

**Алиханов Л.**

# Вмест проводов – земной шар



ДОКЛАДЫ ЛАБОРАТОРИИ  
«ИНВЕРСОД»

Доклад № 73

**ВМЕСТО ПРОВОДОВ –  
ЗЕМНОЙ ШАР**

ЛЕОНИД АЛИХАНОВ, инженер  
г. Сочи



Алиханов Л.

**М**ечта о беспроводной передаче энергии и информации возникла у физиков и инженеров с самых первых шагов практической электротехники. О том, что эта мечта не бесплодна, убедительно свидетельствуют достижения современной радиотехники, обеспечивающей революцию в развитии средств связи.

В 1893 году на съезде Ассоциации электрического освещения в Сант-Люисе Никола Тесла продемонстрировал лампы, горевшие без проводов, электромотор, работающий без подключения к сети, и прокомментировал столь необычную экспозицию следующим образом: «...Несколько слов об идее, постоянно занимающей мои мысли и касающейся нас всех. Я имею в виду передачу сигналов, а может быть, даже энергии на любое расстояние без проводов... Мы уже знаем, что электрические колебания могут передаваться по единственному проводнику. Почему же не воспользоваться для этой цели землей?.. Если мы сможем установить период колебаний земного заряда при его возмущении, связанном с действием противоположно заряженной цепи, это будет фактом величайшей важности, который послужит ко благу всего человечества».

### **НЕОБЪЯСНИМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В КОЛОРАДО-СПРИНГСЕ**

Добившись грандиозного успеха в создании крупнейшей в те годы Ниагарской ГЭС, Тесла увлеченно работал над проектом мировой энергетической системы и был настолько уверен в его скором претворении, что в 1903 году заявил о намерении осветить будущую Всемирную выставку в Париже ниагарской энергией, передаваемой без

благодаря радиоволнам мы не только передаем сигналы на любые нужные нам расстояния, но и получаем информацию о самых удаленных областях вселенной. Естественно предположить, что и беспроводная передача энергии принесет человечеству не менее великие достижения.

Насколько же реальна эта задача? С одной стороны, между передачей энергии и информации нет принципиальной разницы. Ведь информация передается не сама по себе, а вместе с порциями энергии. Но, с другой стороны, эти порции столь малы, что их не только невозможно использовать для совершения какой-либо работы, а наоборот — для выделения на месте получения присланной информации к приемнику необходимо подвести дополнительную энергию. Очевидно, трудности беспроводной передачи энергии пропорциональны передаваемому количеству ее. Ведь даже передача большого количества энергии по проводам уже представляет собой настолько сложную задачу, что для ее решения требуются предельные возможности техники. Но именно трудности проводной пе-

проводов. А придали ему такую уверенность не столько блестящие теоретические разработки, сколько замечательные эксперименты, проведенные в 1899—1900 годах в уникальной лаборатории в Колорадо-Спрингсе.

Наиболее подробные сведения об экспериментах в лаборатории Теслы изложены в книге его биографа Джона О'Нейла «Электрический Прометей» (в нашей стране ее перевод был опубликован в журнале «Изобретатель и рационализатор» № 4—11 за 1979 год). В ней говорится:

«Суммируя фрагменты, опубликованные в разных изданиях, мы видим, что в Колорадо-Спрингсе Тесла не просто устраивал искусственные грозы, а провел испытание системы беспроводной передачи энергии. Ему удавалось питать ток, извлекаемым из земли во время работы гигантского вибратора, 200 электрических лампочек накаливания, расположенных за 42 км от его лаборатории. Мощность каждой из них составляла 50 Вт, так что суммарный расход энергии составлял 10 кВт, или 13 л. с. Тесла утверждал, что КПД передачи превышал 95%, и был убежден, что с помощью 300-сильного вибратора смог бы зажечь дюжину электрических гирлянд по 200 лампочек в каждой, разбросанных по всему земному шару».

Что же представлял собой аппарат ученого, который он называл

редачи заставляют искать пути отказа от нее, исходя из диалектического закона отрицания отрицания. Сегодня необходимость таких поисков начинают осознавать многие, хотя большинству задача еще кажется фантастической. Но давно ли казалась почти всем фантастической задача освоения космического пространства, поставленная еще в начале века гением Циолковского? К счастью, в электротехнике тоже был свой гений, живший, как и Циолковский, намного впереди своего века, — Никола Тесла, славный сын сербского народа, работавший в США. Именно его эксперименты и доказывают реальность беспроводной передачи энергии. Суть этих экспериментов, оставшихся для современников лишь эффектным чудачеством гения, бесплодно вкладывавшего в них все свои средства, приоткрывается только теперь, когда к решению этой проблемы подошел сегодняшний докладчик лаборатории «Инверсор», публикация доклада которого рекомендована редакцией руководством Всесоюзного электротехнического института имени В. И. Ленина.

вибратором? Сердцем его был гигантский трансформатор системы Теслы. Он имел первичную обмотку из нескольких витков толстого провода на ограде диаметром 24,4 м и размещенную внутри ее с большим воздушным зазором многовитковую однослойную вторичную обмотку на цилиндре из диэлектрика. Первичная обмотка вместе с конденсатором, индукционной катушкой и искровым промежутком образовывала колебательный контур — преобразователь частоты. Над трансформатором, располагавшимся в центре лаборатории, возвышалась деревянная башня, увенчанная на высоте 60 м большим медным шаром. Один конец выхода трансформатора соединялся с этим шаром, другой — заземлялся. Все это устройство питалось от отдельной динамо-машины мощностью в 300 л. с. В нем возбуждались электромагнитные колебания частотой 150 кГц (длина волны 2 тыс. м), при этом рабочее напряжение в высоковольтной цепи составляло 30 тыс. В, а резонирующий потенциал в шаре достигал 100 млн. В, что и вызывало искусственные молнии. Нас же поражает совсем другое: лампы, загоревшиеся на расстоянии 42 км от работающего вибратора.

Известные на сегодня способы беспроводной передачи энергии не позволяют сделать ничего подобного. Расчеты показывают, что если бы энергия установки Теслы пе-



реносилась радиоволнами, то наибольшая величина мощности, принимаемая на заданном расстоянии 10-метровой антенной, была бы на три порядка меньше, чем требуется.

Может быть, все дело в длине волны, которая, находясь в определенном соотношении с высотой волновода Земля — ионосфера, вызывает в нем резонанс, обеспечивающий столь эффективную передачу энергии? И это не подтверждает практика работы в давно освоенном Диапазоне 2 тыс. м.

А насколько достоверны данные экспериментов в Колорадо? Судить об этом мы теперь можем, не только опираясь на отрывочные свидетельства современников ученого, но и на его полный отчет, изданный музеем Н. Теслы в Белграде в 1976 году под заглавием «Дневник исследований. Колорадо-Спрингс, 1899—1900». Изо дня в день экспериментатор подробнейшим образом аккуратно вносил в дневник все переписанные колорадских опытов, записывал результаты электрических измерений и расчеты аппаратуры. В дневнике много схем и эскизов. Мы узнаем, как и чем именно оборудовал он свою, не имевшую тогда себе равных высоковольтную лабораторию. Каждая страница этого труда заставляет верить ученому, в честь которого названа одна из единиц измерений в электротехнике!

Со времени опытов в Колорадо-Спрингсе прошло 80 лет. Современная техника далеко ушла от той, которой пользовался Тесла. Но результаты его экспериментов по беспроводной передаче энергии все еще не достигнуты никем. И поскольку в «Дневнике» Теслы, не предназначавшемся автором для печати, есть только описание результатов опытов, их условий и применявшейся аппаратуры, но не освещен способ, которым пользовался великий изобретатель, вопрос остается открытым:

### КАК ПЕРЕДАТЬ ЭНЕРГИЮ ЧЕРЕЗ ЗЕМНОЙ ШАР?

Рассмотрим электросхему (рис. 1) из двух источников ЭДС и электрической лампы. Хотя отрезок провода мы заменили землей, лампа питается сразу от двух источников. Пренебрегая сопротивлением проводов, видим, что доля энергии, получаемая из каждого источника, зависит от их относительного значения ЭДС. Ток из пункта А поступает в лампу через землю, но возвращается туда через обратный провод. Если бы не этот провод, закольцовывающий ток, то перед нами была бы беспроводная передача энергии через земной шар из пункта А в В.

Избавиться от этого обратного провода в схеме — вот основная проблема на пути создания беспроводной передачи энергии через землю. Как это сделать? Ведь без этого провода не будет тока в схеме.

Источник электрического тока можно грубо уподобить насосу, перекачивающему в цепи электроны (рис. 2). Если ток постоянный, то электроны перекачиваются все время в одну сторону. Такой «насос» будет гнать электроны в провод с одной стороны, а откачивать их из того же провода с другой. Поэтому ток в проводе будет закольцованным. Чтобы убрать обратный провод (см. рис. 1), по которому возвращается ток, надо движение электронов по кольцу заменить незамкнутым возвратно-поступательным.

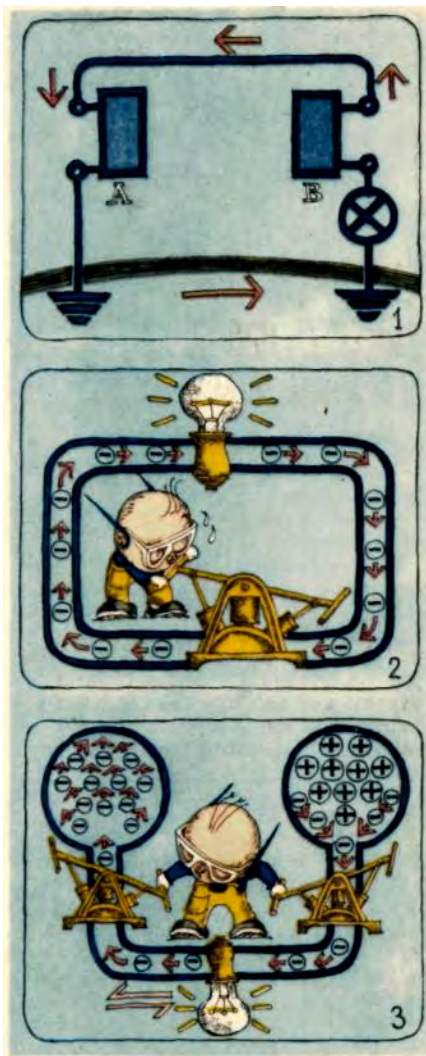
Такая постановка задачи возможна, но только для переменного тока. Здесь перекачка электронов идет то в одну, то в другую сторону. Два источника в схеме рисунка 1 заменим двумя «насосами». Чтобы движение электронов через лампу стало возможным без обратного провода, надо к выходам насосов, не соединенным между собой, подключить аккумулирующие емкости 3 и 4, чтобы поочередно накачивать туда и откачивать из них электроны (рис. 3). При согласованной работе, когда первый «насос» 1 закачивает электроны в свою емкость, второй откачивает их из своей. Благодаря этому электроны циркулируют через лампу непрерывно то в одну, то в другую сторону, и ток идет лишь по одному проводнику 5, в качестве которого можно использовать земной шар.

Обратимся теперь к экспериментам Теслы. Вот как объясняется их суть в книге «Электрический Прометей». «В сущности, Тесла «накачивал» в Землю и извлекал оттуда поток электронов, но про них тогда еще ничего не знали и поток носителей зарядов считали чем-то вроде электрической жидкости. Частота «накачки» и «откачки» составляла около 150 000 Гц, что соответствовало длине волны порядка 2000 м. Распространяясь концентрическими кругами все дальше от Колорадо-Спрингса, волны сходились затем в диаметрально противоположной точке Земли. Там вздымались и опадали волны большой амплитуды в унисон с поднятыми в Колорадо. Опадая, такая волна посылала электрическое эхо обратно в Колорадо, где электрический вибратор усиливал волну, и она мчалась обратно.

Если привести всю Землю в состоянии электрической вибрации, то в каждой точке ее поверхности мы будем обеспечены энергией. Ее можно будет улавливать из мечу-

Электросхема, в которой один провод двухпроводной сети заменен землей. Цифрами 1 и 2 обозначены источники тока.

Принцип действия простейшей цепи



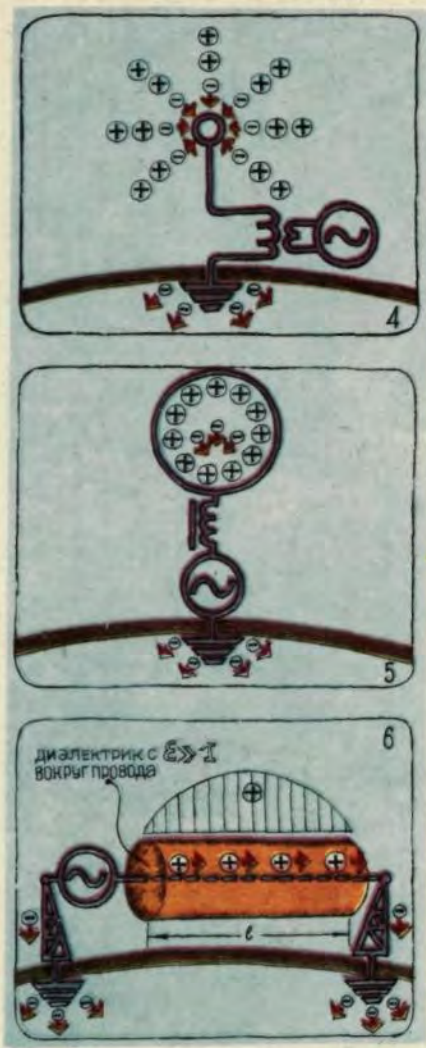
закольцованного тока.

Принцип действия однопроводной линии незамкнутого тока. Цифрами обозначены: 1 и 2 — «электронасосы», 3 и 4 — аккумулирующие емкости, 5 — проводник.

щихся между электрическими полюсами волн простыми устройствами, наподобие колебательных контуров в радиоприемниках, только заземленными и снабженными сравнительно небольшими антеннами, высотой с сельский коттедж. Эта энергия будет обогревать дома, и освещать их с помощью трубчатых ламп Теслы, не требующих проводов. Для электромоторов переменного тока понадобился бы еще преобразователь частоты...»

Не правда ли, удивительно сходство этой картины с предыдущей, где источники ЭДС символически заменены «электрическими насосами»? Передатчик энергии: транс-

Аккумуляция зарядов у однополюсного источника: в ионизированном газе (4); в собственной емкости удлиненного шара-проводника (5); при движении в проводе с малой фазовой скоростью (6). Буквами обозначены:  $l$  — длина проводника;



$\epsilon$  — диэлектрическая постоянная.

форматор Теслы — это первый «насос», накачивающий в емкость земли и откачивающий оттуда электроны. Колебательный контур между заземлением и емкостью антенны в приемном устройстве — второй генератор колебаний, питаемый принимаемой энергией, или иначе — другой «насос», откачивающий электроны из земного шара тогда, когда первый накачивает, и наоборот. Между вторым «насосом» и земным шаром включен потребитель энергии, и поток циркулирующих электронов все время проходит через него.

Но где же та аккумуляющая емкость, из которой первый «насос» мог бы откачивать электроны в земной шар? Где создавался дефицит электронов, то есть оставались положительные заряды, ко-

гда в земной шар «накачивались» отрицательные, и наоборот? По-видимому, ответ на это следует искать не в принципиальных отличиях самого передающего устройства Теслы от современных радиостанций (которых, как мы видим, нет), а в отличии их режимов работы.

Как уже указывалось, «антенна» Теслы состояла из проводника высотой 60 м с медным шаром на конце; другая клемма выхода генератора заземлялась. Сопротивление излучения этого простейшего устройства найти нетрудно — оно очень мало: около 1,5 Ом. Чтобы получить значительное радиоизлучение, в антенне повышают силу тока. А Тесла, как известно, зачем-то подымая напряжение, уменьшал силу тока. При выходном рабочем напряжении 30 тыс. В и сопротивлении «антенны» 1,5 Ом максимальная энергия радиоизлучения не превышала 0,1 кВт. Совершенно очевидно, что устройство с таким радиоизлучением не могло передать потребителям радиоэнергию мощностью 10 кВт.

А на медном шаре антенны резонирующий потенциал подскакивал до 100 млн. В! Может быть, столь высокое напряжение увеличивало радиоизлучение антенны? Опять-таки нет. Ведь известно, что если напряжение на антенне превышает допустимую величину, то электрическое поле возле антенны вызывает ионизацию воздуха и электрический разряд, связанный с непрерывной затратой энергии на ионизацию и рекомбинацию молекул воздуха. Для обычной антенны это вредно, так как увеличивает потери электромагнитной энергии и уменьшает КПД антенны.

Но в нашем случае в ионизации воздуха как раз и кроется разгадка! Воздушное пространство вокруг шара «антенны» — это и есть та среда, которая выполняла роль аккумулятора заряда. Когда высокое напряжение «отбирало» отсюда электроны для «накачки» в Землю, здесь накапливался значительный положительный объемный заряд из малоподвижных по сравнению с электронами ионов. Процесс ионизации прерывался разрядом-молнией, а потом цикл повторялся заново. От «возмущения» заряда Земли по всей огромной планете возбуждался ток примерно так же, как в колебательном контуре.

### КЛЮЧ К ПРОБЛЕМЕ — ОДНОПОЛЮСНЫЙ ИСТОЧНИК ТОКА

Какова перспектива идеи беспроводной передачи энергии через земной шар, реальность которой доказал своими экспериментами Никола Тесла? В каком направлении

надо работать над этим проектом?

Как инструмент всякого пионера, аппаратура Теслы, используемая в Колорадо, требует усовершенствования. Действительно, трудно представить промышленный передатчик энергии, мечущий громы и молнии на всю округу. Кроме того, сам метод аккумуляции зарядов ионизацией связан с бесплодным рассеиванием энергии в воздухе, что снижает КПД передачи.

Установка Теслы была первым однополюсным (одноклеммным)

источником ЭДС, то есть генератором переменной ЭДС, способным выдавать заряды с одной выходной клеммы в незамкнутую линию передачи благодаря тому, что в нем на это время предусмотрено аккумуляция зарядов другого знака. Как мы видели, аккумулятор зарядов в установке Теслы — воздушное пространство вблизи шара-разрядника (рис. 4). Конечно, такой аккумулятор можно как-то усовершенствовать, например, воздействием внешних ионизаторов на верхнее полупространство разрядника или путем установки особой камеры, заполняемой легко ионизирующимся газом при оптимальном давлении.

Надо отметить, что накапливать заряды в переменном источнике достаточно будет и на полпериода, то есть на время, за которое сохраняется неизменной его полярность. Поэтому можно создать и более простой аккумулятор зарядов. Например, накапливать их в емкости самого металлического шара. Чтобы увеличить его аккумуляющую возможность, последовательно с ним следует подключить индуктивность с определенной резонансной настройкой (рис. 6). Собственные емкости медного шара и подводящего провода в экспериментах Теслы, несомненно, служили аккумулятором зарядов наряду со слоем ионизированного воздуха.

И, наконец, можно попробовать аккумуляровать заряды при движении их в проводе. На первый взгляд, при прохождении постоянного тока в проводе, если в нем нет ответвлений тока, вошедшее и вышедшее количество зарядов должно быть одинаковым. Однако, если учесть, что движение электронов в конце провода начинается только после того, как туда дойдет электрическое поле, распространяющееся вдоль него, станет ясным, что вошедшее в отрезок провода количество электронов при работающем источнике всегда больше вышедшего на количество, определяемое временем распространения поля. Зная, что скорость распространения поля для воздушных линий равна световой — 300 тыс. км/с, легко подсчитать, что длина провода, обеспечивающая аккумуляцию заря-



дов на половину периода, составляющую для частоты 150 кГц — 3,4 мкс, должна быть 1 км. Однако ее можно сильно уменьшить благодаря тому, что скорость распространения поля зависит от диэлектрической постоянной среды вокруг провода, которая, например, для метатитана бария (с добавками) в 9 тыс. раз больше, чем для воздуха. В проводе, окруженном таким диэлектриком, скорость распространения поля будет 3,2 тыс. км/с. Следовательно, длина провода, способного накапливать заряды в течение нужного времени для частоты 150 кГц, составит всего около 11 м. Легко показать, что, заземляя одну клемму источника непосредственно, а другую — через такую аккумулирующую линию, мы достигаем того, что в земной шар будут поступать заряды только одного знака (рис. 6).

По-видимому, возможны и другие принципы аккумулирования зарядов в однополюсном источнике, причем они могут оказаться даже более эффективными.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕСПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Составим электросистему из двух однополюсных источников (работающих в противофазе) и потребителя, расположенных в пунктах А и В и соединенных через земной шар (рис. 7). Расчетная схема для нее показана на рисунке 8. Если активное сопротивление потребителя в пункте приема ( $R_B$ ) значительно превышает все сопротивления источников и заземлений, то токи в системе определяются формулой

$$J_A = \frac{E_A}{X_0} + \frac{E_A + E_B}{R_B} = J_0 + J_B,$$

где  $E_A$  и  $E_B$  — потенциалы ЭДС однополюсных источников,  $X_0$  — сопротивление земного шара.

По этой формуле видно, что распределение тока при беспроводной передаче энергии через земной шар отличается от передачи энергии через землю с обратным проводом. Если в схеме (рис. 1) весь ток замыкается через потребитель, то при однополюсных источниках часть тока передатчика ( $J_0$ ) расходится концентрическими кругами по всему земному шару, не проходя через потребитель.

Прежде чем рассмотреть этот ток, остановимся на вопросе: чему равна емкость земного шара?! На первый взгляд, вопрос этот кажется тривиальным. Ведь еще из школьной физики известно, что емкость проводящего шара радиусом 6370 км равна 708 мкФ. Да, но это

только для постоянного тока или переменного такой частоты, при которой весь шар находится под одним и тем же потенциалом. В рассматриваемой передаче длина волны намного меньше окружности земного шара, поэтому, расходясь по поверхности Земли, волны тока будут заряжать шар поясами чередующейся полярности (рис. 9). Если при одноименном заряде шара элементарный заряд ( $q_0$ ) на его поверхности отталкивается остальной частью так, будто весь заряд сосредоточен в центре шара, то при разноименных зарядах отталкивающее действие одного пояса частично компенсируется притягивающим действием смежных. Кроме того, заряды эти не стационарны, а пульсируют по поверхности шара волнами тока. Поэтому классическое выражение для реактивного сопротивления земного шара, зависящее от его емкости, здесь неприемлемо, тем более что оно не учитывает его индуктивность.

Ну а насколько велико будет активное сопротивление передачи? Потери в данном случае не зависят от ее расстояния. Земной шар, как известно, при однопроводной схеме не оказывает сопротивления постоянному току из-за большого сечения, по которому ток расходится в его теле. Падение напряжения в земле наблюдается только в радиусе порядка 20 м от заземлителя. При переменном токе потери обуславливаются лишь влиянием протянутого над поверхностью обратного провода. Он стягивает ток в теле планеты к проекции провода, ограничивая тем самым сечение, по которому идет ток. Поскольку в рассмотренной передаче такого провода нет, то она, без учета локальных потерь у заземлителей, будет сверхпроводящей.

Возвратимся теперь к току  $J_0$ . Падение напряжения в земле и в этом случае происходит с удалением от заземлителя настолько быстро, что делает его безопасным даже на небольших удалениях от передатчика. Однако в противоположной части Земли, где волны сходятся, будет высокое шаговое напряжение и настолько высокая плотность тока, что может возникнуть сильный разогрев этого участка. В целях безопасности и уменьшения потерь на антиподе необходимо провести определенные мероприятия. Например, положить заземленный металлический лист большого диаметра и добиться узла тока в антиподе. Кроме того, надо стремиться предельно уменьшить ток  $J_0$ . Попробовать, например, перейти к симметричной схеме или максимально увеличить сопротивление земного шара путем подбора соответствующего резонансного режима.

Электросистема, передающая электроэнергию через земной шар из пункта А в В (7) и ее расчетная электросхема (8):

$I_0$  — сила тока, идущего к антиподной точке;

$I_{A+B}$  — сила тока между точками А и В в

местах заземления источников с со-

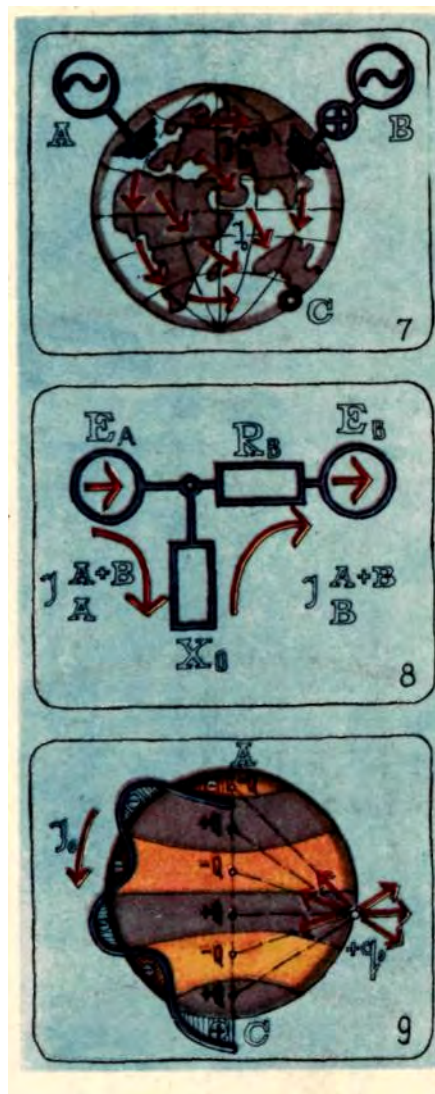
ответствующими ЭДС  $E_A$  и  $E_B$ ;

$R_B$  — сопротивление потребителя;

$X_0$  — сопротивление земного шара.

Структура заряда земного шара от однополюсного источника А (схема волн тока, изображенная на полуокружности, дана не в масштабе):  $q_0$  — единичный заряд,  $Q$  — суммарные заряды поясов.

В заключение остается назвать



хотя бы некоторые перспективы беспроводной передачи энергии через Землю. Среди них — устойчивая глобальная связь, повсеместное электроснабжение морского и сухопутного транспорта, появление значительных дополнительных энергоресурсов в результате подключения потребителей в часы «пик» к электропитанию от районов, где потребление энергии в это время понижено. И самое главное — отказ от трудоемкого строительства ЛЭП и резкое снижение энергопотерь.