

# **Устойчивость параллельной работы генераторов**

# Модель станция – шины бесконечной мощности

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} (P_m - P_G(V, \delta) - D\omega).$$

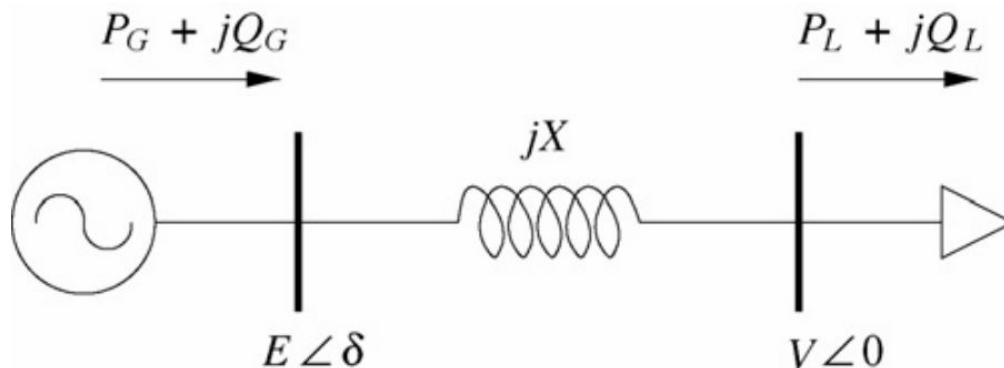
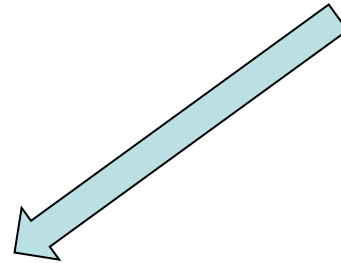


$$P_G(V, \delta) = \frac{EV}{X} \sin \delta$$

$$V \equiv const$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$



# Модель станция – шины бесконечной мощности

Всегда полезно соотносить анализируемые уравнения с обобщенной записью дифференциально-алгебраических уравнений ЭЭС.

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

Вместо **ДАУ** (дифференциально-алгебраических уравнений) используем **ДУ** (дифференциальные уравнения)

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = f(X, Y, C, u, t); \\ 0 = g(X, Y, C, u, t). \end{cases}$$
$$X(t_0) = X_0$$
$$Y(t_0) = Y_0$$

# Начальные значения переменных для инициализации уравнений динамики ЭЭС

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = f(X, Y, C, u, t); \\ 0 = g(X, Y, C, u, t). \end{cases}$$
$$X(t_0) = X_0$$
$$Y(t_0) = Y_0$$

Как правило, полагают, что  
в начальный момент  
времени **t=0** все  
производные уравнений  
пространства состояний  
равны нулю **dX0/dt=0**

В общем виде, для  
инициализации уравнений  
динамики необходимо  
решить следующую систему  
**АЛГЕБРАИЧЕСКИХ  
УРАВНЕНИЙ**

$$\begin{cases} 0 = f(X_0, Y_0, C_0, u_0, t_0); \\ 0 = g(X_0, Y_0, C_0, u_0, t_0). \end{cases}$$

## Начальные значения переменных для инициализации уравнений станция - ШБМ

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_0 = 0,$$

$$P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta_0 = 0.$$

$$\delta_0 = \arcsin \left( \frac{P_m X}{EV} \right).$$

**Зададим значения постоянных:**







**$M=0.1$ сек,  $D=0.1$ ,  $X=0.5$ о.е.,  $E=1$ о.е.,  $V=1$ о.е.,  $P_m=0.2$ о.е.**

**Для заданных значений постоянных получим:**

$$\delta_0=0.1001674, \omega_0=0.$$

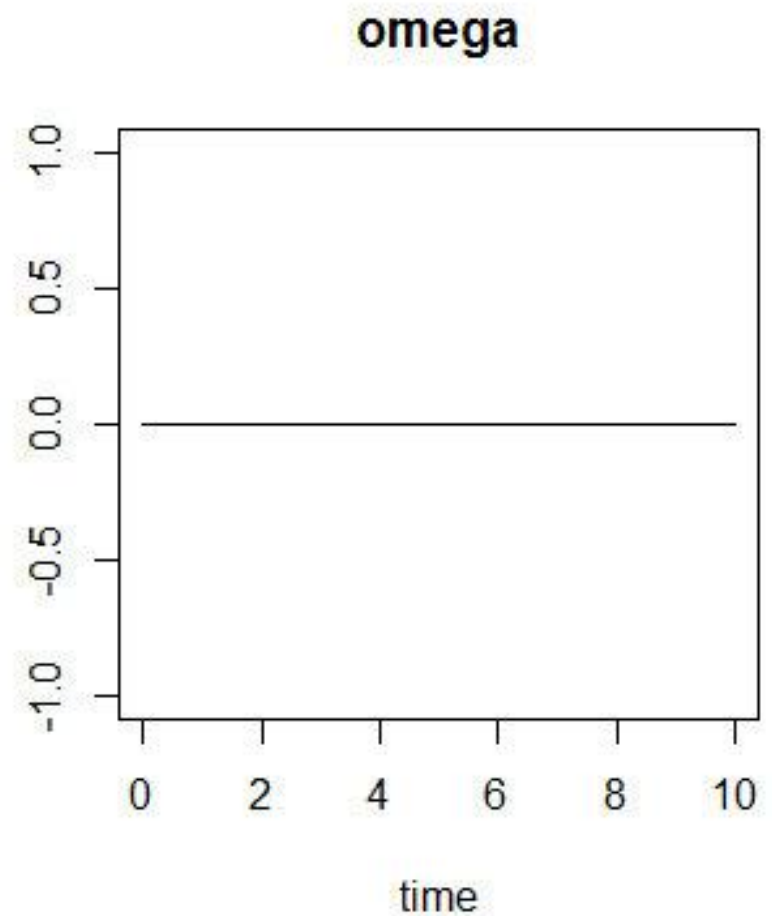
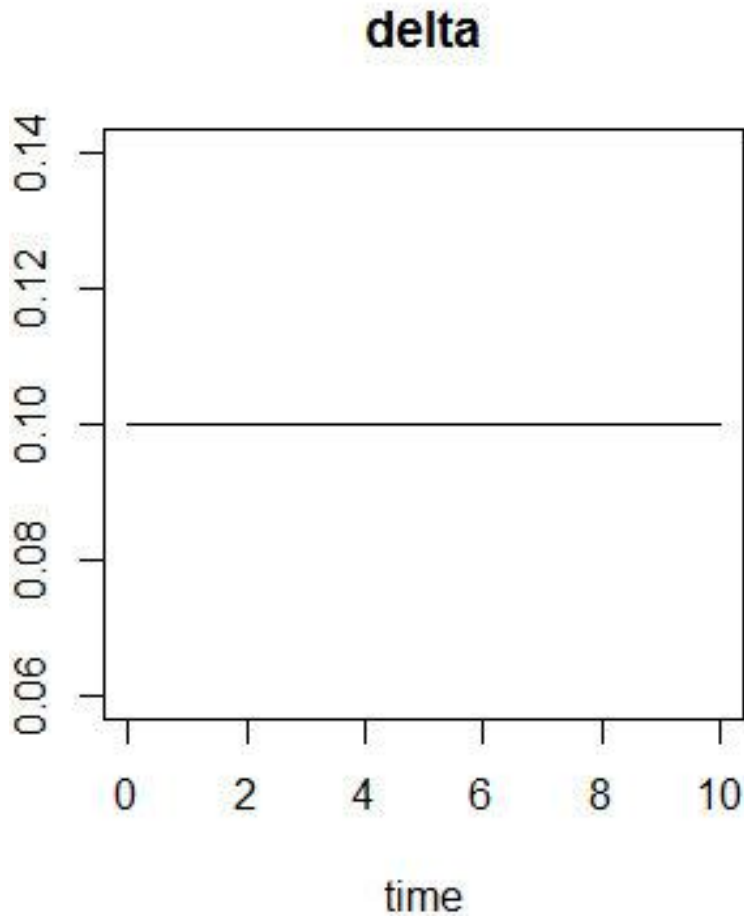
**Для рассматриваемого уравнения «станция – ШБМ» процедура поиска начальных значений является тривиальной задачей для ручного счета. Однако в общем случае поиск начальных значений является, пожалуй, самой сложной процедурой, так как требует решения системы нелинейных алгебраических уравнений.**

# Уравнение станция – ШБМ в среде RStudio

```
ParallelWorkSimple.R* × ParallelWork.R ×
← → |   Source on Save |   |   Run | 
1 #Устойчивость параллельной работы генераторов станция-ШБМ
2 #Исходные значения параметров:
3 M0=0.1; D0=0.1; X0=0.5; E0=1; Pm0=0.2; V0=1
4 parameters<-c(M=M0,D=D0,X=X0,E=E0,Pm=Pm0,V=V0)
5 #Инициализация уравнений (dx/dt=0)
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
8 #Переменные состояния
9 state<-c(delta=delta0,omega=omega0)
10 #Функция ОДУ
11 Parallel<-function(t,state,parameters){
12   with(as.list(c(state,parameters)),{
13     dDelta<-omega
14     dOmega<-1/M*(Pm-E*v*sin(delta)/X-D*omega)
15     list(c(dDelta,dOmega))
16   })
17 }
18 #Время исследования
19 times<-seq(0,10,by=0.01)
20 library(deSolve)#вызов библиотеки deSolve
21 #Решение системы уравнений
22 out<-ode(y=state,times=times,func=Parallel,parms=parameters)
23 #Печать результатов
24 plot(out)
```

# Уравнение станция – ШБМ в среде RStudio

- Решаем систему ДУ (Ctrl+Alt+R)



## Исследуемые возмущения

- Несбалансированные начальные условия.
- Коммутации (включение / отключении линии).
- Сброс / наброс мощности на турбине.
- Изменение возбуждения генератора.
- Короткое замыкание.



## Возмущение. Несбалансированные начальные условия.

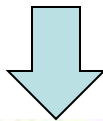
## Несбалансированные начальные условия???

$$dX_0/dt \neq 0$$

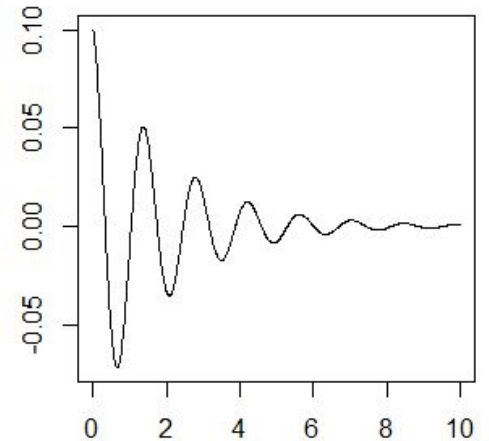
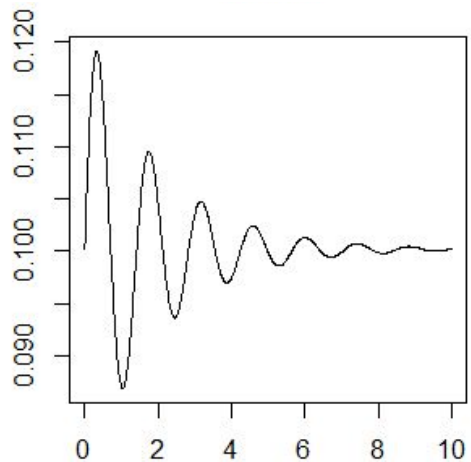
$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

```
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
```



```
6 omega0=0.1
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
```



**Возмущение. Коммутации.**

Коммутации???

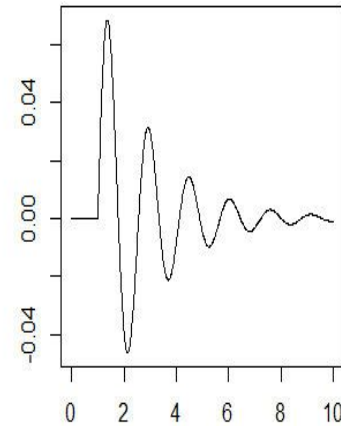
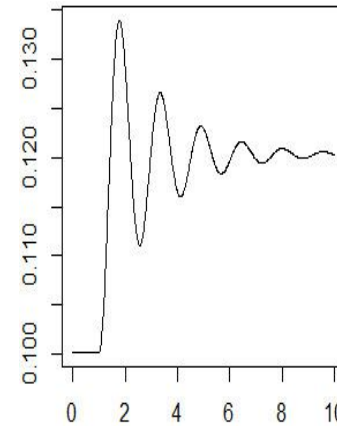
Изменение сопротивления  $X$  (станция - ШБМ)

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

# Изменение параметров в процессе моделирования

If(**УСЛОВИЕ**) { **ЧТО ДЕЛАЕМ** }

```
3 M0=0.1; D0=0.1; X0=0.5; E0=1; Pm0=0.2; V0=1
4 parameters<-c(M=M0,D=D0,X=X0,E=E0,Pm=Pm0,V=V0)
5 #инициализация уравнений (dx/dt=0)
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
8 #Переменные состояния
9 state<-c(delta=delta0,omega=omega0)
10 #Функция ОДУ
11 Parallel<-function(t,state,parameters){
12   with(as.list(c(state,parameters)),{
13     if (t>1) {
14       X=0.6
15     }
16     dDelta<-omega
17     dOmega<-1/M*(Pm-E*v*sin(delta)/X-D*omega)
18     list(c(dDelta,dOmega))
19   })
20 }
21 #Время исследования
22 times<-seq(0,10,by=0.01)
23 library(desolve)#вызов библиотеки desolve
24 #Решение системы уравнений
25 out<-ode(y=state,times=times,func=Parallel,parms=parameters)
26 #печать результатов
27 plot(out)
```



# Возмущение. Сброс / наброс мощности на турбине

Сброс / наброс мощности на турбине???

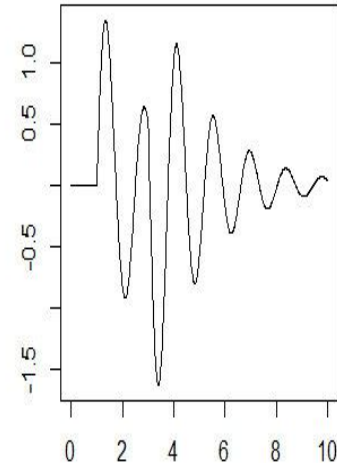
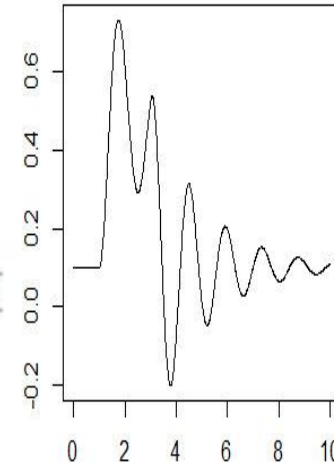
## Изменение $P_m$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

# Возмущение. Сброс / наброс мощности на турбине

```
3 M0=0.1; D0=0.1; X0=0.5; E0=1; Pm0=0.2; V0=1
4 parameters<-c(M=M0,D=D0,X=X0,E=E0,Pm=Pm0,V=V0)
5 #инициализация уравнений (dx/dt=0)
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
8 #Переменные состояния
9 state<-c(delta=delta0,omega=omega0)
10 #Функция ОДУ
11 Parallel<-function(t,state,parameters){
12   with(as.list(c(state,parameters)),{
13     if(t>1 & t<3){
14       Pm=0.9
15     }
16     dDelta<-omega
17     dOmega<-1/M*(Pm-E*v*sin(delta)/X-D*omega)
18     list(c(dDelta,dOmega))
19   })
20 }
21 #Время исследования
22 times<-seq(0,10,by=0.01)
23 library(deSolve)#Вызов библиотеки deSolve
24 #Решение системы уравнений
25 out<-ode(y=state,times=times,func=Parallel,parms=parameters)
26 #печать результатов
27 plot(out)
```



# Возмущение. Изменение возбуждения генератора

Изменение возбуждения генератора???

## Изменение E

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$

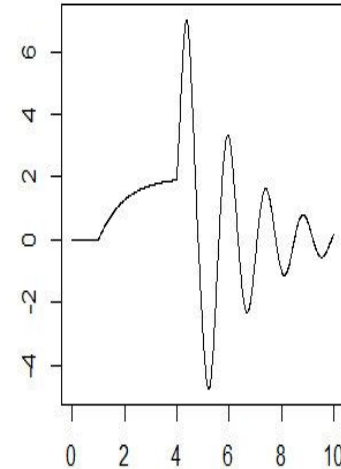
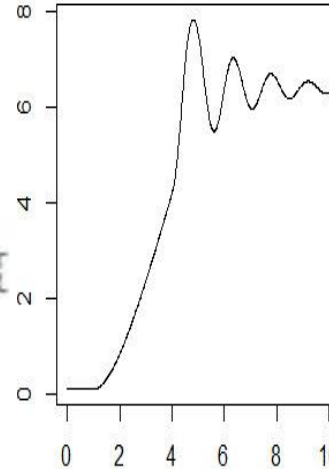
**Исследуем явление потери возбуждения генератором.**

**При потере возбуждения генератор выпадает из синхронизма и переходит в асинхронный режим**



# Возмущение. Временная потеря возбуждения.

```
3 M0=0.1; D0=0.1; X0=0.5; E0=1; Pm0=0.2; V0=1
4 parameters<-c(M=M0,D=D0,X=X0,E=E0,Pm=Pm0,V=V0)
5 #инициализация уравнений (dx/dt=0)
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
8 #Переменные состояния
9 state<-c(delta=delta0,omega=omega0)
10 #Функция ОДУ
11 Parallel<-function(t,state,parameters){
12   with(as.list(c(state,parameters)),{
13     if(t>1 & t<4){
14       E=0.0
15     }
16     dDelta<-omega
17     dOmega<-1/M*(Pm-E*v*sin(delta)/X-D*omega)
18     list(c(dDelta,dOmega))
19   })
20 }
21 #Время исследования
22 times<-seq(0,10,by=0.01)
23 library(deSolve)#вызов библиотеки deSolve
24 #Решение системы уравнений
25 out<-ode(y=state,times=times,func=Parallel,parms=parameters)
26 #печать результатов
27 plot(out)
```



# Возмущение. Короткое замыкание

Короткое замыкание??? Чем характеризуется КЗ???

## Изменение $V$ приемной системы

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} \left( P_m - \frac{EV}{X} \sin \delta - D\omega \right).$$



# Возмущение. Короткое замыкание

```
3 M0=0.1; D0=0.1; X0=0.5; E0=1; Pm0=0.2; V0=1
4 parameters<-c(M=M0,D=D0,X=X0,E=E0,Pm=Pm0,V=V0)
5 #Инициализация уравнений (dx/dt=0)
6 omega0=0
7 delta0=asin(Pm0*X0/E0/V0)
8 #Переменные состояния
9 state<-c(delta=delta0,omega=omega0)
10 #Функция ОДУ
11 Parallel<-function(t,state,parameters){
12   with(as.list(c(state,parameters)),{
13     if(t>1 & t<4){
14       V=0.1
15     }
16     dDelta<-omega
17     dOmega<-1/M*(Pm-E*V*sin(delta)/X-D*omega)
18     list(c(dDelta,dOmega))
19   })
20 }
21 #Время исследования
22 times<-seq(0,10,by=0.01)
23 library(deSolve)#Вызов библиотеки deSolve
24 #Решение системы уравнений
25 out<-ode(y=state,times=times,func=Parallel,parms=parameters)
26 #Печать результатов
27 plot(out)
```

