Научная статья

Original article

УДК 004.9.

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЛЕНОИДЕ РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ

CALCULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN THE SOLENOID OF THE RAIL LAYER DEMANETIZER DEVICE

Халиков Абдульхак Абдульхаирович, Профессор кафедры «Радиоэлектронные устройства и системы» д-р техн. наук, Ташкентского государственного университета транспорта, Узбекистан, г. Ташкент

Ортиков Мироншох Содикович, и.о. доц. Кафедра "Радиоэлектронные устройства и системы" Ташкентского государственного университета транспорта, Узбекистан, г. Ташкент

Khalikov Abdulkhak Abdulkhairovich, xalikov_abdulxak@mail.ru

Mironshoh Ortiqov, xalikov_abdulxak@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются переходный процесс при включении соленоида с сердечником на первую гармонику напряжения, используя метод последовательных приближений и применением метода наложения для основного действия первой и третьей гармонических составляющих тока определены вебер амперные характеристики соленоида с сердечником.

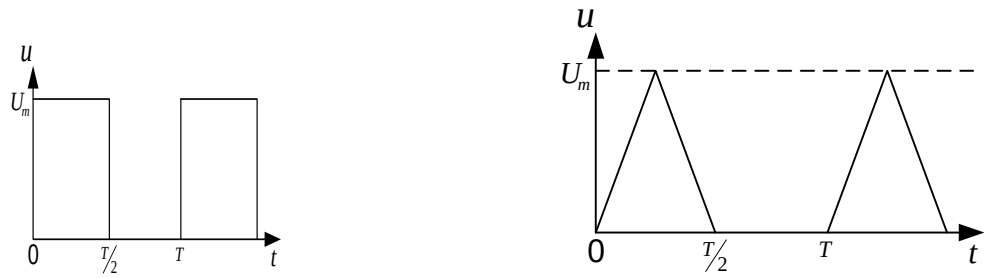
Abstract. The article discusses the transient process when a solenoid with a core is turned on to the first harmonic of the voltage, using the method of successive approximations and applying the superposition method for the main action and the

first and third harmonic components of the current determined the Weber ampere characteristics of the solenoid with a core.

Ключевые слова: переходный процесс; соленоид; размагничивающее устройство; импульсное воздействие; метод последовательных приближений; метод наложения.

Keywords: transitional process; solenoid; demagnetizing device; impulse impact; method of successive approximations; overlay method.

Любое импульсное воздействие представляет собой периодические несинусоидальные напряжения, токи, потокосцепление. Поэтому необходимо раскладывать в ряд Фурье импульсы в виде прямоугольника, треугольника, полуволны синусоид, следующих периодически. Для качественного размагничивающего устройства необходимо учесть импульсы в виде прямоугольника и треугольника[1, 2]. Формы показаны на рис.1.



а) б)

Рис.1. Периодические функции несинусоидального напряжения в устройстве размагничивания.

а) прямоугольный импульс; б) треугольный импульс

Для расчетов используем реальные значения прямоугольного импульса параметрами: частота $\nu = 5$Гц; период $T = 0{,}2c$; длительность импульса $\tau_u = 30мс$; напряжение $U_m = 230B$.

Вначале рассмотрим разложение в ряд прямоугольного импульса, который запишется в виде:

$$u = \frac{U_m}{2} + \frac{2U_m}{\pi} sin\omega t + \frac{2U_m}{3\pi} sin3\omega t + \frac{2U_m}{5\pi} sin5\omega t + \cdots. \quad (1)$$

С учетом цифровых данных можно записать:

$$u = 115 + 146sin31{,}4t + 48{,}8sin94{,}2t + 29{,}3sin157t + \cdots. \quad (2)$$

Переходный процесс в соленоиде с сердечником на подачу напряжения прямоугольного импульса включает в себя расчет на постоянную, первую, третью и пятую гармонические составляющие разложенного в ряд Фурье напряжения[3,4]. Кроме того, надо учесть, что переходный процесс на импульсное воздействие учитывает включение соленоида с сердечником до промежутка времени от $0 < t \leq \tau_u$ и отключение цепи при $\tau_u \leq t \leq T$. Рассмотрим процесс включения соленоида с сердечником на промежутке времени $0 < t \leq \tau_u$. Расчет включает постоянную составляющую, первую, третью и пятую гармонические составляющие напряжения. Затем применим метод наложения. Используем основную кривую намагничивания нелинейной индуктивности, аппроксимирую её выражением:

$$i = 0.0137\Psi^4. \quad (3)$$

i, A	***ψ*, Вб**	t, с
0	0	0
0,78	1,008	0,066
1,3	2,016	0,077
3,64	3,024	0,112
5,2	3,276	0,172
5,49	3,299	0,263

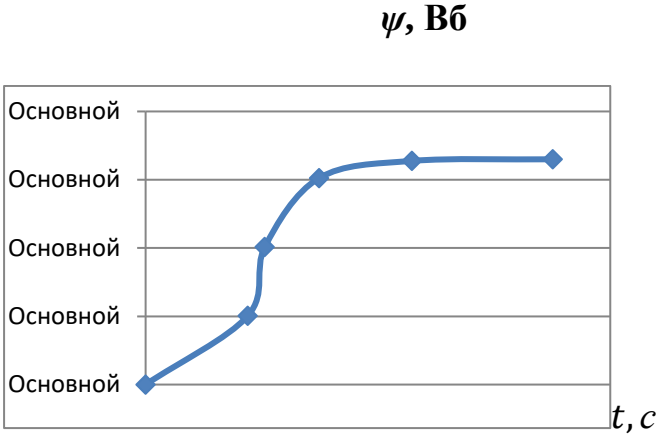


Рис.2. График функции ***ψ(t)*** включения соленоида с сердечником на постоянное напряжение

Кривая намагничивания представлена $\Psi(t)$ на рис.2.

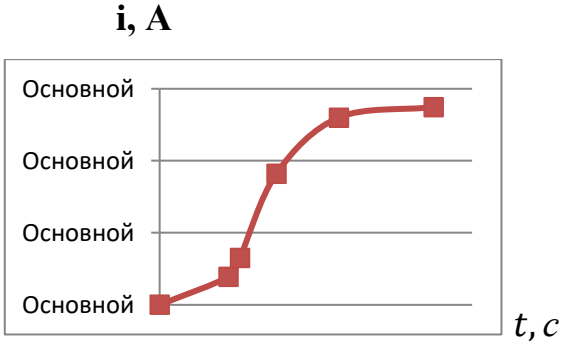


Рис.3. График функции ***i (t)*** включения соленоида с сердечником на постоянное напряжение

Для определения времени используем известное выражение:

$$t = \frac{1}{2I_y^{\frac{3}{4}}R_c k^{\frac{1}{4}}}\left(0.5ln\frac{1+\sqrt[4]{\frac{i}{I_y}}}{1-\sqrt[4]{\frac{i}{I_y}}} + arctg\sqrt[4]{\frac{i}{I_y}}\right). \quad (4)$$

Расчет проведем по программе Excel, используя при этом данные: $I_y = 5{,}5$А, R_c=4,33Ом; $k = 0{,}137\,{}^{A}/_{Вб^4}$.

При этом получены следующие результаты: $t = \tau_u = 0{,}263c$; $i = 5{,}49A$; $\Psi = = 3{,}299Вб$; L=0,154Гн.

Рассмотрим переходный процесс при включении соленоида с сердечником на первую гармонику напряжения, используя метод последовательных приближений:

$$U_{(1)} = 147sin108{,}3t. \quad (5)$$

Используем дифференциальное уравнение:

$$ri + \frac{d\Psi}{dt} = 147sin108{,}3t. \quad (6)$$

Примем $L = \frac{\Psi_m}{I_m}$, тогда уравнение (3.44) преобразуется в новое:

$$r\frac{\Psi}{L} + \frac{d\Psi}{dt} = 147sin108{,}3t. \quad (7)$$

Решением уравнения (3.45) будет:

$$\Psi = \Psi_{пр} + Ae^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (8)$$

Потокосцепления $\Psi_{пр} = \Psi_{уст} = -\Psi_m cos\omega t$, где $\Psi_m = I_m L = \frac{U_m L}{\sqrt{r^2+(\omega L)^2}} \approx$

$\approx \frac{U_m}{\omega} = 1{,}35Вб$, то есть мы получили цифровой ответ.

При $t = 0$ уравнение (8) будет: $\Psi = \Psi_y(0) + A$,

откуда $A = -\Psi_{уст}(0) = -1{,}35$. Решение уравнения запишется:

$\Psi = -1{,}35cos108{,}3t + 1{,}35e^{-\frac{t}{\tau}}$, $\tau = 0{,}263c$.

Полученные результаты предслены в табл.1 и рис. 4 и 5.

Табл.1

Ψ, Вб	t, c	i, A
0	0	0
-0,67	0,066	-4,35868
0,77	0,077	5,059136
-1,16	0,112	-7,58595
-1,30	0,172	-8,48683
1,32	0,263	8,581039

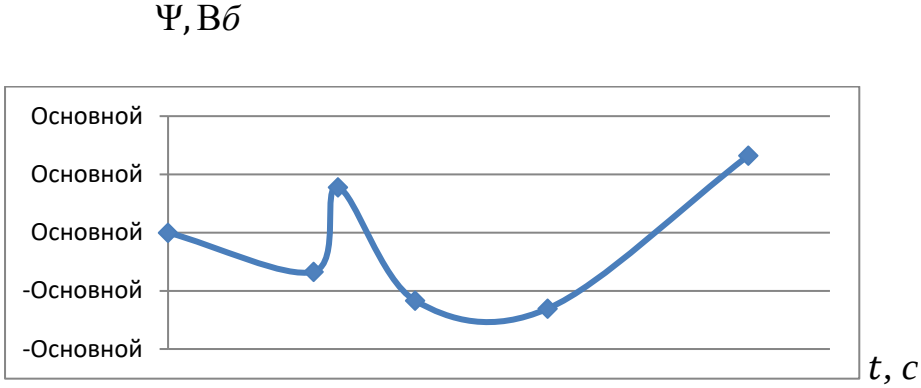


Рис.4. График $\Psi(t)$ для первой гармонической составляющей

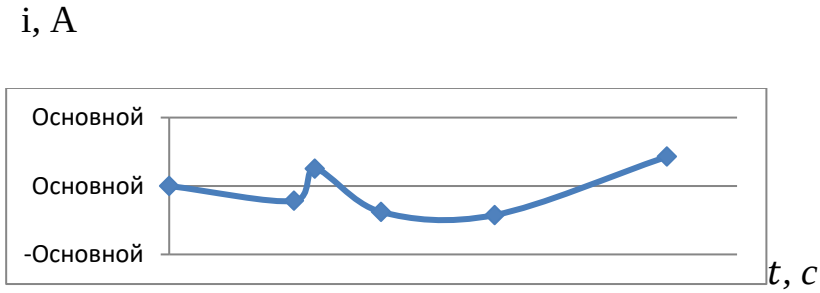


Рис.5. График $i(t)$ для первой гармонической составляющей

Для третьей гармонической составляющей напряжения имеем уравнение:

$$r\frac{\Psi}{L}+\frac{d\Psi}{dt}=48sin324t. \quad (9)$$

Решением данного уравнения будет:

$$\Psi=\Psi_{пр}+Ae^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (10)$$

Уравнение (10) преобразуем в следующий вид: $\Psi = -\Psi_m cos3\omega t + +\Psi_m e^{-t/\tau}$, где $\Psi_m \approx \frac{U_m}{3\omega} = 48Вб$. Общее решение уравнения для переходного процесса имеем вид: $\Psi = -48cos324t + 48e^{-t/\tau}$, где $\tau = 0{,}263c$.

Результаты расчетов по 3-ей гармонической составляющей представлены в табл.2. и на рис.6 и 7.

Табл.2

t, c	Ψ, Вб	i, А
0	0	0
0,066	46,70394	303,2724
0,077	-41,8647	-271,849
0,112	-5,67574	-36,8554
0,172	-32,3708	-210,2
0,263	44,44006	288,5718

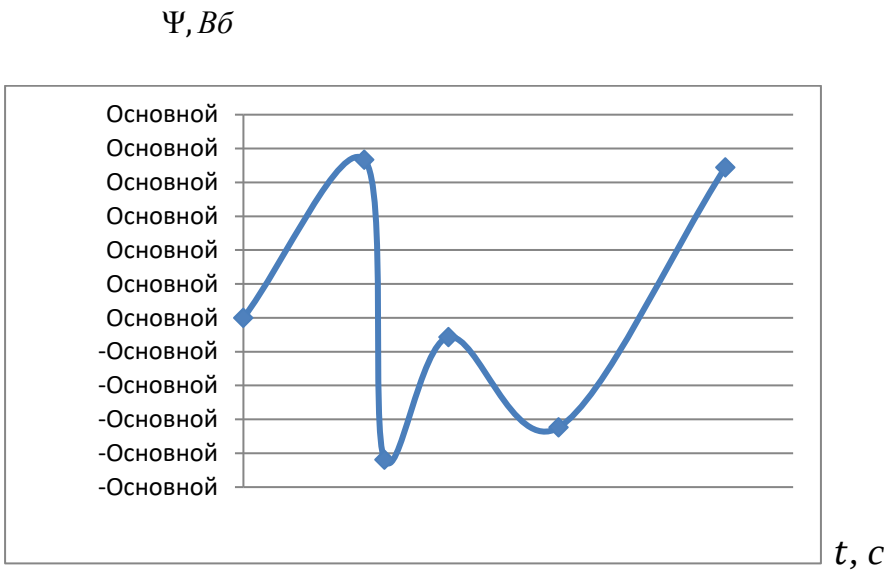


Рис.6. График $\Psi(t)$ для третьей гармонической составляющей

i, А

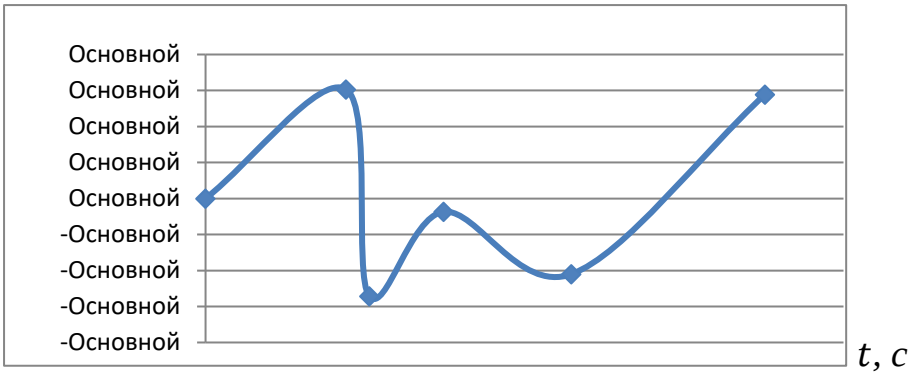


Рис.7. График $i(t)$ для третьей гармонической составляющей

Применим метод наложения для основного действия и первой и третьей гармонических составляющих:

$$\Psi(t) = \Psi_0(t) + \Psi_1(t) + \Psi_3(t)$$

$$i(t) = i_0(t) + \mathrm{i}_1(t) + \mathrm{i}_3(t) \qquad (11)$$

в интервале $0 < t \leq \tau_u$, где $\Psi_0(t)$, $i_0(t)$ для постоянной составляющей; $\Psi_1(t)$, $\mathrm{i}_1(t)$ для первой гармонической составляющей; $\Psi_3(t)$, $\mathrm{i}_3(t)$ для третьей гармонической составляющей [5].

Табл.3.

t, с	Ψ_0, Вб	Ψ_1, Вб	Ψ_3, Вб	i_0, А	i_1, А	i_3, А
0	0	0	0	0	0	0
0,066	1,008	-0,67	46,70394	0,78	-4,35868	303,2724
0,077	2,016	0,77	-41,8647	1,3	5,059136	-271,849
0,112	3,024	-1,16	-5,67574	3,64	-7,58595	-36,8554
0,172	3,276	-1,30	-32,3708	5,2	-8,48683	-210,2
0,263	3,299	1,32	44,44006	5,49	8,581039	288,5718

Табл.4

t, с	Ψ, Вб	i, А
0	0	0
0,066	47,04194	299,6937

0,077	-39,0787	-265,49
0,112	-3,81174	-40,8014
0,172	-30,3948	-213,487
0,263	49,05906	302,6428

$\Psi, Вб$

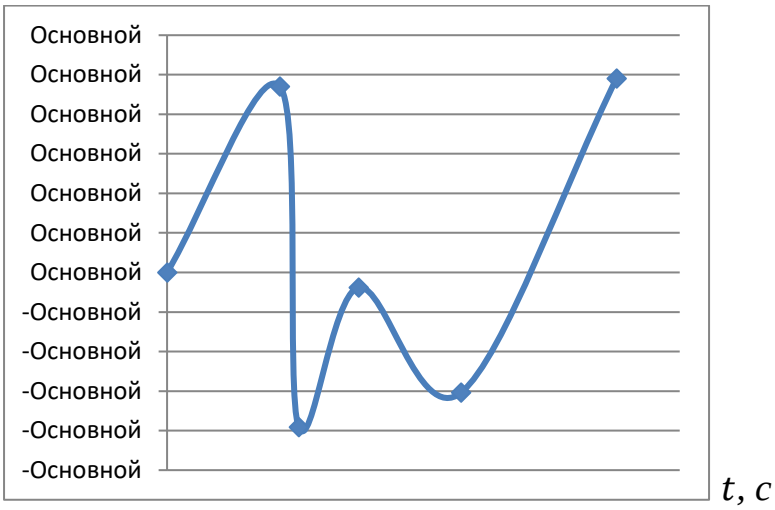


Рис.8. Общий график $\Psi(t)$ переходного процесса при включении соленоида с сердечником

I A

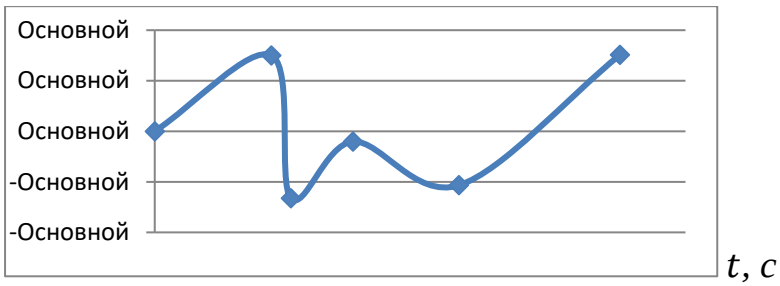


Рис.9. Общий график $i(t)$ переходного процесса при включении соленоида с сердечником

Ψ, Вб

Ψ, Вб	i, A	Ψ', Вб
0	0	0,5
1,008	0,78	2
2	1,3	2,5
2,5	2,5	3
3,024	3,64	3,124
3,276	5,2	3,276
3,528	10,4	3,528
3,78	15,6	3,78
3,906	20,8	3,906
3,9816	26	3,9816

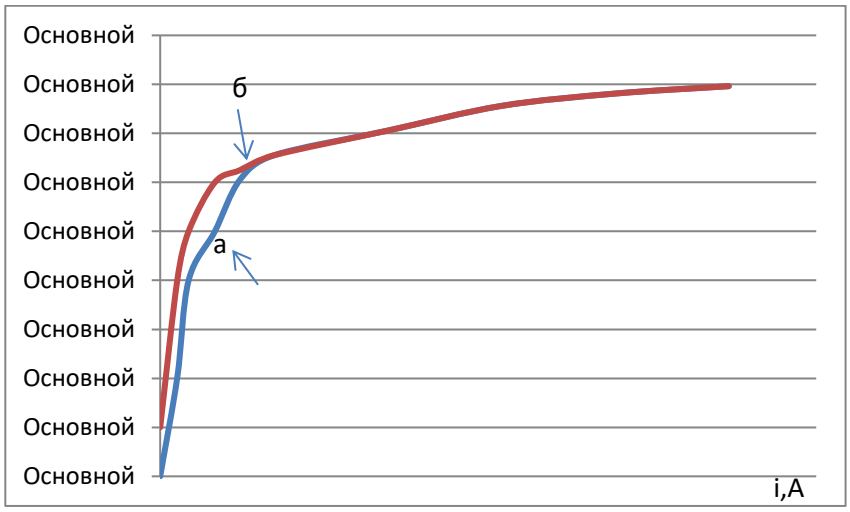


Рис.10. Вебер амперная характеристика соленоида с сердечником
а-первоначальная кривая намагничивания;
б-нисходящая ветвь убывания потока Ψ_0 до остаточного значения Ψ_r.

Переходный процесс на участке $\tau_u \leq t < T$ будем рассматривать, как замыкание накоротко соленоида с сердечником, используя при этом

нисходящую ветвь вебер-амперной характеристики (рис.10). Нисходящую ветвь намагничивания выразим в аналитическом виде:

$$i = a'(\Psi - \Psi_r) + b'(\Psi - \Psi_r)^{n+1}. \quad (12)$$

Обозначим: $\Psi - \Psi_r = \psi$, $\Psi_0 - \Psi_r = \psi_0$, $\frac{\psi - \psi_r}{\psi_0 - \psi_r} = \frac{\psi}{\psi_0}$. При замыкания накоротко соленоида сердечника, уравнение короткого замыкания будет иметь вид:

$$\frac{d\Psi}{dt} + ri = 0. \quad (13)$$

Решением данного уравнения является:

$$\psi = \frac{\psi_0}{\sqrt[n]{\left(1+\frac{b}{a}\right)e^{\frac{nar}{\psi_0}t} - \frac{b}{a}}}. \quad (14)$$

t,c	Ψ, Вб
0	0
0,066	47,04194
0,077	-39,0787
0,112	-3,81174
0,172	-30,3948
0,263	49,05
0,3	1,01758
0,4	0,798168
0,466	47,04194
0,543	-39,0787
0,655	-3,81174
0,827	-30,3948
1,09	49,05
1,39	1,01758
1,79	0,798168

Ψ, Вб

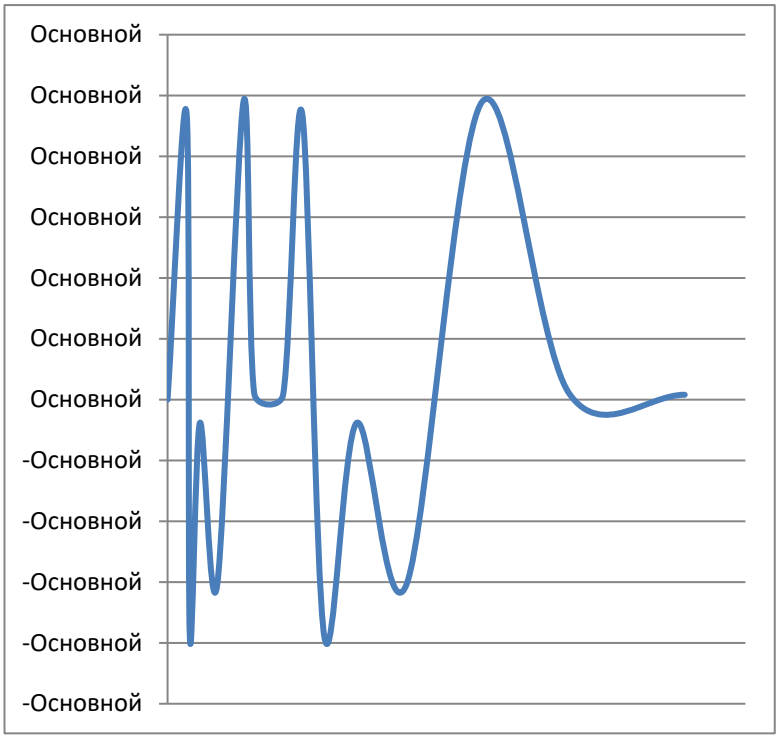


Рис.11. Переходный процесс в соленоиде с сердечником $\Psi(t)$

Общий график переходного процесса в соленоиде с сердечником, при включении на прямоугольный импульс показан на рис.11.

Для соленоида с сердечником нисходящая характеристика удовлетворяется, если представить: $n = 6;\ a' = 1.274\frac{A}{Вб};\ b' = 1.27\frac{A}{Вб^7}$, при этих значениях коэффициентов будем иметь: $\psi_0 = \Psi_0 - \Psi_r = 3.5Вб;\ \frac{b}{a} = 3.67;\ \frac{nar}{\psi_0} = 33.09\frac{1}{c}$. Переходный процесс для потокосцепления записывается уравнением:

$$\psi = \frac{3{,}5}{\sqrt[6]{4{,}67e^{33{,}09t} - 3.67}}. \qquad (15)$$

Общий переходный процесс в соленоиде с сердечником для тока показан на рис.12.

t,c	i,A
0	0
0,066	299,6937

0,077	-265,49
0,112	-40,8014
0,172	-213,487
0,263	302,6428
0,3	2,727105
0,4	1,275773
0,466	299,6937
0,543	-265,49
0,655	-40,8014
0,827	-213,487
1,09	302,6428
1,39	2,727105
1,79	1,275773
2,256	299,6937

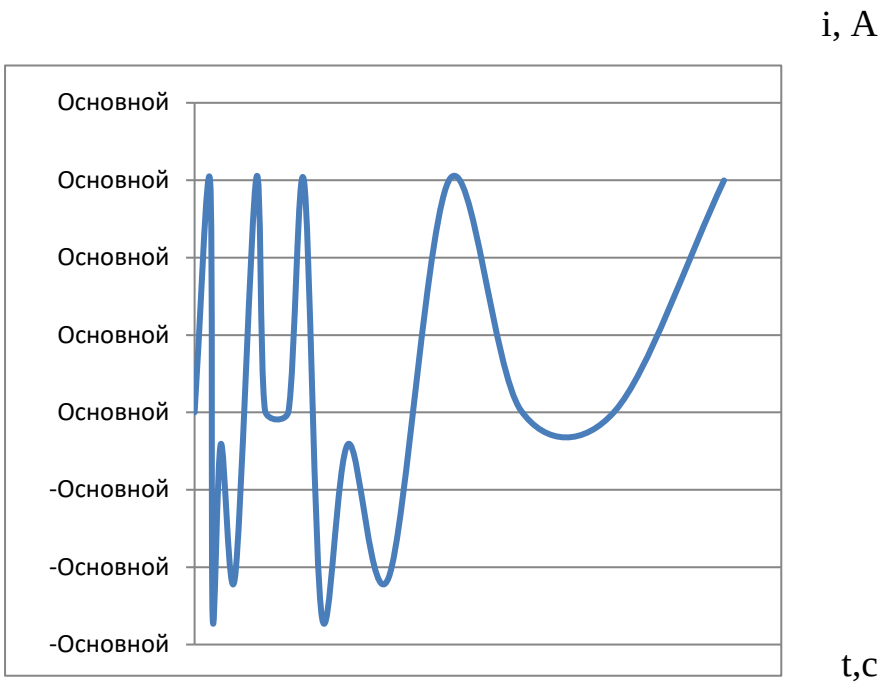


Рис.12. Переходный процесс в соленоиде с сердечником $i(t)$

Заключение

На основании полученных результатов можно сделать заключение о том, что оптимальным для размагничивания будет применение импульсных воздействий, так как получается большое количество максимумов и минимумов токов, как в отрицательных, так и в положительных областях. Понижение тока равносильно уменьшению насыщения стали сердечника, и экономии электроэнергии а следовательно приводит к размагничиванию стали рельсовых плетей.

Литература

1. Халиков А.А., Колесников И.К., Курбанов Ж.Ф. Исследование и разработка единого пространственного электромагнитного поля и устройств на их основе. / Монография. Издательства «Фан ва технология», 2019. – С.238.
2. Халиков А.А., Курбанов Ж.Ф., Ортиков М.С. Устройства намагничивания и размагничивания рельсовых плетей и их сравнительный анализ.//

UNIVERSUM Технические науки. Москва– 2019. №10 (67) – С.78-80. Электронный научный журнал tech@7universum.com .

3. Халиков А.А., Курбанов Ж.Ф., Ортиков М.С. Параметры магнетизма, намагничивания и размагничивания материалов и рельсовых плетей.// UNIVERSUM Технические науки. Москва– 2019. №10 (67). – С.81-83. Электронный научный журнал. tech@7universum.com.
4. Khalikov A.A. Analysis of methods for determining the characteristics of a single spatial electromagnetic field. // Индонезия. Icon Beat 2019. icon-beat@umm.ac.id. International Conference on Bioinergy and Environmtntally Sustainable Agriculture Technology. (Международная конференция).
5. Халиков А.А., Ибрагимова О.А. Исследование устройств систем управления единым пространственным электромагнитным полем. Монография. / Под ред.проф. ХаликоваА.А. Ташкент–Тамбов: Консальтинговая компания Юком, 2020. 102с. https: //ukonf.com/doc/mon.2020.05.01.pdf. E-mail: mon@ukonf.com.

Literature

1. Khalikov A.A., Kolesnikov I.K., Kurbanov J.F. Research and development of a single spatial electromagnetic field and devices based on them. / Monograph. Publishers "Fan va Technology", 2019. – p.238.
2. Khalikov A.A., Kurbanov Zh.F., Ortikov M.S. Devices for magnetization and demagnetization of rail lashes and their comparative analysis. // UNIVERSUM Technical Sciences. Moscow– 2019. No. 10 (67) – pp.78-80. Electronic scientific journal tech@7universum.com .
3. Khalikov A.A., Kurbanov Zh.F., Ortikov M.S. Parameters of magnetism, magnetization and demagnetization of materials and rail lashes. // UNIVERSUM Technical Sciences. Moscow– 2019. №10 (67). – Pp.81-83. Electronic scientific journal. tech@7universum.com .
4. Khalikov A.A. Analysis of methods for determining the characteristics of a single spatial electromagnetic field. // Indonesia. Icon Beat 2019. icon-

beat@umm.ac.id. International Conference on Bioinergy and Environmtntally Sustainable Agriculture Technology. (International Conference).

5. Khalikov A.A., Ibragimova O.A. Investigation of devices of control systems of a single spatial electromagnetic field. Monograph. / Edited by Prof. Khalikovaa.A. Tashkent–Tambov: Consulting company Yukom, 2020. 102s. URL: https: //ukonf.com/doc/mon.2020.05.01.pdf. E-mail: mon@ukonf.com.

© Халиков А.А., Ортиков М.С., Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Халиков А.А., Ортиков М.С., РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СОЛЕНОИДЕ РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022