Среди уравнений Максвелла (для удобства я приведу их интегральный вид):

Название	СГС	СИ	Примерное словесное выражение
Закон Гаусса	$\oint\limits_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{s} = 4\pi Q$	$\oint\limits_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{s} = Q$	Поток электрической индукции через замкнутую поверхность пропорционален величине свободного заряда, находящегося в объёме, ограниченном этой поверхностью.
Закон Гаусса для магнитного поля	$\oint\limits_s \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = 0$	$\oint\limits_s \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s} = 0$	Поток магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю (магнитные заряды не обнаружены[~ 4]).
Закон индукции Фарадея	$\oint\limits_l \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l} = -\frac{1}{c}\frac{d}{dt}\int\limits_s \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s}$	$\oint\limits_l \mathbf{E}\cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt}\int\limits_s \mathbf{B}\cdot d\mathbf{s}$	Изменение потока магнитной индукции, проходящего через незамкнутую поверхность s, взятое с обратным знаком, пропорционально циркуляции электрического поля на замкнутом контуре l, который является границей поверхности s[~ 4].
Теорема о циркуляции магнитного поля	$\oint\limits_l \mathbf{H}\cdot d\mathbf{l} = \frac{4\pi}{c}I + \frac{1}{c}\frac{d}{dt}\int\limits_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{s}$	$\oint\limits_l \mathbf{H}\cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d}{dt}\int\limits_s \mathbf{D}\cdot d\mathbf{s}$	Полный электрический ток свободных зарядов и изменение потока электрической индукции через незамкнутую поверхность s пропорциональны циркуляции магнитного поля на замкнутом контуре l, который является границей поверхности s.

Явно выделяется одно самое сложное – последнее. И понятно, почему – в правой части два слагаемых. Как так вышло?

Итак, первоначально, до Максвелла, не было добавки:

$$\oint \boldsymbol{Bdl} = \frac{I}{c}$$

(я нарочито привычно буду забивать на коэф 4π, нам на него ща насрать. Ну или считайте, что я записал в системе СГС с рационализацией Хевисайда).
В дифференциальном виде:

$$rot\,\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{j}}{c}$$

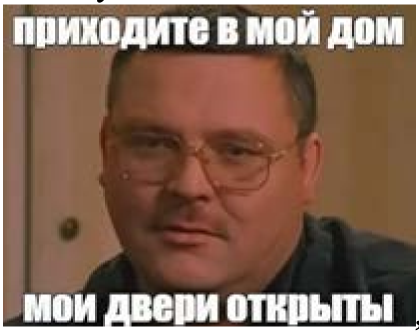
Т.е. ток вызывает циркуляцию магнитного поля. Или циркуляция магнитного поля вызывает ток? Кажется, что обе формулировки равнозначны, и спор бессмысленен – «что было раньше, курица или яйцо». Однако это не так, однозначно правильной является именно формулировка «ток вызывает циркуляцию магнитного поля».
Дело в том, что уравнения Максвелла описывают РАСПРОСТРАНЕНИЕ э/м поля и его возникновение от источников (зарядов и токов), но не поведение этих самых зарядов и токов.
Вспомним, что закон Кулона у нас распался на создающую (поле) часть:

$$E(r) = C\frac{q}{r^2}$$

И на действующую (на заряд) часть:

$$F = Eq$$

Так вот, если создающая часть «зашита» в уравнения Максвелла, то действующая - нет. И силы Лоренца, Ампера – тоже нет.

Тут может возникнуть вопрос, что ж ты раньше не сказал  - почему бы нам не добавить «действующие» уравнения к уравнениям Максвелла 

, чтобы они образовали семью 

? Ответ: они плохо уживутся и начнутся приколы «а почему на заряд не действует собственное поле». И если на этот вопрос ещё можно ответить разделением поля на «своё-чужое», то потом начнутся приколы посерьёзней: оказывается, что закон Кулона абсолютно верен лишь для покоящихся зарядов, для движущихся возникает дополнительная сила радиационного трения $\vec{F} = \frac{2}{3}\frac{q^2}{c^3}\frac{d\vec{a}}{dt}$, которая к тому же не всегда работает (она должна тормозить заряды, т.к. движущийся с ускорением заряд должен терять часть энергии на излучение, а иногда подстановка в формулу даёт, наоборот, увеличение скорости), а для релятивистских скоростей начинается полная 

(желающим прикоснуться к ней рекомендую http://anti-moda.ru/electrod5/СТО11.%20Излучение%20быстро%20заряженных%20частиц.pdf , а лучше сразу 73-й параграф Ландау-Лифшица). Вообще всё вышеперечисленное у вас будет на электроде в 5-м семе, а пока следует запомнить: по уравнениям Максвелла источники порождают поле, и оно в дальнейшем по тем же уравнениям Максвелла распространяется, а вот с самими источниками может происходить что угодно. Так что только «ток вызывает циркуляцию магнитного поля», а не «циркуляция магнитного поля вызывает ток».

Так вот, было у нас

$$rot\,\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{j}}{c}$$

зачем нам добавлять дополнительное слагаемое:

$$rot\,\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{j}}{c} + \frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$$

Тут я должен похвалить фейнмановские лекции по физике – Фейнман, вместо того, чтобы затолкать этот нюанс под кровать, посвящает ему два параграфа (18.1, 18.2, 6-й том). Тут же мы кратенько перескажем его мысль.

Если бы

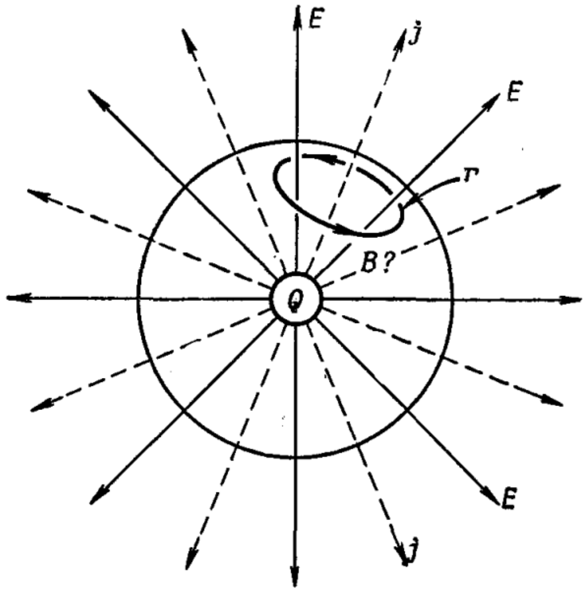
$$rot\,\boldsymbol{B} = \frac{\boldsymbol{j}}{c}$$

то

$$div\,rot\,\boldsymbol{B} = div\,\frac{\boldsymbol{j}}{c}$$

Но дивергенция любого ротора – 0. Получается, что дивергенция $\boldsymbol{j}$ есть 0, т.к. поток тока по любому замкнутому контуру есть 0.
Добавка $\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$ как раз исправляет эту проблему.

Разберём один из двух примеров, который он приводит – представим себе большой металлический шар, в центре которого расположен радиоактивный источник, испускающий заряды:



В силу симметрии не может возникнуть никакой магнитной циркуляции. А токи есть. Тут нас как раз выручает $\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}$.

В самом деле,

$$E(t,r) * 4\pi r^2 = q(t,r) \text{ (в системе СГС с рационализацией Хевисайда)}$$

$$I(t) = -\frac{dq(t)}{dt}$$

$$j(t, r) = \frac{I(t)}{4\pi r^2}$$

Откуда как раз и получаем

$$\boldsymbol{j}(t, r) = -\frac{\partial \boldsymbol{E}(t, r)}{\partial t}$$

Для любых t и r.