

ЛР №2. КОМУТАЦІЙНІ ПЕРЕНАПРУТИ ТА ПАРАМЕТРИ ЗАХИСНИХ ЛАНОК ВИПРЯМЛЯЧІВ У ЗБУДНИКАХ БСМ

Вступ. Розрахунок захисних ланок вентилів трифазних мостових випрямлячів

На рис. В.1,а показана еквівалентна схема ифазного мостового випрямляча для комутаційних інтервалів першого та другого режимів роботи. На рис. В.1,б – схема для розкунку комутаційних перенапруг на вентилі при $x_1 = 0$. При замиканні вентиля (розмиканні ключа К) в момент $t = t_0$, при $t_0 = 0$ напруга $= 0$, струм через ключ $i = I_0$. В момент часу $+0$ ключ розімкнений, струм I_0 замикається рез ланку індуктивності, резистора та конденсатора. Процес зміни струму в ланці описується рівнянням: $L_1 \frac{di}{dt} + R_f i + u_c = U_{\text{ном}}$.

Оскільки $i = C \frac{du_c}{dt}$, то

$$\frac{d^2 u_c}{dt^2} + \frac{R_f}{L_1} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{L_1 C_f} u_c = \frac{U_{\text{ном}}}{L_1 C_f}$$

Характеристичне рівняння

$$p^2 + \frac{R_f}{L_1} p + \frac{1}{L_1 C_f} = 0$$

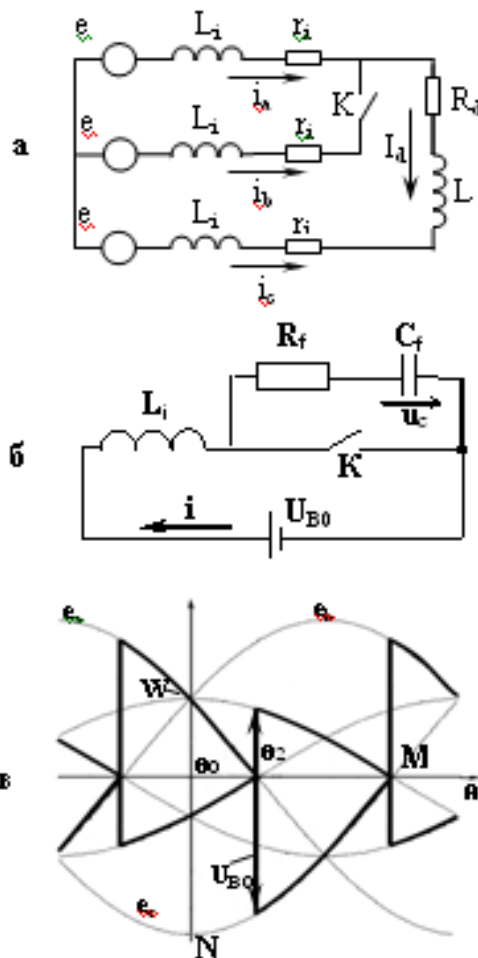


Рис. В.1

має два корні: $p_{1,2} = -\frac{R_f}{2L_1} \pm \sqrt{\frac{R_f^2}{4L_1^2} - \frac{1}{L_1 C_f}}$.

При $R_f < 2\sqrt{L_1/C_f}$ перехідний процес має коливальний характер. При $R_f > 2\sqrt{L_1/C_f}$ перехідний процес аперіодичний. На межі режимів роботи $R_f = 2\sqrt{L_1/C_f}$.

Раніше показано: $di_0 = \frac{\sqrt{6} \cdot E}{2 \cdot x_1} \sin(\alpha + \theta) \cdot d\theta$,

де $\theta = \omega t$, $x_1 = \omega L_1$. Тому при $\theta \approx \gamma$ за час відновлення запираючих властивостей вентиля τ_w зміна струму i_0 (амплітуда зворотного струму вентиля) $I_0 = \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{E}{L_1} \sin(\alpha + \gamma) \tau_w$.

Найбільше значення амплітуди зворотного струму настає на межі другого та третього режимів роботи випрямляча (при $\alpha = 30^\circ$, $\gamma = 60^\circ$, $\sin(\alpha + \gamma) = 1$): $I_{0\text{ом}} = \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{E}{L_1} \tau_w$.

Мінімальне значення величини ємкості визначає мо з умови поглинання енергії, що накопичується в індуктивності L_1 при $R_f = 0$:

$$\frac{C_{\text{фін}} U_{\text{В0}}^2}{2} = \frac{L_1 I_{0\text{ом}}^2}{2}, \quad C_{\text{фін}} = L_1 \left(\frac{I_{0\text{ом}}}{U_{\text{В0}}} \right)^2$$

Величину найбільшої робочої напруги на вентилі при запиранні по рис. В.1,б:

$$U_{\text{ном}} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot E \cdot \cos \frac{\pi}{6} = \frac{3\sqrt{6}}{4} E$$

Зміна напруги $U_{\text{В0}}$ протягом перехідного процесу не враховується (його тривалість значно менше періоду пульсації). При цьому

$$C_{\text{фін}} \approx L_1 \left(\frac{I_{0\text{ом}}}{U_{\text{ном}}} \right)^2 = \frac{4}{9} \frac{\tau^2}{L_1}$$

Активний опір фільтру на межі режимів роботи перехідного процесу $R_{\text{фін}} = 3 \cdot L_1 / \tau$.

Постійна часу $R_f C_f$ ланки

$$\tau_{\text{всн}} = C_{\text{фін}} \cdot R_{\text{фін}} = \frac{4}{3} \tau$$

При $C_f = C_{\text{фін}}$ величина напруги навантаження перевищує амплітуду лінійної напруги джерела приблизно на 30 %.

Комутаційні перенапруги практично відсутні при $C_f = 3 \div 4 C_{\text{фін}}$.

1. Мета роботи

- 1.1 Закріплення теоретичних знань по збудникам безконтактних синхронних машин (БСМ).
- 1.2 Освоєння методики розрахунку параметрів захисних ланок вентилів трифазних мостових випрямлячів БСМ в програмі Micro Cap.
- 1.3 Порівняння комутаційних перенапрут трифазних мостових випрямлячів БСМ в залежності від параметрів захисних ланок вентилів.

2. Програма роботи

- 2.1 Дослідити напруги моделі трифазного мостового випрямляча в перехідному режимі від холостого ходу до короткого замикання при різних параметрах захисних ланок вентилів.
- 2.2 Дослідити залежність величини амплітуди зворотного струму вентиля від величини струму навантаження.
- 2.3 Визначити час відновлення запираючих властивостей вентиля.
- 2.4 Зробити висновки по роботі.

3. Методичні вказівки

Програма Micro Cap знаходиться в файлі «mc9 р ЕМПЖ RCF D».

Робота має навчально-дослідний характер. Кожен студент має індивідуальне завдання. Окремим студентам можуть бути поставлені завдання по визначенню параметрів захисних ланок багатофазних керованих та некерованих випрямлячів з різними схемами перетворення.

Зверніть увагу на слідуючі (контрольні) питання.

- 1). Базові величини випрямляча в системі в.о.н.
- 2). Визначення параметрів захисних ланок вентилів трифазного мостового випрямляча.
- 3). Визначення частоти ЕРС обмотки якоря збудника при відомих величинах чисел пар полюсів синхронної машини та збудника.
- 4). Терміни: «допустима повторна напруга вентиля», «граничний струм вентиля», «час відновлення запираючих властивостей вентиля», «амплітуда зворотного струму через вентиль».
- 5). Визначення часу відновлення запираючих властивостей вентиля.

4. Дослідження моделі трифазного мостового діодного випрямляча в перехідних режимах роботи

4.2 Схема моделі випрямляча та параметри схеми показані на рис. 2.1.

Моделю випрямляча побудована на діода типу MR2510 D. Допустима повторна напруга вентиля $U_{Dn} = 1000$ В (клас вентиля 10). Граничний струм вентиля $I_{Dn} = 25$ А.

Всі досліджувані величини приводяться в системі в.о.н. випрямляча.

4.2 Напруги та струми випрямляча при різних параметрах захисної ланки

Досліджуємо модель випрямляча при короткому замиканні з режиму холостого ходу.

Величина амплітуди ЕРС джерела живлення приймається за умови: при $C_x = 0$ зворотна напруга на діоді в усіх режимах роботи випрямляча менше величини U_{Dn} .

На рис. 2.2 приведені діаграми напруг та струмів випрямляча без захисних ланок ($C_x = 0$):

- а) $A_1 = 55$ В, найбільша напруга на випрямлячі вища від допустимої повторної напруги;
- б) $A_1 = 42$ В, найбільша напруга на випрямлячі менша від допустимої повторної напруги.

На рис. 2.3 приведені діаграми напруг та струмів випрямляча при наявності захисних ланок ($k_{ср} = 3$, $k_{дв} = 0.6 \cdot k_{ср}$).

4.3 Визначення амплітуди зворотного струму та часу відновлення запираючих властивостей вентиля

На рис. 2.4 показані діаграми напруг та струмів випрямляча в перехідному режимі:

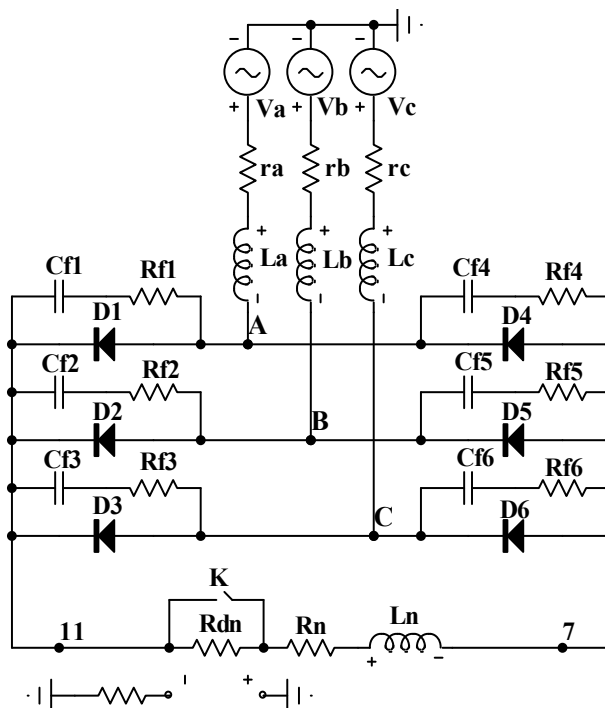
2.4,а – напруга та струм навантаження;

2.4,б – напруга та струм на вентилі D_1 ;

2.4,в – фрагмент рис. 2.4,б, час відновлення запираючих властивостей діода (τ_w) визначається по відрізку часу між двома точками: 1) $i_0 = 0$; 2) $i_0 = i_{0max} = I_0$.

На рис. 2.4,г діаграма струму i_{D1} – фрагмент діаграми на рис. 2.4,б. Амплітуда зворотного

струму через діод визначається по формулі: $I_0 = \frac{\sqrt{6}}{2} \cdot \frac{E}{L} \cdot \sin(\alpha + \gamma) \cdot \tau_w$.



Синхронна машина

```
.define Fc 50
.define p 2
```

Синхронний збудник

```
.define pw 16
```

Джерело живлення

```
.define Ai 42
.define Fi Fc*pw/p
.define alf (0)*pi/180
.MODEL 3PHASEA SIN (F=Fi A=Ai PH=alf)
.MODEL 3PHASEB SIN (F=Fi A=Ai PH=pi*4/3+alf)
.MODEL 3PHASEC SIN (F=Fi A=Ai PH=pi*2/3+alf)
.define zi 4
.define kr 0.
.define xi zi/sqrt(1+kr**2)
.define Lip xi/(2*pi*Fi)
.MODEL Li IND (L=Lip)
.define Rip kr*xi
.MODEL ri RES (R=Rip)
```

Діоди та захисні ланки

```
.MODEL MR2510 D (TT=5.8267u)
.define Udp 1000/Udo
.define tw 5.8267u
.define Cfmin (4/9)*(tw**2)/Lip
.define Rfpm sqrt(3)*tw/Cfmin
```

```
.define kcf 0
.define krf 0.6*kcf+0.01
.define Cfp kcf*Cfmin
.define Rfp Rfpm/krf
.MODEL Cf CAP (C=Cfp)
.MODEL Rf RES (R=Rfp)
```

Навантаження

```
.MODEL Rn RES (R=0)
.MODEL Ln IND (L=3)
.MODEL Rdn RES (R=0G)
```

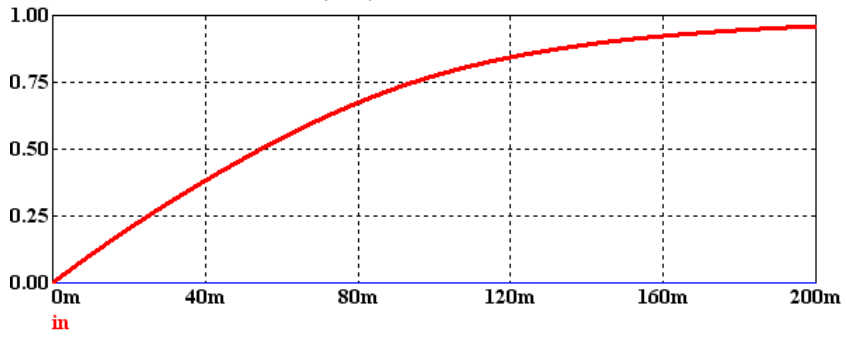
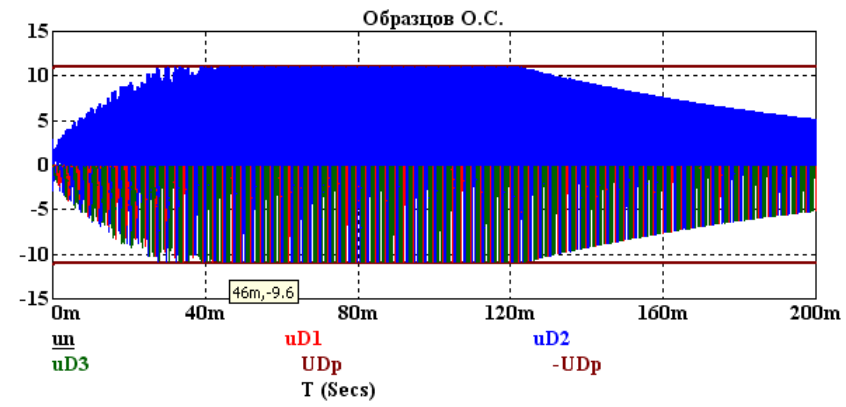
Базові величини

```
.define Udo 3*sqrt(3)*Ai/pi
.define Idk Ai/zi
```

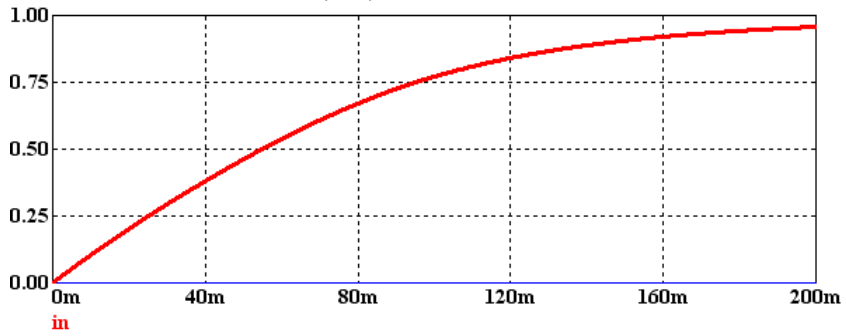
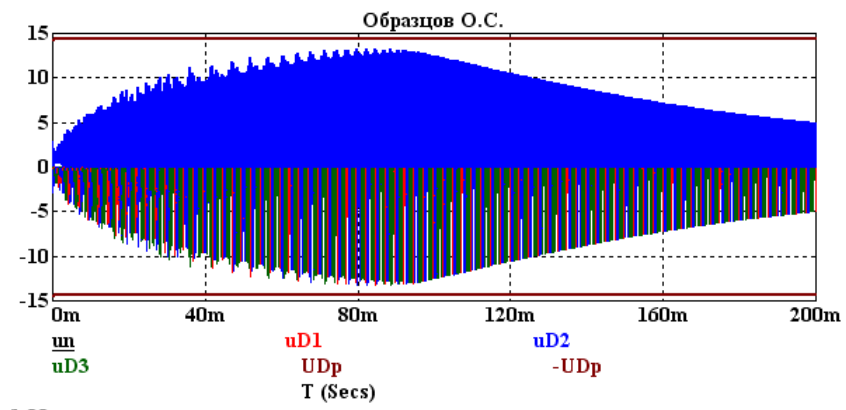
Величини в в.о.н.

```
.define ea v(Va)/Udo
.define eb v(Vb)/Udo
.define ec v(Vc)/Udo
.define ia i(Ra)/Idk
.define ib i(Rb)/Idk
.define ic i(Rc)/Idk
.define un V(11,7)/Udo
.define in i(Rn)/Idk
.define uD1 v(D1)/Udo
.define iD1 i(D1)/Idk
```

Рис. 2.1 – Схема трифазного мостового випрямляча, параметри схеми

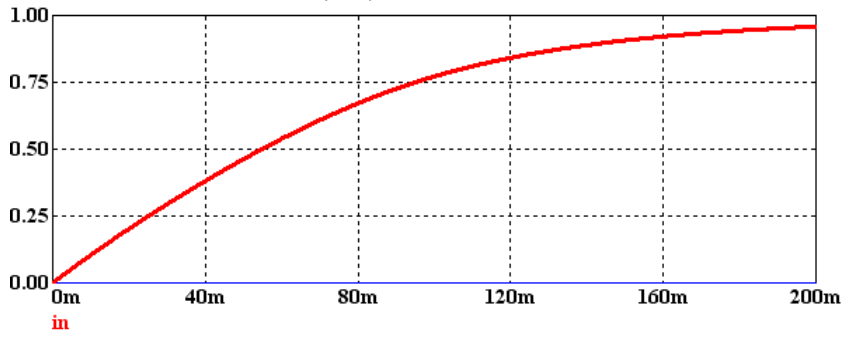
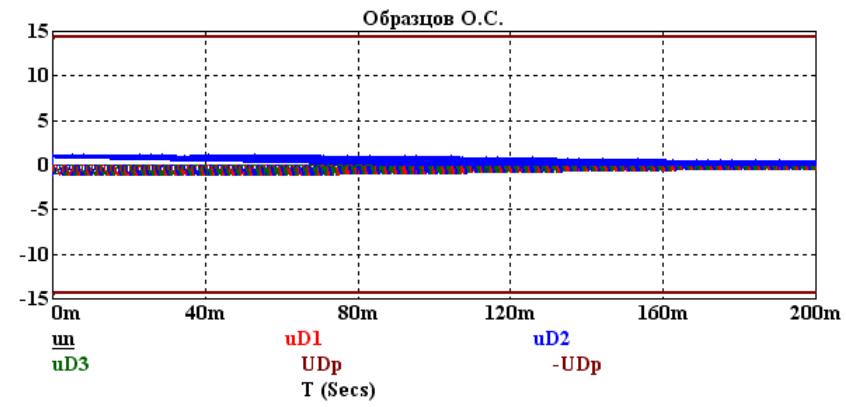


а

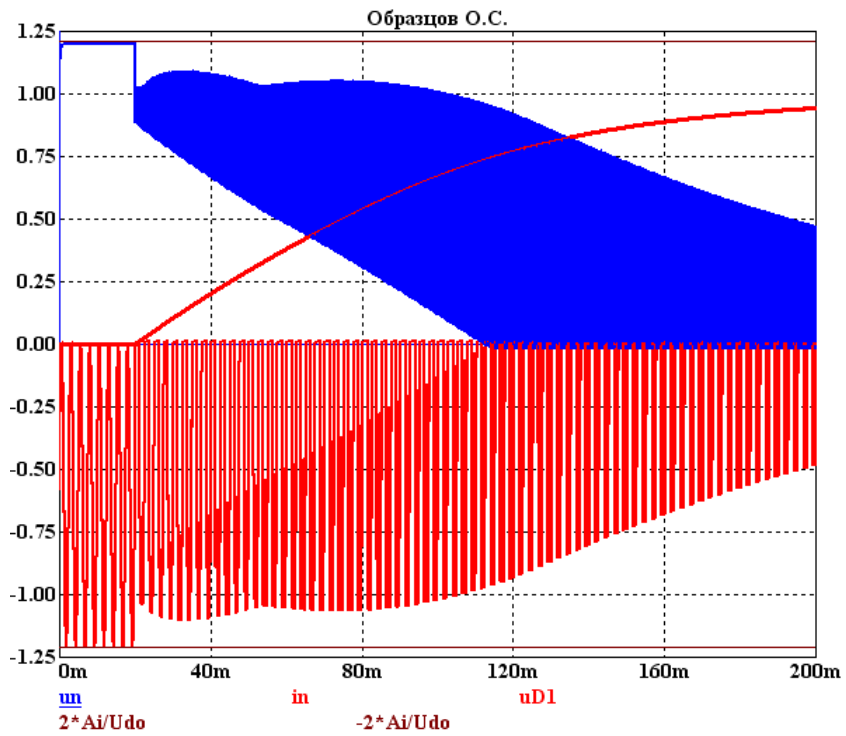


б

Рис. 2.2 – Напруги та струми випрямляча без захисних ланок



а



б

Рис. 2.3 – Напруги та струми випрямляча з захисними ланками

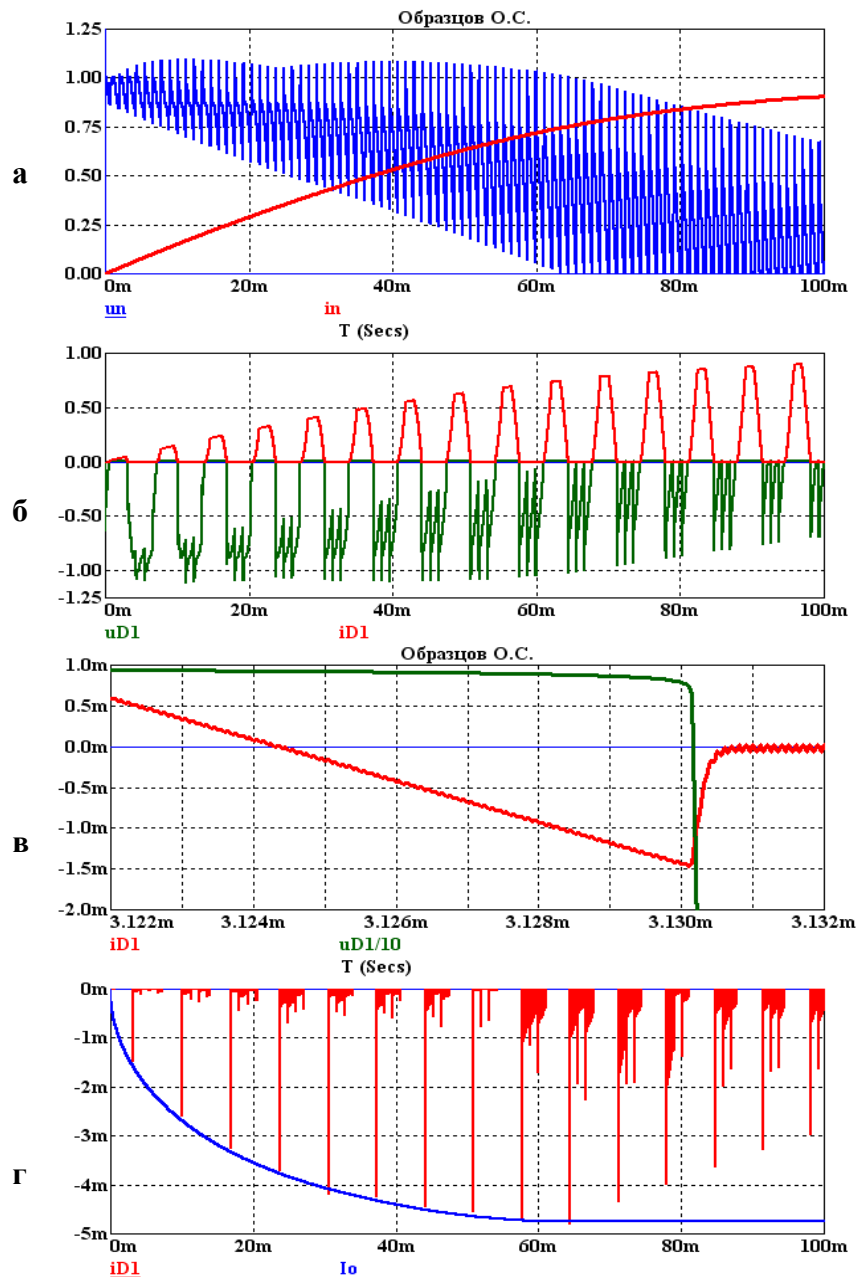


Рис. 2.4 – Визначення часу відновлення запираючих властивостей вентиля та амплітуди зворотного струму вентиля

Висновки (приклад)

1. При відсутності захисної ланки вентилів при $k_r = 0$ величина напруги навантаження u_{d*} найбільша при струмі $i_{d*} \approx 0,75$. Найбільша величина u_d приблизно в 15 разів більша напруги холостого ходу випрямляча.
2. При холостому ході випрямляча напруга навантаження рівна величині U_{d0} тільки за відсутності захисної ланки. При наявності захисної ланки напруга холостого ходу випрямляча рівна величині подвійної амплітуди напруги джерела живлення.
3. Час відновлення запираючих властивостей діода $\tau_w = 5,7 \cdot 10^{-6}$ сек = 5,7 нс.
4. Величини амплітуд зворотного струму вентиля, визначені по діаграмам струмів через діоди та по аналітичній формулі, практично співпадають.