

Бесконтактный регулятор тока

для управления амплитудой переменного магнитного поля
в лабораторных условиях

А.Г.Зубов

При решении многих задач палеомагнетизма и магнетизма горных пород используется плавно регулируемое по амплитуде переменное магнитное поле. Оно применяется, в частности, при маг-

нитных чистках и при получении идеальной намагниченности.

Плавное изменение амплитуды переменного магнитного поля, действующего на образец, может быть осуществлено накатыванием намагничивающего соленоида на образец с последующим удалением соленоида. Однако такой вариант не всегда возможен в силу следующих причин: 1) соленоид может быть слишком громоздким; 2) его перемещению препятствуют системы охлаждения и питания и иные конструктивные особенности. Кроме того, рассматриваемый способ регулирования поля энергетически неэкономичен.

Другой вариант плавного изменения амплитуды переменного поля — управление током неподвижного соленоида с помощью регулятора. В этом случае к регулятору переменного тока предъявляются определенные требования: 1) недопустимость нарушения плавности и тем более разрывов цепи тока при его регулировании, т.к. возможно подмагничивание образца из-за переходных процессов; 2) сохранность формы временной зависимости тока, в первую очередь — симметрии амплитуд положительной и отрицательной полярности.

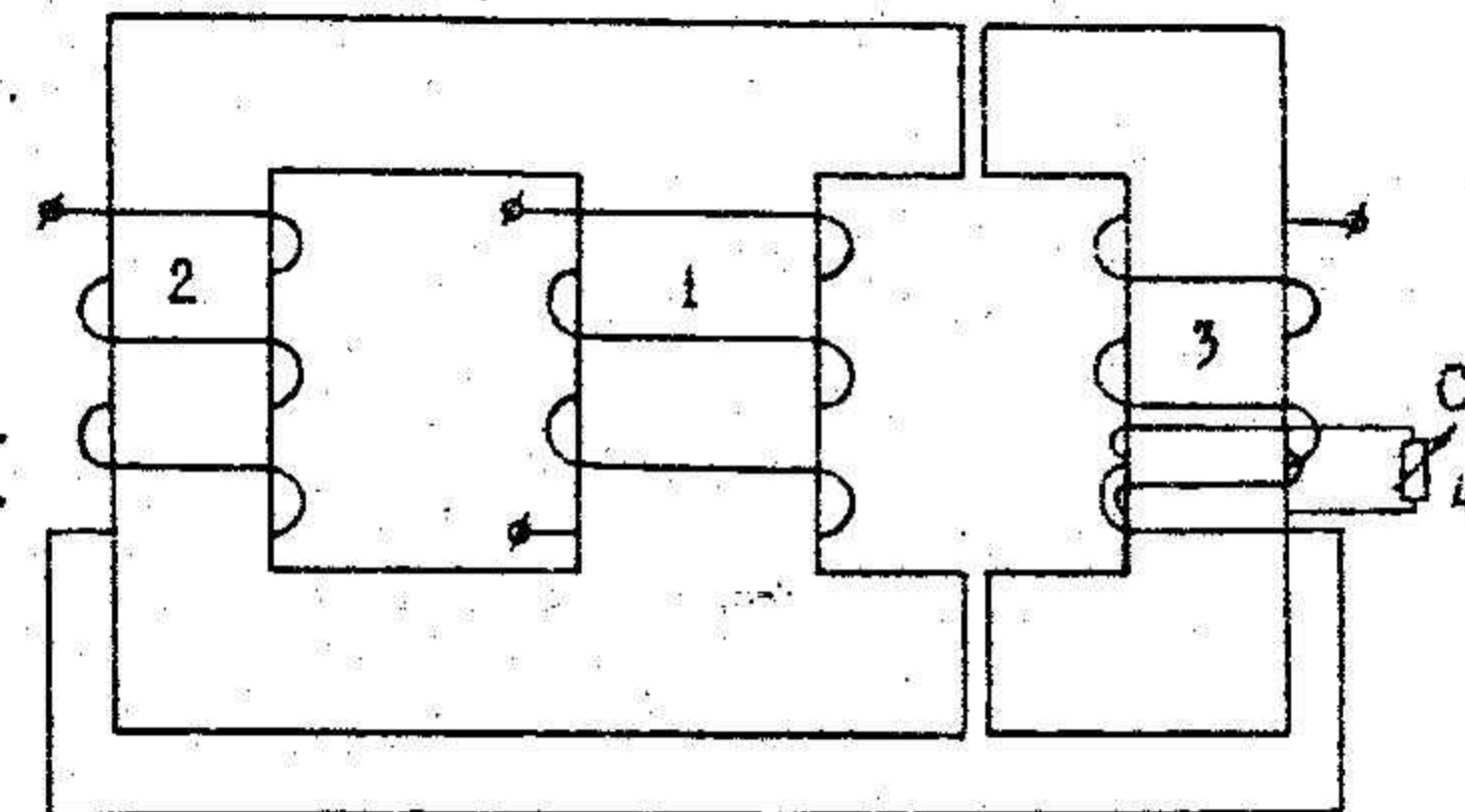
В различных лабораториях по-разному решены рассматриваемые проблемы. Имеется вариант регулирования тока с помощью жидкостного реостата. Такой регулятор громоздок и требует постоянного ухода. Способ генерации и управления переменным током посредством высококачественных транзисторных усилителей применим только к малогабаритным установкам. Ограничение по мощности — недостаток сельсинных регуляторов. Известен факт применения некоторых видов статор-роторных электродвигателей переменного тока в режиме регулирования тока. Однако при больших мощностях эти двигатели громоздки и дороги.

В Институте вулканологии ДВНЦ АН СССР для осуществления магнитной чистки образцов переменным полем разработан и внедрен бесконтактный регулятор тока и напряжения*. В его основе — трехстержневой трансформатор переменного тока. Первичная обмотка облегает центральный стержень, вторичные расположены на крайних стержнях (рис.1). Принцип действия довольно прост. В зависимости от порядка последовательного подключения выводов вторичных обмоток на выходе можно получить либо сумму, либо разность их напряжений, а в случае равенства напряжений — либо

* Зубов А.Г. Бесконтактный регулятор тока и напряжения. (А.С. № 1022229 кл. Н01Г29/08).

Рис.1. Принципиальная схема бесконтактного регулятора

1—первичная обмотка, 2—вторичная неподвижная обмотка, 3—вторичная подвижная обмотка, 4—регулируемое сопротивление с дополнительной обмоткой для докомпенсации



удвоенную их величину, либо нуль. Вместо изменения порядка соединения обмоток в устройстве применяется изменение величины и направления магнитного потока через одну из вторичных обмоток. Для этого по ярму магнитопровода сделано рассечение, и одна из обмоток вместе со стержнем может поворачиваться вокруг оси, перпендикулярной другим неподвижным стержням. Подвижный стержень либо вступает в контакт с ярмом любыми концами, образуя трехстержневой трансформатор, либо находится в расцеплении с ярмом. Такое решение (с учетом непрерывности промежуточных положений) обеспечивает необходимую плавность регулировки и отсутствие скользящих контактов в цепи тока.

Рассмотрим работу установки. Предположим, что подвижный стержень находится в контакте с ярмом. Магнитный поток от первичной обмотки, заполняя магнитопровод, делится на две ветви и замыкается через вторичные обмотки. Пусть токовая цепь соединена так, что ЭДС вторичных обмоток складываются. Начнем поворачивать подвижную секцию, состоящую из подвижной обмотки со стержнем, — уменьшается площадь контакта стержня с ярмом, увеличивается сопротивление магнитному потоку в месте контакта. Магнитный поток от первичной обмотки начинает перераспределяться в сторону ветви магнитопровода с неподвижной вторичной обмоткой, в которой соответственно возрастает ЭДС (электродвижущая сила). В подвижной обмотке ЭДС уменьшается, но в большей степени, чем в неподвижной обмотке возрастает, т.к. стержень подвижной обмотки, выступающей в роли сердечника, по мере поворота переходит в режим дросселирования и часть магнитного потока, создаваемого общим для вторичной цепи током, рассеивается. Происходит общее небольшое уменьшение тока во вторичной цепи.

Постепенно подвижный стержень выходит из контакта с ярмом, и эта ветвь магнитопровода разрывается. Весь магнитный поток из первичной обмотки закорачивается через ветвь магнитопровода с неподвижной обмоткой. ЭДС в последней возрастает в два раза. Но подвижная секция работает как дроссель, уменьшая ток в цепи по сравнению с начальным положением.

При дальнейшем повороте подвижный стержень начинает входить в контакт с ярмом, но другими концами. Магнитный поток от первичной обмотки опять попадает в замыкающую ветвь магнитопровода, но ЭДС подвижной обмотки вычитается из ЭДС неподвижной обмотки. Уменьшается магнитное сопротивление этой ветви магнитопровода, и магнитный поток по мере поворота перераспределяется по обеим ветвям равномерно. Подвижная секция перестает играть роль дросселя, а ЭДС в неподвижной обмотке уменьшается до первоначальной величины. До той же величины, но с противоположным знаком возрастает ЭДС в подвижной обмотке. При полном замыкании магнитопровода ЭДС в обеих обмотках равны и противофазны. Происходит их компенсация, и ток во вторичной цепи падает до нуля. Таким образом, при повороте подвижной секции на 180° происходит плавное изменение амплитуды выходного тока от максимума до нуля.

Однако осуществить практически полную компенсацию ЭДС в обмотках трудно, так как устройство не имеет полной симметрии. Из-за рассечения в ярме образовавшийся зазор создает дополнительное сопротивление магнитному потоку, которое может носить реактивный характер, то есть несколько сдвигать фазу магнитного потока. Осуществить докомпенсацию по амплитуде удастся подбором количества витков во вторичных обмотках по минимуму нулевого тока. Кроме того, эмпирически был найден способ углубления степени компенсации, который устраняет и фазовый сдвиг. Для этого на одну из вторичных обмоток (у нас на подвижную) подматывалась маломощная обмотка, нагруженная на регулируемое сопротивление (см. рис.1). С помощью такой регулировки удается свести ток в положении минимума к нулю.

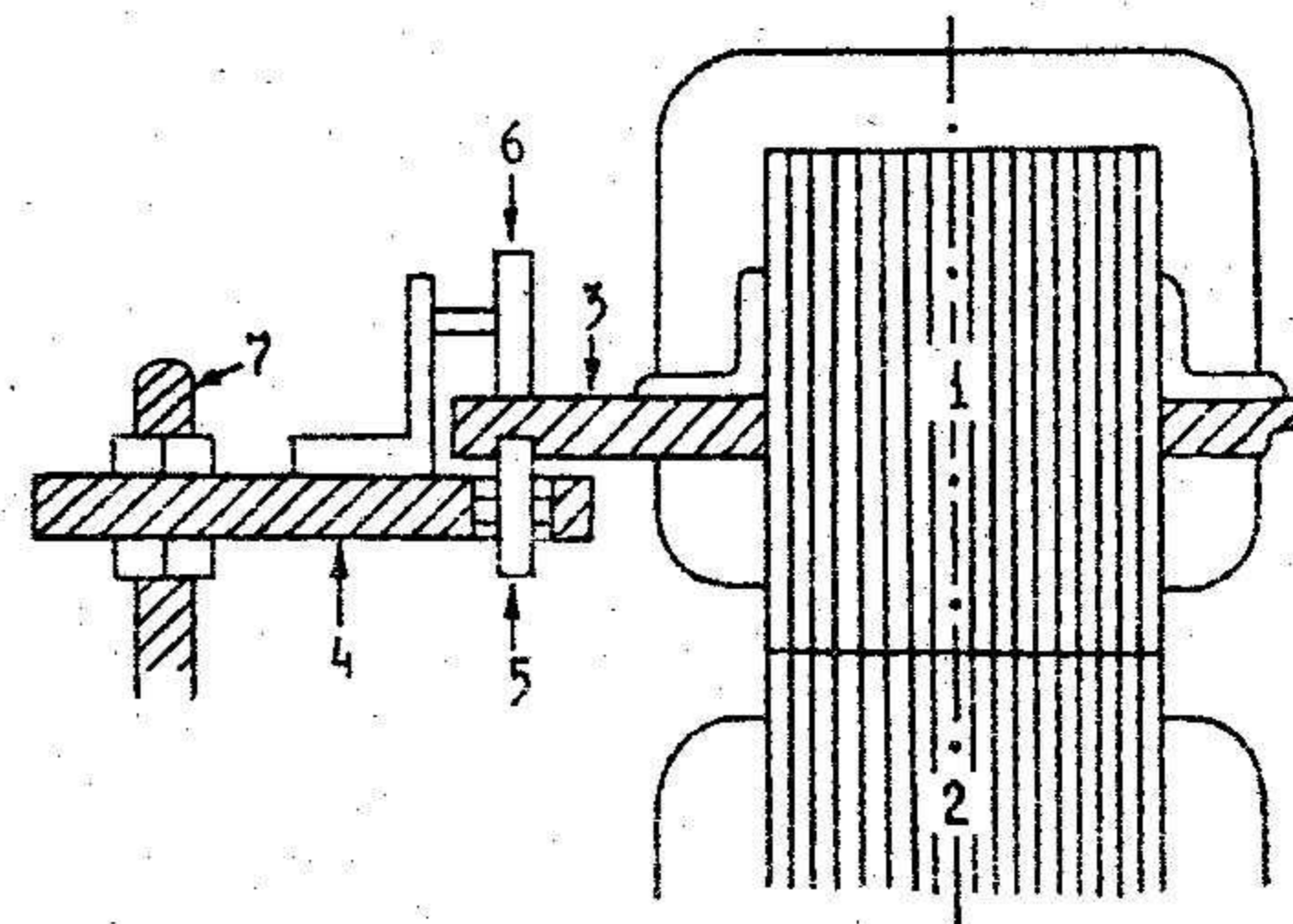
Угловая характеристика выходного тока в рассматриваемом регуляторе имеет плавный ход вблизи экстремальных точек, что позволяет надежно установить максимальное и нулевое поле.

Несколько слов о технической стороне устройства. Поскольку в некоторых положениях регулятора весь магнитный поток идет по

одной ветви магнитопровода как в двухстержневом трансформаторе, то и расчет сечения всех ветвей магнитопровода надо проводить по полной мощности, а не по половинной, как в трехстержневом. По той же причине центральный стержень может иметь то же сечение, что и боковые. Технически самый простой способ осуществить сечение магнитопровода в одной плоскости по ярму (см. рис.1), как и было сделано в нашем варианте. Но при этом необходимо предусмотреть устройство принудительного прижима подвижной секции к неподвижной, иначе при работе будут возникать сильные вибрации, вызванные взаимодействием частей магнитопровода под влиянием магнитных потоков. В нашем регуляторе такой прижим обеспечивается тем, что подвижная секция закрепляется в круговой пластине, которая при вращении катается на подшипниках, встроенных в неподвижную пластину, жестко связанную с неподвижной секцией трансформатора (рис.2), сверху же круговая пластина прижимается другими подшипниками с регулируемой силой прижима. Все вместе и обеспечивает поворот и прижим подвижной секции по отношению к неподвижной. Надо добавить, что некоторое замыкание пластин трансформатора в зазоре после механической обработки не создаст дополнительных трудностей при электрической регулировке устройства.

Рис.2. Схема крепления подвижной секции

1-подвижная секция, 2-неподвижная секция, 3-круговая пластина, 4-неподвижная пластина, 5-подшипник, 6-прижимной подшипник, 7-регулировка плоскости неподвижной пластины



Возможны и другие способы компенсации сил, ведущих к вибрации, но во всех случаях для достижения максимальной симметрии ветвей магнитопровода зазор должен быть минимальным.

Поворот подвижной секции регулятора в нашей конструкции осуществляется с помощью небольшого мотора с редуктором, который через посредство системы шестеренок вращает вышеупомянутую

круговую пластину. В крайних точках (нуль и максимум выходного тока) при срабатывании микропереключателей мотор обесточивается. Для выхода из этого положения достаточно переключить реверсный переключатель. Такое управление с минимумом управляющих элементов обеспечено применением электрической схемы, приведенной на рис. 3. Предусмотрен и ручной вариант поворота секции после расцепления связи с мотором.

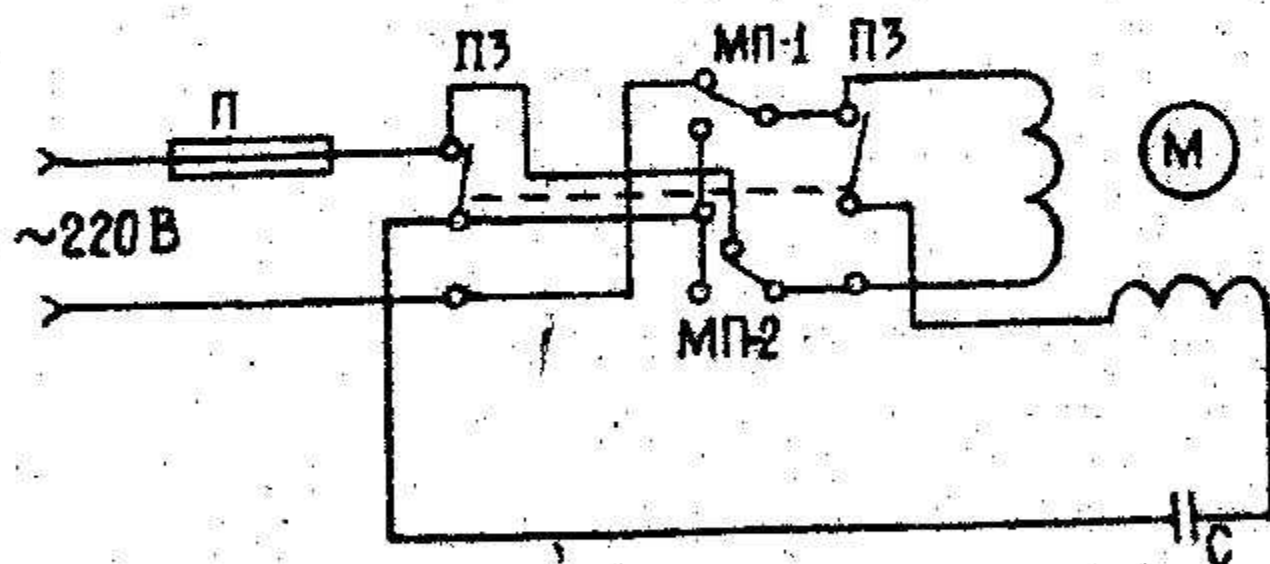


Рис. 3. Электрическая схема управления мотором поворота подвижной секции

М—мотор, ПЗ—переключатель реверса, МП-1, МП-2—микропереключатели остановки в крайних точках, П—предохранитель, С—фазовый конденсатор мотора

В заключение приведем характеристики изготовленного нами регулятора.

Выходное напряжение нагруженного регулятора 0–320 В при входном 220 В.

Максимальный ток на используемой нагрузке 9,1 А.

Глубина падения тока от максимума до минимума:

а) при $I_{\text{вых}} = 9,1 \text{ А}$ — 500 раз,

б) при $I_{\text{вых}} = 7,6 \text{ А}$ — 1100 раз.

Время спада или подъема тока 3 мин 24 с.

Автоматизация лабораторного эксперимента
в палеомагнетизме и магнетизме горных пород
на базе мини-ЭВМ "Электроника ДЗ-28"

Ш.З.Ибрагимов, Д.К.Нургалиев, П.Г.Ясонов

Для повышения точности и достоверности получаемых результатов, увеличения производительности лабораторных установок целесообразно автоматизировать лабораторный эксперимент. При этом следует учитывать, что максимальный эффект можно получить только при наиболее полной автоматизации всего эксперимента: от его начала до получения результатов, включая все промежуточ-