

Результаты обследования больных с облитерирующим атеросклерозом показали, что при компенсации артериального кровообращения значения показателей гемореологии соответствовали нормальному уровню. По мере прогрессирования ишемии нарастали негативные изменения реологических свойств крови. У больных с декомпенсацией артериального кровообращения в покое отмечались высокие значения гематокрита (49, 87±0,0, 8); наблюдалось увеличение вязкости суспензии эритроцитов со стандартным гематокритом на 10%, что свидетельствовало об ухудшении деформируемости эритроцитов; регистрировалось повышение агрегации эритроцитов на 25%. Возрастание адгезии лейкоцитов было незначительным.

Полученные данные указывают на развитие синдрома гипервязкости крови при венозной и артериальной недостаточности нижних конечностей, который, очевидно, оказывает неблагоприятное воздействие на тканевую перфузию. Известно, что возрастание агрегации эритроцитов и концентрации белков плазмы затрудняет диффузионный перенос кислорода из крови в ткань, а повышение степени адгезии лейкоцитов и гемоконцентрация увеличивают сопротивление кровотоку на уровне микроциркуляции. В данных условиях указанные гемореологические сдвиги способствовали усилению гипоксии тканей и повышению риска тромбообразования. Об этом свидетельствовали трофические нарушения, отмечавшиеся у больных с синдромом гипервязкости крови.

Заключение

На основании полученных данных можно заключить, что различные неблагоприятные факторы вызывают изменения гемореологических параметров, приводящие к повышению вязкости крови. Основными составляющими компонентами синдрома гипервязкости крови являются гемоконцентрация, повышенная агрегация эритроцитов, сниженная их деформируемость, высокая адгезия лейкоцитов. Доминирование тех или иных компонентов синдрома при разных заболеваниях различно.

Исходя из результатов исследования, важными профилактическими мероприятиями, направленными на сохранение здоровья, считаем:

1. устранение факторов риска;
2. своевременную диагностику гемореологических нарушений;
3. использование средств улучшения текучести крови (физическая тренировка, фарма-

кологическая коррекция синдрома гипервязкости крови).

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин И.П., Дергачев Ю.В. Школа здоровья. М.: Моск. рабочий, 1989.
2. Жилов Ю.Д., Куценко Г.И., Назарова Е.Н. Основы медико-биологических знаний. М.: Высш. шк., 1996.
3. Муравьев А.В. Морфофункциональные основы изменений микрососудистого русла, реологических свойств крови и транспорта кислорода при адаптации к мышечным нагрузкам: Автореф. дис. докт. биол. наук. М., 1993.
4. Сюньков В.Я. Основы безопасности жизнедеятельности. М., 1995.
5. Messmer K. Oxygen transport capacity // High Altitude Physiol. N.Y.: Springer. 1982. P. 117-122.

А. И. Иванов

Электрическая энергия: как она передаётся от генератора к потребителю

Беседы с воспитанниками школ, поступающими в вузы, показали: многие из них убеждены в том, что электрическая энергия от генератора к потребителю передаётся электронами, движущимися в проводах линии электропередач.

Опираясь на материал современных учебников физики, возможно в общеобразовательной школе, и тем более в школах с углублённым изучением физики, в полной мере раскрыть физические явления, сопровождающие движение электромагнитной энергии от генератора к потребителю.

1. Передача электромагнитной энергии по коаксиальному кабелю

При постоянном напряжении U между центральной жилой и наружной металлической оболочкой у зажимов генератора в проводах кабеля установится стационарный ток I . Если пренебречь сопротивлениями центральной жилы и оболочки, передаваемая мощность равна $P = U \times I \dots (1)$.

Как известно, с электрическим током всегда связано магнитное поле, линии индукции которого охватывают токонесящий провод. Следовательно, внутри оболочки существует только магнитное поле центральной жилы. Это поле выглядит так же, как магнитное поле прямолинейного провода с током, то есть линии напряжённости магнитного поля H представляют собой концентрические окружности, охватывающие центральную жилу (пунктирные линии на рис. 1). Токи центральной жилы и оболочки текут в разные стороны. Поэтому их магнитные поля вне наружной оболочки взаимно компенсируются. Линии напряжённости электрического поля E в диэлектрическом слое между центральной жилой и токопроводящей оболочкой направлены вдоль радиуса (сплошные линии на рис. 1).

При малой толщине диэлектрического слоя, как это имеет место на практике, то есть при выполнении условия $R - r \ll 1$, можно считать, что напряжённость E , так же как напряжённость H , во всех точках диэлектрика имеют соответственно одинаковые значения. Для точек, находящихся посередине между центральной жилой и проводящей оболочкой кабеля

$$E = \frac{U}{R-r}; \quad H = \frac{I}{2\pi \frac{(R+r)}{2}} \quad \dots(2).$$

Отсюда выразим:

$$U = E \times (R-r); \quad I = H \times \pi (R-r) \quad \dots(3).$$

Передаваемая по кабелю мощность, то есть энергия электромагнитного поля, движущаяся через поперечное сечение кабеля в единицу времени, равна

$$U = E \times I = E H \times \pi \times (R^2 - r^2) \quad \dots(4).$$

Здесь $\pi \times (R^2 - r^2)$ представляет собой площадь поперечного сечения диэлектрического слоя кабеля, E и H — величины, характеризующие электромагнитное поле в том же диэлектрическом слое. Следовательно, вся электрическая энергия от генератора к потребителю передаётся не по проводам, а по диэлектрическому слою между центральной жилой и проводящей оболочкой. При этом но-

сителем является электромагнитное поле, составляющими которого являются E и H . Назначение токопроводящих жилы и оболочки сводится к функции лишь быть направляющими потока электромагнитной энергии. Произведение E и H обозначаем, как это общепринято, символом P в честь одного из учёных, Умова и Пойнтинга.

$$P = E \times H \quad \dots(5).$$

Легко заметить, что P по величине равен мощности, передаваемой через единичную площадь диэлектрического слоя кабеля. Кроме того, P имеет векторный характер — указывает направление движения энергии. Векторная величина $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$, называется вектором Умова-Пойнтинга. Три вектора \vec{E} , \vec{H} и \vec{P} образуют в пространстве взаимно связанную взаимно перпендикулярную систему векторов. В общем случае, если известны направления векторов $\vec{E} \times \vec{H}$, то направление вектора \vec{P} можно определить известным правилом винта: если поворачивать правовинтовой буравчик (винт) от \vec{E} к \vec{H} , то движение буравчика совпадает с направлением вектора \vec{P} .

Полученное выражение (5) справедливо не только для рассмотренного случая передачи энергии по кабелю, но при любой конфигурации линии электропередачи. Более того, оно справедливо, и для переменного электромагнитного поля, в частности, и для случая передачи электромагнитной энергии без всяких проводов.

2. Скорость распространения электромагнитной энергии

Вычислим скорость распространения электромагнитной энергии вдоль коаксиального кабеля, предполагая, что нам известны абсолютные значения диэлектрической ϵ_a и магнитной проницаемости μ_a диэлектрического слоя.

Передаваемая вдоль кабеля мощность

$$P = E \times H \quad \dots(5).$$

С другой стороны, в каждой единице объёма диэлектрического слоя кабеля заключённая энергия электромагнитного поля равна

$$\frac{\epsilon_a \times E^2}{2} + \frac{\mu_a \times H^2}{2} \quad \dots(6).$$

В единицу времени через поперечное сечение диэлектрического слоя проходит электромагнитная энергия, заключённая внутри объёма :

$$P = \left(\frac{\epsilon \times E^2}{2} + \frac{\mu_a \times H^2}{2} \right) \times VS = EHS \quad \dots(7).$$

Приравнивая (4) и (6) и умножая обе части на $\frac{2}{E \times H}$, получим

$$\frac{\epsilon_a \times E}{H} \times VS + \frac{\mu_a \times H}{E} \times VS = 2S \quad \dots(8).$$

В уравнении (7) сделаем замену $X = \frac{E}{H}$.

Получим квадратное уравнение относительно X:

$$\epsilon_a \times VX^2 - 2X + \mu_a V = 0 \quad \dots(10),$$

которое имеет решение

$$X = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \epsilon_a \mu_a V^2}}{\epsilon_a V} \quad \dots(10).$$

Определение неизвестных X и V из полученного решения (10) упрощается, если использовать известную в теории электромагнитного поля теорему единственности. Согласно этой теореме «если найдены составляющие поля \vec{E} и \vec{H} , которые удовлетворяют уравнениям электромагнитного поля и заданным граничным условиям, то эти решения являются единственными».

В простейшем случае теорема единственности учащимся известна, хотя слово «теорема» не упоминается. Анализируя на уроках физики свойства векторных полей \vec{E} и \vec{H} , доказывают, что силовые линии \vec{E} и \vec{H} не пересекаются и что через любую точку поля проходит лишь одна силовая линия \vec{E} и лишь одна силовая линия \vec{H} . Следовательно, согласно теореме единственности, решение (10) имеет только одно значение X. Это возможно только при условии равенства нулю подкоренного выражения, то есть при условии

$$1 - \epsilon_a \mu_a V^2 = 0 \quad \dots(11),$$

откуда сразу получаем ответ к поставленной задаче

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}} \quad \dots(12).$$

Следовательно, скорость V движения электромагнитной энергии равна скорости света в данном диэлектрике. Она зависит только от электрических и магнитных свойств диэлектрического слоя кабеля, но не зависит от материала провода. Это обстоятельство ещё раз подтверждает справедливость сказанного выше о том, что электромагнитная энергия передаётся не по проводам, а по диэлектрической среде, окружающей провода линии передач.

Полученный результат (12) не зависит от конструкции кабеля. Это, как обычно в физике, означает, что результат справедлив для любого движения электромагнитной энергии.

Завершая рассмотрение вопроса, докажем, что в электромагнитном поле объёмные плотности энергий электрической и магнитной, составляющих поля, равны между собой. Действительно, из решения уравнения (10) следует, что

$$X = \frac{E}{H} = \frac{1}{\epsilon_a V}, \quad \text{где} \quad V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}}.$$

Отсюда получаем

$$E = \sqrt{\frac{\mu_a}{\epsilon_a}} \times H \quad \text{и} \quad \frac{\epsilon_a E^2}{2} = \frac{\mu_a H^2}{2} \quad \dots(13).$$

Что и требовалось доказать. Е 1 1

Из всего сказанного вытекают основные свойства электромагнитного поля:

- в электромагнитном поле объёмные плотности энергий, составляющих поля, равны между собой;
- электромагнитное поле существует только в движении, распространяясь путём взаимного превращения его составляющих;
- скорость движения энергии электромагнитного поля равна скорости света в данной среде.

Простое наложение электрического поля конденсатора и магнитного поля стального магнита не образуют электромагнитного поля. В этом случае нет взаимного превращения полей, нет и движения энергии.

3. Электромагнитные процессы в реальной линии электропередач

На рис.2. представлены два параллельных цилиндрических провода, соединяющих генератор с потребителем электрической энергии. Передние части проводов на рисунке срезаны. Обозначим радиус провода символом α , а их длину через l . При постоянном напряжении U , приложенном к проводам в начале линии, в цепи создаётся электрический ток I . Так как провода обладают сопротивлением R , то на всей длине проводов имеет место падения напряжения $\Delta U = I \times R$.

Следовательно, внутри проводов и вблизи поверхности вне проводов имеет место продольная (тангенциальная) составляющая напряжённости стационарного электрического поля.

$$E_t = \frac{I \times R}{l} \dots (15).$$

Величина этой составляющей напряжённости невелика, так как сопротивление проводов линии электропередачи обычно составляет тысячные доли Ом на 1 м.

Кроме того, между токнесущими проводами появляется перпендикулярная к поверхности проводов (радиальная) составляющая напряжённости электрического поля E_r . Величина этой составляющей значительна, так как на практике напряжение у зажимов генератора составляет несколько сот вольт, расстояние между проводами от нескольких мм до нескольких см. Магнитное поле как внутри, так и вне проводов имеет структуру концентрических окружностей (на рис.2 — пунктирные линии), а его напряжённость на поверхности проводника

$$H = \frac{I}{2\pi l}.$$

Пользуясь правилом винта, легко установить, что вектор потока плотности энергии (вектор Умова-Пойнтинга) внутри проводника

$$P_{втр} = E_t \times H \dots (16).$$

направлен внутрь по радиусу и ослабевает по мере проникновения в проводник, потому что с уменьшением радиуса уменьшается напряжённость магнитного поля. На оси провода $H = 0$.

Постепенное убывание поля вектора Пойнтинга указывает на расход энергии.

Энергия проходит через поверхность проводника и вызывает его нагрев. Источником этой энергии является внешнее электромагнитное поле. Вычислим полный поток электромагнитной энергии через боковую поверхность проводника в единицу времени:

$$P = \Pi S_b = E H S_b = \frac{IR}{l} \times \frac{1}{2\pi\alpha} \times 2\pi l = I^2 R \dots (17).$$

Оказывается, энергия электромагнитного поля, входящая через боковую поверхность, равна джоулевым потерям в проводнике. Вне проводника вектор Умова-Пойнтинга в основном направлен параллельно проводнику, указывая тем самым, что в линиях электропередач энергия передаётся по окружающему провода диэлектрику. Провода линии обеспечивают движение энергии в требуемом направлении. Таким образом, в системе генератор — линия передачи — приёмник происходят следующие электромагнитные процессы:

В генераторе механическая, химическая или другой вид энергии преобразуется в энергию электромагнитного поля. По диэлектрику, окружающему провода линии, происходит движение энергии со скоростью света в данном диэлектрике. В проводах линии часть передаваемой энергии преобразуется в тепло. Другая — основная — часть передаваемой энергии поля в приёмнике поглощается, преобразуется в механическую или в другие виды энергии.

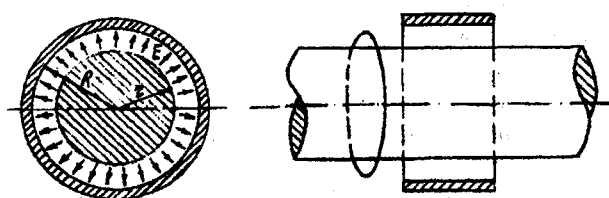


Рис. 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплянский А.Е. и др. Теоретические основы электротехники. М.: ГЭИ., 1961.
2. Купалян С.Д. Теоретические основы электротехники. М.: Энергия, 1970.

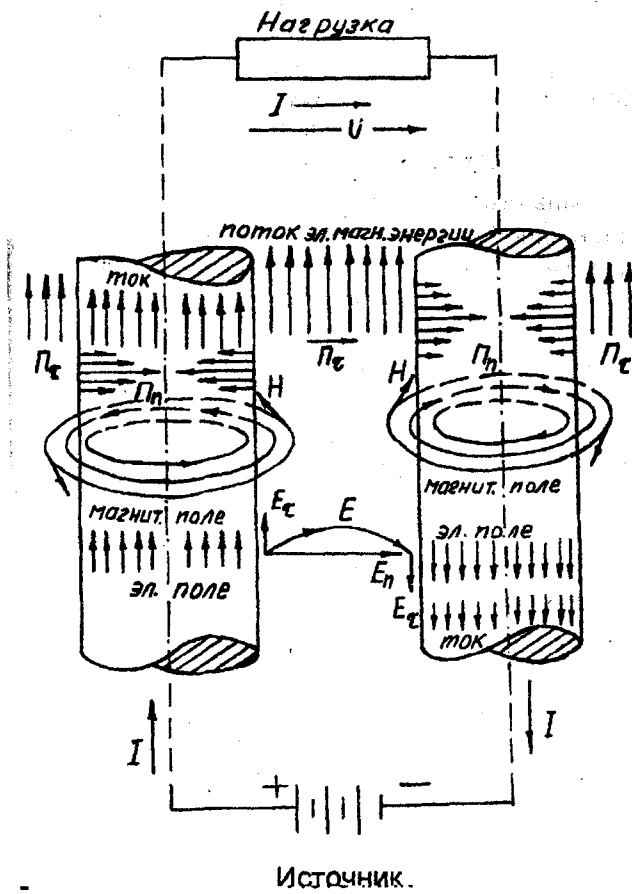


Рис. 2