

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСАМИ МАГНИТНОГО ПОТОКА

С.В. Шленнёв, И.А. Бершадский, М.В. Чашко
Донецкий национальный технический университет
serguei@elf.dgtu.donetsk.ua

The paper is devoted to viewing of problems, connected with safety of power transmission by impulses of a magnetic flux and their influence on human. The requirements are retrieved, at observance which the electromagnetic field of an inductive current supply is safe for the human

Работа посвящена оценке безопасности передачи энергии транспортной машине индукционным способом посредством электромагнитного поля. Система электропитания состоит из тяговой линии, проходящей вдоль трассы движения, и энергоприемника на машине. Электрический ток, проходя по тяговой линии, создает магнитный поток, который индуцирует в энергоприемнике ЭДС, используемую для перемещения машины. При этом в пространстве, окружающем тяговую линию, существуют магнитное и электрическое поля, которые могут нанести вред организму человека, находящемуся под их воздействием. Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью исключить вредное влияние на человека электрического и магнитного полей, образующихся при передаче энергии от тяговой линии в энергоприемник изменяющимся магнитным потоком.

Нормируемые безопасные значения полей не могут быть использованы, потому что имеют большой разброс от страны к стране и даже в разных штатах одной страны. Кроме этого, нормируются постоянные или синусоидально изменяющиеся во времени поля, а в изучаемой системе поле существует в виде импульсов произвольной формы.

Цель настоящей работы - найти условия, при которых электромагнитное поле индукционного электропитания безопасно для организма человека.

К настоящему времени установлено [1], что электрическое и магнитное поля влияют на организм человека двумя способами:

1. Изменением разности потенциалов, существующих на поверхностях мембран клеток.
2. Нагревом тканей человеческого тела.

Напряжение между поверхностями мембраны составляет в норме около 80 мВ. Если оно снизится из-за внешнего электрического поля до 20 мВ, будут нарушены условия жизнедеятельности организма. Доказано, что снижение напряжения до указанного критического значения может произойти при воздействии внешнего электрического поля напряженностью 100 МВ/м или магнитного поля напряженностью 1 МА/м при промышленной частоте. В настоящей работе в исследуемой системе возможны напряженности полей не более 10 кВ/м и 10 кА/м, так что можно считать доказанной безопасностью для человека от полей промышленной частоты при индукционном питании.

Однако существенной особенностью исследуемой технологии электропитания является передача энергии импульсами магнитного потока, следующими с частотой от десятков герц до десятков килогерц. Для таких условий установлено [1], что электрическое поле безопасно, если оно создает в организме электрический ток плотностью не выше 10 мА/м², а магнитное поле безопасно, если оно передает в тело удельную мощность не более 4 Вт/кг веса человека. Эти значения приняты нами в качестве критерия безопасности полей, создаваемых элементами индукционного электропитания. Величины полей и потоков мощности в пространстве тяговой линии и во времени определены при разработке теории индукционного электропитания [2]. При решении настоящей задачи они использованы следующим образом.

Для определения безопасности электрического поля определена плотность тока, созданного в теле электрическим полем, обусловленным изменением магнитного потока в импульсе, и найдено условие, при котором эта плотность меньше указанного критерия. Для определения безопасности магнитного потока определена мощность, поступающая в единицу объема тела человека, и найдено условие, при котором она меньше указанного критерия.

Известно [3], что плотность электрического тока проводимости может быть определена из выражения:

$$j = \gamma E, \text{ А/м}^2, \tag{1}$$

где γ - проводимость вещества, См/м,
E - напряженность электрического поля, В/м.

Распределение электрического поля в пространстве тяговой линии определено автором [2] при разработке теории передачи энергии импульсами магнитного потока:

$$E_Z = -2 \cdot 10^{-7} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2)$$

Здесь принято, что r_1, r_2 - расстояния от исследуемой точки пространства до ветвей тяговой линии, b - расстояние между ветвями линии.

Наибольшее значение напряженности электрического поля имеет при $x = \pm 0.5b$, так что наибольшая напряженность:

$$E_Z = -2 \cdot 10^{-7} \ln \sqrt{\frac{b^2 + y^2}{y^2}} \frac{\partial i}{\partial t} \quad (3)$$

где x и y - координаты точки, для которой определяется E_Z .

Тогда неравенство, из которого определится безопасная по электрическому полю область, будет выглядеть следующим образом:

$$2 \cdot 10^{-7} \gamma \ln \sqrt{\frac{b^2 + y^2}{y^2}} \frac{\partial i}{\partial t} < j_{\text{доп}} = 0.01 \text{ А/м}^2 \quad (4)$$

Наибольшее $\partial i / \partial t$ определено тем, что транзисторы IGBT третьего поколения (например, CM1000HA-24H), которые коммутируют ток линии при создании импульсов, имеют время переключения 350 нс и ток 1000 А (каталог Mitsubishi Electric). Их применение дает $\partial i / \partial t = 2,8 \cdot 10^9 \text{ А/с}$. Проводимость тела принята как для воды 10^{-4} См/м . Решением неравенства (4) при указанных численных значениях получено условие безопасности электрического поля:

$$y > 1.5b \quad (5)$$

Мощность, поступающая в единицу объема человеческого тела посредством магнитного потока, определяется дивергенцией плотности потока мощности S (вектора Пойнтинга). В настоящей работе он определен компьютерным моделированием. Условия моделирования представлены на рис. 1, результаты моделирования - на рис. 2.

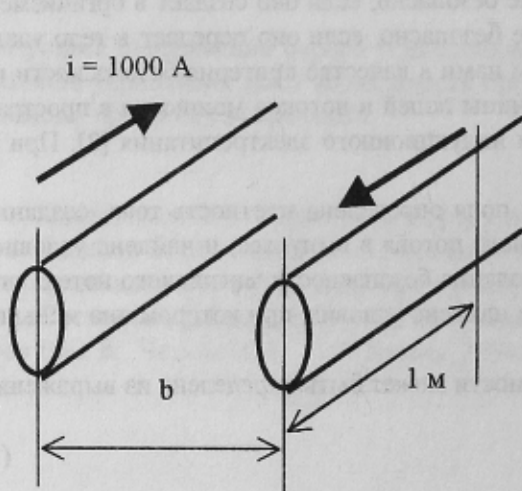


Рисунок 1 - Модель тяговой линии индукционного электропитания

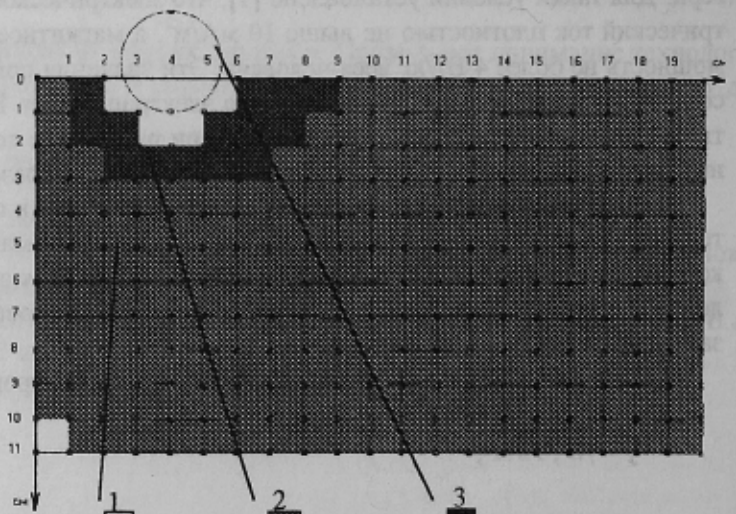


Рисунок 2 - Распределение плотности энергии в пространстве тяговой линии. Порядок величин в Дж/м³:

1 - 0,1; 2 - 1; 3 - 10

Знание плотности энергии дает возможность оценить поток мощности. Для этого она делится на длительность импульса или период импульсов – в зависимости от того, максимальное или среднее значение необходимо. В результате определено, что в объем тела массой 1 кг (10^{-3} м³) поступает от импульса магнитного поля периодом 10 мкс мощность в области 1 – 10, в области 2 – 100 и в области 3 – 1000 Вт. Из приведенных выкладок видно, что магнитное поле при указанных параметрах импульса безопасно на расстоянии около 0,4 м. Но это может оказаться неприемлемым в некоторых случаях: воздействию поля подвергается машинист транспорта и человек, проходящий по выработке вдоль тяговой линии. Традиционным средством защиты от вредных влияний является экранирование, т.е. между человеком и источником магнитного поля помещают поверхность, способную отражать или поглощать энергию, переносимую магнитным потоком, так что за этой поверхностью поток мощности имеет безопасное значение. Нами рассчитаны значение потока мощности за экраном из стали толщиной 0,5 мм и толщина экрана для ослабления потока мощности до безопасного значения. При расчете использованы зависимости, приведенные в [4].

За экраном толщиной 0,5 мм поток мощности составляет величину от потока вне экрана

$$\frac{S_2}{S_1} = 2.2 \cdot 10^{-10}$$

Выражение для определения безопасных расстояний в случае применения экрана:

- по координате x : $x > 2.3 \cdot 10^{-3} \sqrt{b}$, м (например, при $b=0.3$ м - $x > 0.001$ м, при $b=0.4$ м - $x > 0.0012$ м).

- по координате y : $y > 0.017 \cdot \sqrt[3]{b^2}$, м (например, при $b=0.2$ м - $y > 0.006$ м, при $b=0.3$ м - $y > 0.01$ м, при $b=0.4$ м - $y > 0.01$ м).

Из этих вычислений видно, что экран обеспечивает безопасность магнитного поля даже в непосредственной близости от линии (1-2 см). На рис. 3 представлены области, где магнитный поток передает мощность, безопасную для человека.

Толщина экрана, которая обеспечивает уменьшение мощности до незначимой величины при воздействии импульсов магнитного потока, обусловлена глубиной проникновения электромагнитного поля в металл. В соответствии с [4] глубина проникновения поля для стали при частоте 5 кГц $\delta=0.16$ мм, при частоте 500 кГц - $\delta=0.016$ мм. Но мощность пропорциональна произведению напряженностей электрического и магнитного полей и ее значение станет незначимым уже на глубине 0.5δ . Поэтому возможна индивидуальная защита человека железной фольгой или сеткой толщиной 0.1 – 0.01 мм.

Вывод. Возможно безопасное для организма человека применение передачи энергии импульсами магнитного потока. Для этого должны быть соблюдены следующие условия: человек находится на расстоянии, большем 0.5 – 0.6 м от тяговой линии или человек защищен экраном из сетки или листа толщиной 0.1 мм.

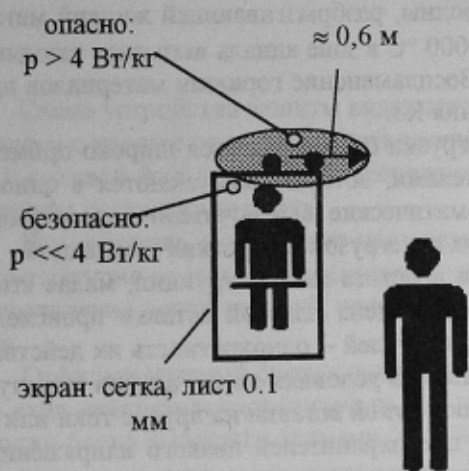


Рисунок 3 - Безопасные по магнитному полю области

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков А.Ф., Левченко И.И., Никитин О.А., Аношин О.А., Кужекин И.П., Максимов Б.К. Электромагнитная обстановка и оценка влияния ее на человека//Электричество. - 1997. - №5. - С.2-10.
2. Чашко М.В. Передача электрической энергии без электрического контакта//Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». - Вип. 17. - Донецьк, ДонДТУ. - 2000. - С. 92-94.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: В 2-х т. - Л.:Энергоиздат, 1981.- 450 с.
4. Туровский Я. Техническая электродинамика. - М.:Энергия, 1974. - 488 с.