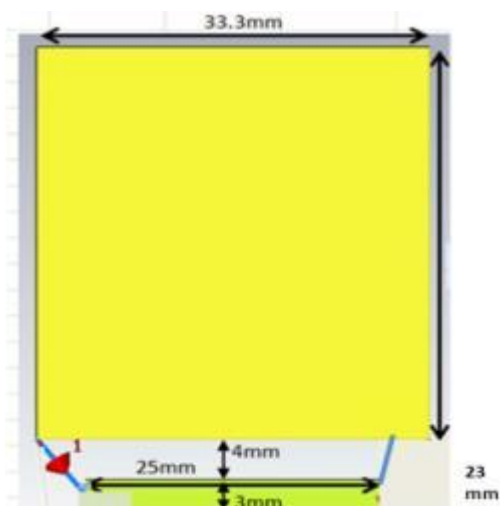


Рис. 10.8 МВ антенна сотового телефона в часах

На рис 10.9 и 10.10 можно видеть результаты моделирования этой модели.

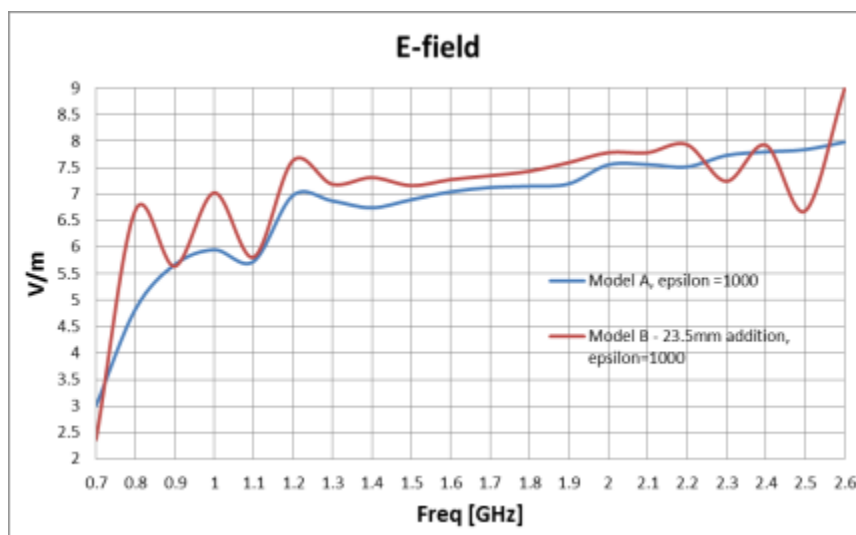


Рис. 10.9 Моделирование Е-поля сотового телефона в часах при различной длине полосковой линии передачи

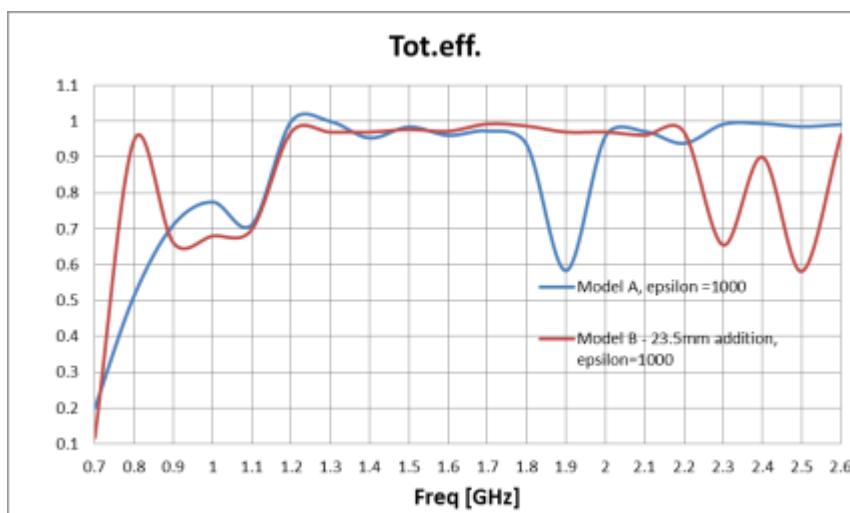


Рис. 10.10 Моделирование полной эффективности сотового телефона в часах с различными длинами полосковой линии передач

Таким образом, МВ антенна это новый тип антенны. Это не диполь и не монополь. Она состоит из одной металлической поверхности служащей в качестве излучающего элемента и фазовращателя. В сотовых телефонах имеющаяся в них печатная плата может быть использована в качестве излучающего элемента. Характеристики МВ антенны аналогичны характеристикам диполя. Эти свойства делают МВ антенну многообещающим типом антенны для применения малогабаритных приемопередающих устройствах.

11. Заключение

Была предложена и проверена однопроводная электрическая система. В настоящее время в Израиле работают две однопроводные системы электропередачи: на 220 вольт и на 10 киловольт. Однопроводные системы электропередачи могут работать на всех частотах, включая 50 Гц и 60 Гц, а также на постоянном токе при всех напряжениях. Электрическая энергия в однопроводных системах переменного тока не передаётся через землю.

Метод однопроводной передачи электроэнергии (линия типа В-Line) позволяет:

- Реализовать, в виде однопроводной, любую электрическую систему, включая интеллектуальные («smart») системы;

-
- Соединять трёхфазный генератор и трёхфазный двигатель только одним проводом;
 - Создать однопроводную систему переменного тока без введения электрического тока в земляную поверхность;
 - Передавать электроэнергию от места генерирования, к месту применения, используя более дешёвую систему, так что во многих случаях это позволит производить электроэнергию при большей прибыльности в месте добычи, например газа, и передавать её на место потребления, используя один провод проложенный под землёй;
 - Значительно уменьшить количество проводов на земном шаре;
 - Значительно снизить стоимость строительства высоковольтных электрических систем;
 - Использовать подземные и подводные мощные линии передачи электроэнергии без промежуточных станций;
 - Уменьшить количество несчастных случаев, связанных с электрическими системами;
 - Уменьшить потери при передаче по одному проводу вместо трёх фаз по обычным проводам;
 - Создать антенну нового типа (МВ антенну), которая позволяет реализовать приёмный преобразователь без антенны.

Всю информацию по однопроводному методу передачи электроэнергии, включая статьи, презентации и фильмы в [youtube](https://www.youtube.com/) можно найти на вебсайте: www.ofdma-manfred.com. Технические вопросы просьба направлять на адрес: bankmichael1@gmail.com, а вопросы касающиеся возможного сотрудничества на адрес: larry@sleint.com

Благодарности

Автор сердечно благодарит всех кто прямо или косвенно способствовал развитию однопроводного метода. Большинство из этих людей были, а может быть и сейчас, против этой идеи. Но и они помогли, потому что автор знал, что надо объяснить и на какие вопросы ответить.

Наибольший творческий вклад внесли :

Jacob Gitman, Victor Lander, Alexander Bronshtein, Motti Haridim, Dov Yeger, Ely Zborovsky, Yury Shalit, Alexander Shubov, ludmila Pak, Miriam Bank, David Chronomordik, Roman Sokolovski, Yuri Okunev, Ted Rechels и многие мои студенты, чьи результаты моделирования включены в эту книгу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ernst Weber and Frederik Nebeker, The Evolution of Electrical Engineering, IEEE Press, Piscataway, New Jersey USA, 1994
2. The Goubau line, a single-wire transmission line at microwave frequencies. (Geog Goubau, "Surface waves and their Application to Transmission Lines," Journal of Applied Physics 21 (1950))
3. AFEP experiment based on the Russian patent application (1993) by Stanislav and Konstantin Avramenko (PCT/GB93/00960).
4. New Energy News - August 1994 : "Solid State Space-Energy Generator" by Stanislav and Konstantin Avramenko.
5. Single-wire electrical energy transmission by Nikola Tesla (1890) [US Patent number 1,119,736]
6. Bettine, Frank, "[Proposal to use single-wire ground return to electrify 40 villages in the Calista region of Alaska](#)". 2002 Energy conference, University of Alaska. Modified 2002-10-10, accessed 2008-09-10.
7. Patent WO 2013/018084 A1
8. M. Bank, "Single Wire Electrical System" Engineering, 2012, 4, 713-722
9. [Jensen Transformers. Bill Whitlock, 2005. Understanding, Finding, & Eliminating Ground Loops In Audio & Video Systems](#). Retrieved February 18, 2010.
10. Gerke, D. and Kimmel, W., The Mysteries of Grounding, IEEE EMC Society Newsletter, Summer 1998, pp. 13-14.
11. Morrison, R. and Lewis, W., Grounding and Shielding in Facilities, Wiley-Interscience, New York, 1990, pp. 47-49.
12. M. Bank, "Parameters of household receiving-amplifying equipment and methods of their measurement", Radio and Communication Publisher, Moscow, Ru, 1982
13. M.bank, "Balanced and Unbalanced Single Wire" International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 4, Issue 10, October 2014)
14. Cabling Installation & Maintenance Magazine, April, 2014
15. Yiyang Xue, Dale Finney and Bin Le, "Charging Current in Long Lines and High-Voltage Cables Protection", 39th Annual Western Protective Relay Conference, October 2012
16. M. Bank, M. Haridim "A printed monopole antenna for cellular handset" INTERNATIONAL JOURNAL OF COMMUNICATIONS, Issue 2, Volume 3, 2009
17. M. Bank, M. Haridim, V. Tsingouz, Z. Ibragimov, "[Highly Effective Handset Antenna](#)", [International Journal of Communications](#), NOUN-WSEAS, Issue 2, Volume 6, 2012 (80 – 87)

Автор - профессор Михаил Банк



Образование :

- Ленинградский Электротехнический Институт связи им Бонч-Бруевича (ЛЭИС)
- Кандидат технических наук – Ленинградский Политехнический Институт
- Доктор технических наук – Каунасский Политехнический Институт

Основные статьи, опубликованные в последние годы:

- M. Bank. Bearbeitung der schallinformation im menschlichen gehorsystem und in technischen anlagen Rundfunktechnischen Mittellungen, (2), 1992 (53-65)
- M. Bank. On increasing OFDM method frequency efficiency opportunity, IEEE Transactions on Broadcasting, 50(2), 2004 (165-171)
- M. Bank. Redundancy versus video and audio human perception, Int'l. J. of Communications, 1(4), 2007 (180-195)
- M. Bank, M. Haridim, V. Tsingouz, Z. Ibragimov. Highly effective handset antenna. Int'l. J. of Communications, 6(2), 2012 (80-87)