

Mobile Communication

CHƯƠNG 3 KỸ THUẬT LƯU LƯỢNG TRONG THÔNG TIN DI ĐỘNG

TS. TRẦN QUANG VINH

Lý thuyết lưu lượng

▪ Traffic:

- Là thông tin (người sử dụng/báo hiệu) mang trên các kênh truyền dẫn
- Phụ thuộc vào loại lưu lượng trong mạng
 - Lưu lượng đồng nhất (homogeneous traffic)
 - Lưu lượng không đồng nhất (heterogeneous traffic)

▪ Mật độ lưu lượng

- Phụ thuộc vào các quá trình ngẫu nhiên trong hệ thống
 - Average connection duration
 - Average number of users
 - Busy time
 - Service time
 - Call arrival

Kỹ thuật lưu lượng

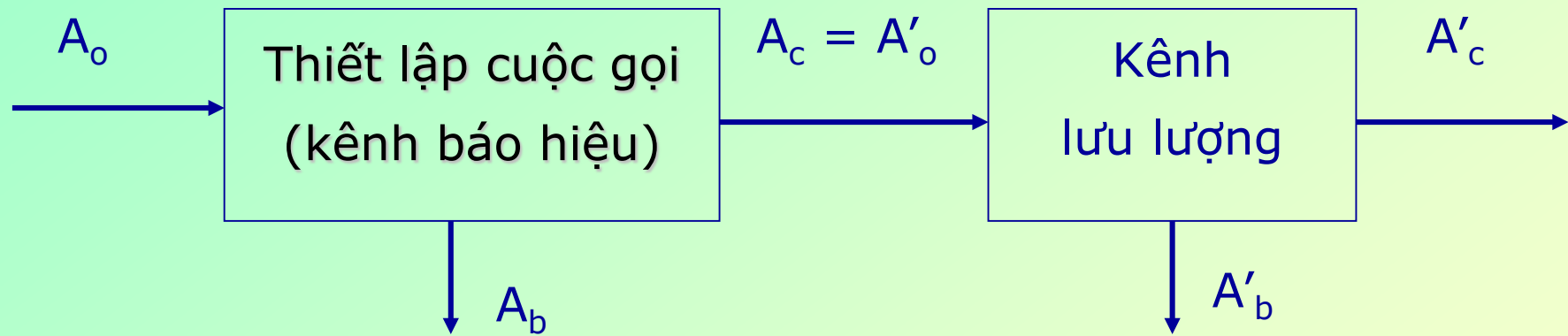
- Kỹ thuật lưu lượng thực hiện việc cân bằng các yếu tố sau trên cơ sở lưu lượng lưu lượng
 - Cấp dịch vụ GOS (Grade of Service)
 - Tài nguyên mạng (e.g. số kênh trung kế)
- **Blocking**
 - Thoại hoặc dữ liệu bị chặn (by a busy signal) nếu hết tài nguyên mạng (e.g trunk channel), tài nguyên mạng không khả dụng
 - GOS = xác suất chặn (Blocking probability)
- **Delay System**
 - Voice or data is queued until network resource is available
 - GOS = Queueing Probability and average time in queue

Các loại lưu lượng

- Mật độ lưu lượng - Traffic Density
 - Số cuộc gọi thực hiện đồng thời trong một khoảng t/g xác định
- Cường độ lưu lượng - Traffic Intensity
 - Mật độ lưu lượng trung bình (chiếm dụng) trong một giờ
- Chiếm kênh – occupancy
 - Sự sử dụng tài nguyên bất kể có kết nối (cuộc gọi) hay không
- Lưu lượng yêu cầu A_o - Offered traffic
 - Tổng lưu lượng đến cần được xử lý
- Lưu lượng thực hiện A_c - Carried traffic
 - Cường độ lưu lượng thực tế được xử lý
- Lưu lượng nghẽn A_b - Blocked traffic
 - Phần lưu lượng không được xử lý
 - (offered traffic - carried traffic)
 - Blocked traffic có thể bị từ chối, thử lại hoặc cung cấp cho nhóm các chuyển mạch khác (overflow)

Các loại lưu lượng

- Quan hệ giữa các loại lưu lượng



Cường độ lưu lượng - **Traffic intensity**

- **Holding Time** – khoảng thời gian tài nguyên bị chiếm (e.g thời gian thực hiện 1 cuộc gọi)
- **Traffic volume** – tổng các lưu lượng bị chiếm trong một khoảng thời gian (thường tính trong 24 giờ)
- **Traffic intensity** = traffic volume / time interval which is a measure of demand
- **Erlangs** – đơn vị đo cường độ lưu lượng: số giờ tài nguyên bị chiếm trên số giờ trôi qua
 - **CCS (Centum Call Seconds)** – tương tự như cường độ Erlangs nhưng thể hiện số 100 giây tài nguyên bị chiếm trong 1 giờ.
 - $CCS = 36 \times \text{Erlangs}$

Đơn vị đo lưu lượng

■ Erlangs:

Cường độ lưu lượng: số trung bình các cuộc gọi đồng thời trong một khoảng thời gian nhất định

– Erlang: là đơn vị không có thứ nguyên

- 1 giờ liên tục chiếm dụng 1 kênh = 1 Erlang
- 1 Erlang = 1 hour (60 minutes) of traffic
- 1 Erl = 1 cuộc gọi liên tục trong 1h, hoặc 2 cuộc gọi trung bình 30p trong 1h
- 0.5 Erl = 1 kênh vô tuyến bị chiếm dụng 30p trong 1 giờ
- 10 Erl = 300 cuộc gọi, mỗi cuộc trung bình 2p trong 1 giờ

– In data communications

- an 1 E = 64 kbps of data

– In telephone

- 1 Erlang = 60 mins = 1 x 3600 call seconds



A.K. Erlang, 1878-1929

Ví dụ

- Một nhóm người sử dụng thực hiện 30 cuộc gọi trong một giờ, mỗi cuộc gọi có thời gian gọi trung bình 5 phút, Erlangs được tính:

Minutes of traffic in the hour = number of calls x duration

Số phút lưu lượng trong 1 giờ = $30 \times 5 = 150$

Số giờ lưu lượng trong 1 giờ = $150 / 60 = 2.5$

Lưu lượng = 2.5 Erlangs

QoS

- Chất lượng dịch vụ QoS:
 - Lưu lượng bị ngẽn, bị chặn
 - Xác suất phải chờ trước khi 1 cuộc gọi được kết nối
 - C/I
 - Tỷ lệ cuộc gọi bị hủy (dropped)
 - Tỷ lệ chuyển giao không thành công
 - Tỷ lệ cuộc gọi thành công,....

Các yếu tố ảnh hưởng đến QoS

- **Vùng phủ (Coverage):** cường độ tín hiệu đo được dùng để ước lượng kích thước cell
- **Khả năng truy nhập (accessibility):** khả năng mạng thực hiện thành công cuộc gọi từ mobile-to-fixed networks and from mobile-to-mobile networks
 - Thời gian kết nối của cuộc gọi trong vài chục giây hoặc phút
 - Truyền gói hoặc dịch vụ đo bằng mili giây hoặc thậm chí micro giây
- **Chất lượng thoại (audio quality)**

Cấp dịch vụ GOS

■ GOS

- Là cơ chế để kiểm soát hiệu suất, độ tin cậy và khả năng sử dụng của một dịch vụ viễn thông
- Là thông số đánh giá xác suất lưu lượng nghẽn (A_b) đối với một số kênh xác định (**Số cuộc gọi bị mất / Số cuộc gọi cung cấp**)

$$GoS = A_b / A_o$$

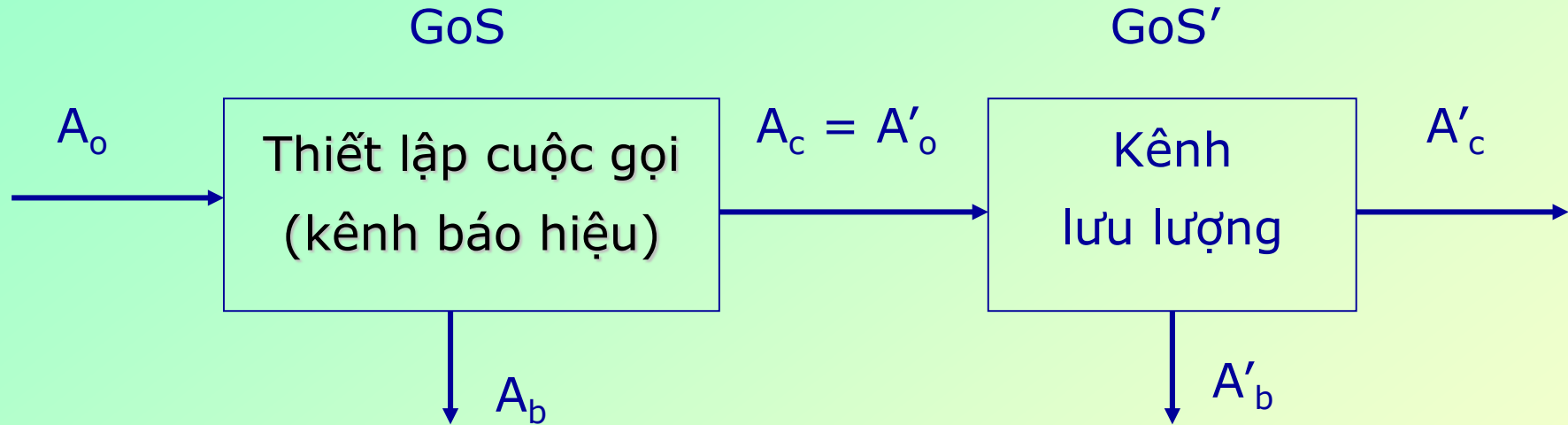
- Quan hệ giữa lưu lượng và cấp dịch vụ GoS:

$$A_b = GoS * A_o$$

$$A_c = (1 - GoS) * A_o$$

- Với hệ thống TTDĐ, $GOS_{\text{acceptable}} = 0.02$
 - Trong giờ bận, 2 trong số 100 người dùng sẽ bị từ chối
- GOS được tính bằng công thức **Erlang-B**
 - Là hàm của số kênh yêu cầu đối với cường độ lưu lượng cung cấp
- Cần có sự trade-off giữa QoS và việc sử dụng kênh

Quan hệ giữa lưu lượng và GoS



$$A'_c = f(A_o) = ?$$

$$A'_c = (1 - \text{GoS}')A'_o = (1 - \text{GoS}') * (1 - \text{GoS}) * A_o$$

Tính cường độ lưu lượng

Cường độ lưu lượng tạo ra bởi mỗi người dùng là:

$$A = \mu H \quad \text{Erlangs}$$

Trong đó

H thời gian trung bình 1 cuộc gọi

μ số trung bình cuộc gọi yêu cầu / giờ

Nếu số người dùng là U , số kênh không xác định:

Tổng lưu lượng tạo ra là:

$$A_T = UA \quad \text{Erlangs}$$

Busy hours traffic: Calls/busy hours *Mean call hold time

Tính cường độ lưu lượng

Trong hệ thống trung kế C kênh, phân bố lưu lượng bằng nhau giữa các kênh, **cường độ lưu lượng trên mỗi kênh** là:

$$A_c = UA / C \quad \text{Erlangs/channels}$$

The traffic volume

is a measure of the total work done by a resource or facility, normally over 24 hours

$$V_T = A * T \quad \text{Erlangs-Hours}$$

Lưu lượng yêu cầu - Offered traffic

Offered traffic = carried traffic + overflow

- **Carried traffic:** lưu lượng thực tế được chuyển đi
- **Overflow (blocked) traffic:** Phần lưu lượng không được xử lý

■ Busy Hour Call Attempts (BHCA)

- Được sử dụng để đánh giá năng lực và lập kế hoạch về dung lượng cho các mạng điện thoại
- Là số lượng cuộc gọi điện thoại vào giờ cao điểm
- BHCA càng cao, tải càng cao trên hệ thống
- Khác với Busy Hour Call Completion (BHCC):
 - đo đặc thông lượng thực tế của mạng

Example I

Một cuộc gọi được thiết lập lúc 1am giữa MS và MSC. Giả thiết một kết nối liên tục và truyền dữ liệu với data transfer rate at 30 kbit/s, xác định cường độ lưu lượng nếu cuộc gọi kết thúc lúc 1.50am.

Solution:

Traffic intensity = $(1 \text{ call}) \times (50 \text{ mins}) \times (1 \text{ hour} / 60 \text{ min}) = 0.833 \text{ Er}$

Note, traffic intensity has nothing to do with the data rate, only the holding time is taken into account.

Example II

- Consider a PSTN which receives 240 calls/hr. Each call lasts an average of 5 minutes. What is the outgoing traffic intensity to the public network.

Solution

$$A = \mu * H$$

$$\mu = 240 \text{ calls/hr and } H = 5 \text{ minutes}$$

$$A = (240 \text{ calls /hr}) \times (5 \text{ min/call}) = 1200 \text{ min/hr}$$

Erlang cannot have any unit so

$$A = 1200 \text{ min/hr} * (1 \text{ hour}/60 \text{ minutes}) = 20 \text{ Erlangs}$$

Example III

- Tính cường độ lưu lượng cho một hệ thống nếu 60 cuộc gọi nhận được trong 1 giờ, mỗi cuộc gọi kéo dài 5 phút.

Solution

$$A = \mu * H$$

$$\mu = 60 \text{ calls/hr and } H = 5 \text{ minutes}$$

$$A = (60 \text{ calls /hr}) \times (5 \text{ min/call}) = 300 \text{ min/hr}$$

Erlang cannot have any unit so

$$A = 300 \text{ min/hr} * (1 \text{ hour/60 minutes}) = 5 \text{ Erlangs}$$

Example IV

- Một hệ thống có 120 cuộc gọi đi mỗi cuộc gọi 2 phút và 200 cuộc gọi đến mỗi cuộc gọi 3 phút. Tính lưu lượng đi, lưu lượng đến và tổng lưu lượng

Solution

Incoming traffic, $A_{in} = 200 \text{ calls} * 3 \text{ min} / 60 \text{ min} = 10 \text{ Erl}$

Outgoing traffic, $A_{out} = 120 \text{ calls} * 2 \text{ min} / 60 \text{ min} = 4 \text{ Erl}$

Total traffic = $A_{in} + A_{out} = 14 \text{ Erl}$

Loss and Delay Systems

- Hệ thống tổn thất - A Loss System

- is one in which a call attempt is rejected when there is no idle resource to serve the call. (GSM system)
 - Blocked calls...cuộc gọi bị nghẽn
 - Resource = signalling channels + traffic channels

- Hệ thống trễ - A Delay System

- is one in which call attempts are held in a waiting queue until resource are available to serve the calls.
 - Delayed calls...

Mô hình Erlang B

- Mô hình Erlang B
 - Là mô hình hệ thống thông tin theo kiểu tổn thất
 - Sử dụng để tính toán dung lượng GSM
- Bảng Erlang B: Quan hệ giữa 3 đại lượng:
 - Số kênh được sử dụng C
 - Cấp dịch vụ GoS
 - Lưu lượng yêu cầu A_0
- Khi biết 2 thông số \rightarrow tra cứu thông số thứ 3

Mô hình lưu lượng khác

- **Erlang C Formula:**

- Blocked calls delayed or held in queue indefinitely

- **Poisson Formula:**

- Blocked calls held in queue for a limited time only.

Chất lượng dịch vụ

- Chất lượng dịch vụ (QoS) được biểu diễn qua khái niệm xác suất bị chặn (blocking):

$$P_B = (A \cdot C)$$

Where

B = Erlang – B Formula

A = The traffic intensity

C = Number of channels (lines)

Probability of Blocking P_B

- Lost Calls Cleared:

- Giả thiết các cuộc gọi bị chặn sẽ bị xóa khỏi hệ thống.

- Giả thiết này phù hợp với hệ thống cho phép chuyển cuộc gọi bị chặn sang kênh trung kế khác

Lưu lượng yêu cầu $A_o = \text{Lưu lượng đáp ứng } A_C / (1 - P_B)$

- Lost Calls Returning

- Giả thiết các cuộc gọi bị chặn sẽ được thử lại cho đến khi thành công

- Phù hợp với các hệ thống PBXs and corporate tie lines.

Lưu lượng yêu cầu $A_o > \text{or} = \text{Lưu lượng đáp ứng } A_C$

Probability of Blocking P_B

- Lost Calls Cleared
- Also known as the Erlang-B formula given by:

$$P_B(C, A) = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

where

A : cường độ lưu lượng

C : số lượng kênh sử dụng

Giải bằng phương pháp hồi quy:

$$P_B(0, A) = 1$$

$$P_B(C, A) = \frac{AP_B(C-1, A)}{C + AP_B(C-1, A)}$$

Probability of Blocking P_B - *contd.*

- Lưu lượng đáp ứng: $A_c = A_0 [1 - P_B]$
- Hiệu suất sử dụng kênh:
 - tỷ số giữa lưu lượng đáp ứng và số kênh được sử dụng

$$\eta = \frac{A_c}{C} (\%)$$

- Ví dụ:

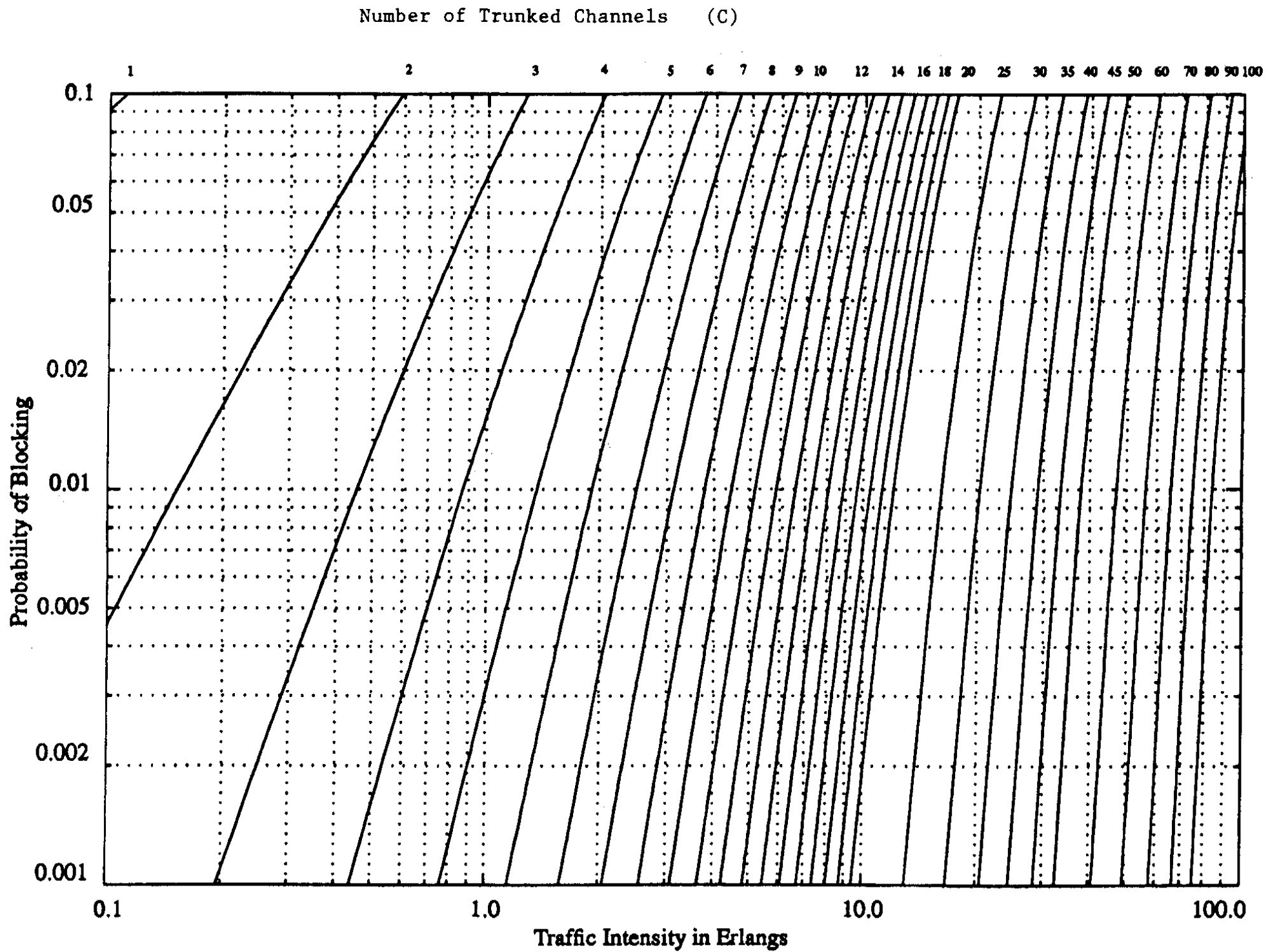
$C = 6$, $\text{GoS} = 2\%$; $A_c = 2,2304$ (Erl) $\rightarrow \eta = A_c / C = 2,2304/6 = 37\%$

$\eta = ?$ Khi $\text{GoS} = 10\%$: $\eta = A_c / N = 3,3826 \cdot 100/6 = 56\%$

- Nhận xét:

Erlang B Table

Number of channels C	Traffic Intensity (Erlangs)			
	QoS=0.01	QoS= 0.005	QoS= 0.002	Qos= 0.001
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.9	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13	12.2
40	29	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2



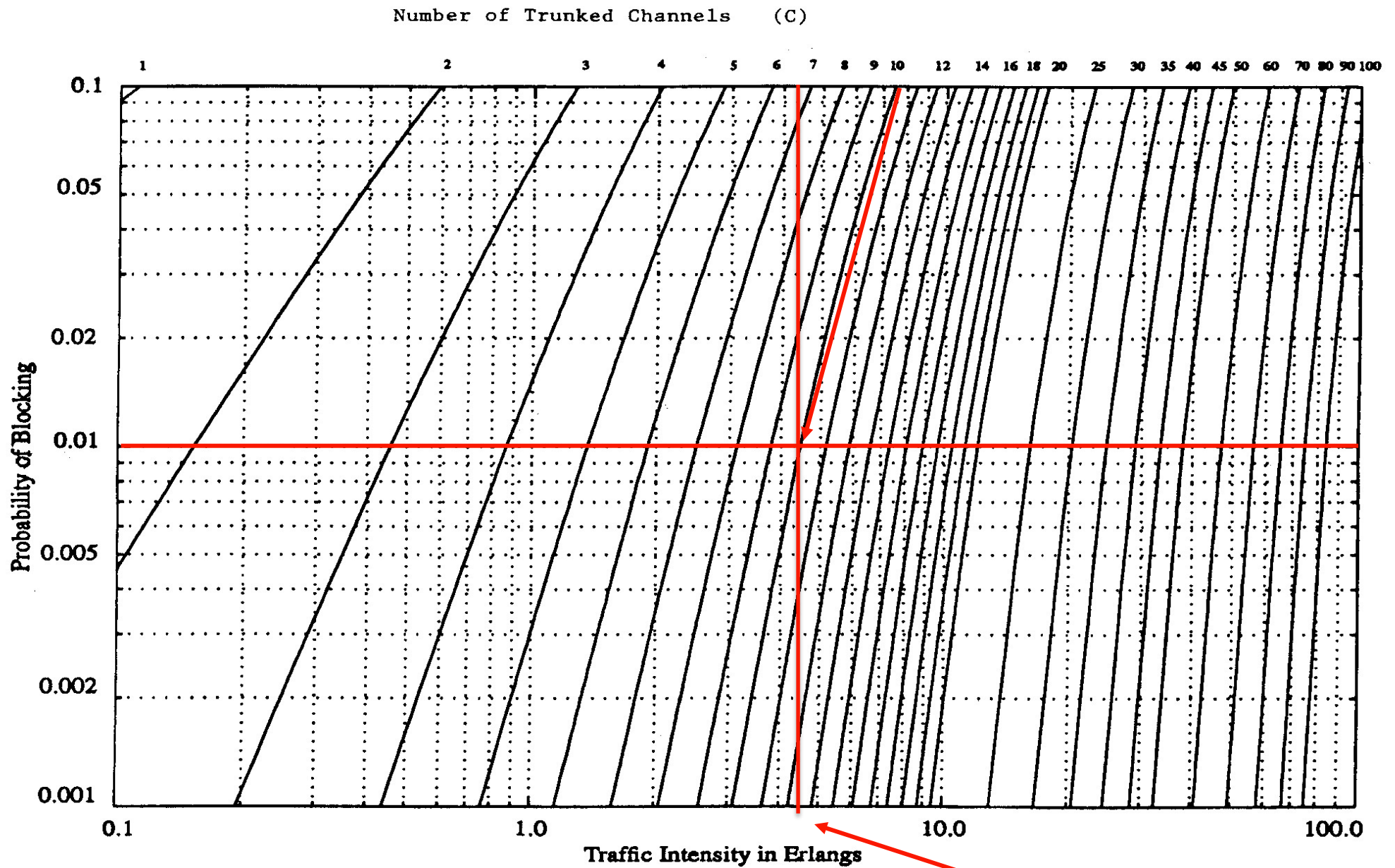
The Erlang B chart showing the probability of blocking as functions of the number of channels and traffic intensity in Erlangs.

Example V

A single GSM service provider support 10 digital speech channels. Assume the probability of blocking is 1.0%.

- From the Erlang B chart find the traffic intensity.
- How many 3 minutes of calls does this represent?

Solution:



From the Erlang B Chart the traffic intensity = ~5 Erlangs

$$A_t = \mu H$$

$$\mu = A_t / H = 5 / (3 \text{ mins} / 60) = 100 \text{ calls}$$

Example VI

- A telephone switching board can handle 120 phones. Assuming:
 - On average 5 calls/hour per phone,
 - Average call duration time = 4 minutes,
 - 60% of all calls made are external.
 - GoS = 0.9%

Determine the outgoing traffic intensity and The number of channels.

Solution:

$$A_T = U \cdot \mu \cdot H$$

$$\mu \cdot U = (120 \text{ call} \cdot 5 \text{ calls/hour}) \cdot 60\% = 360 \text{ call/hour}$$

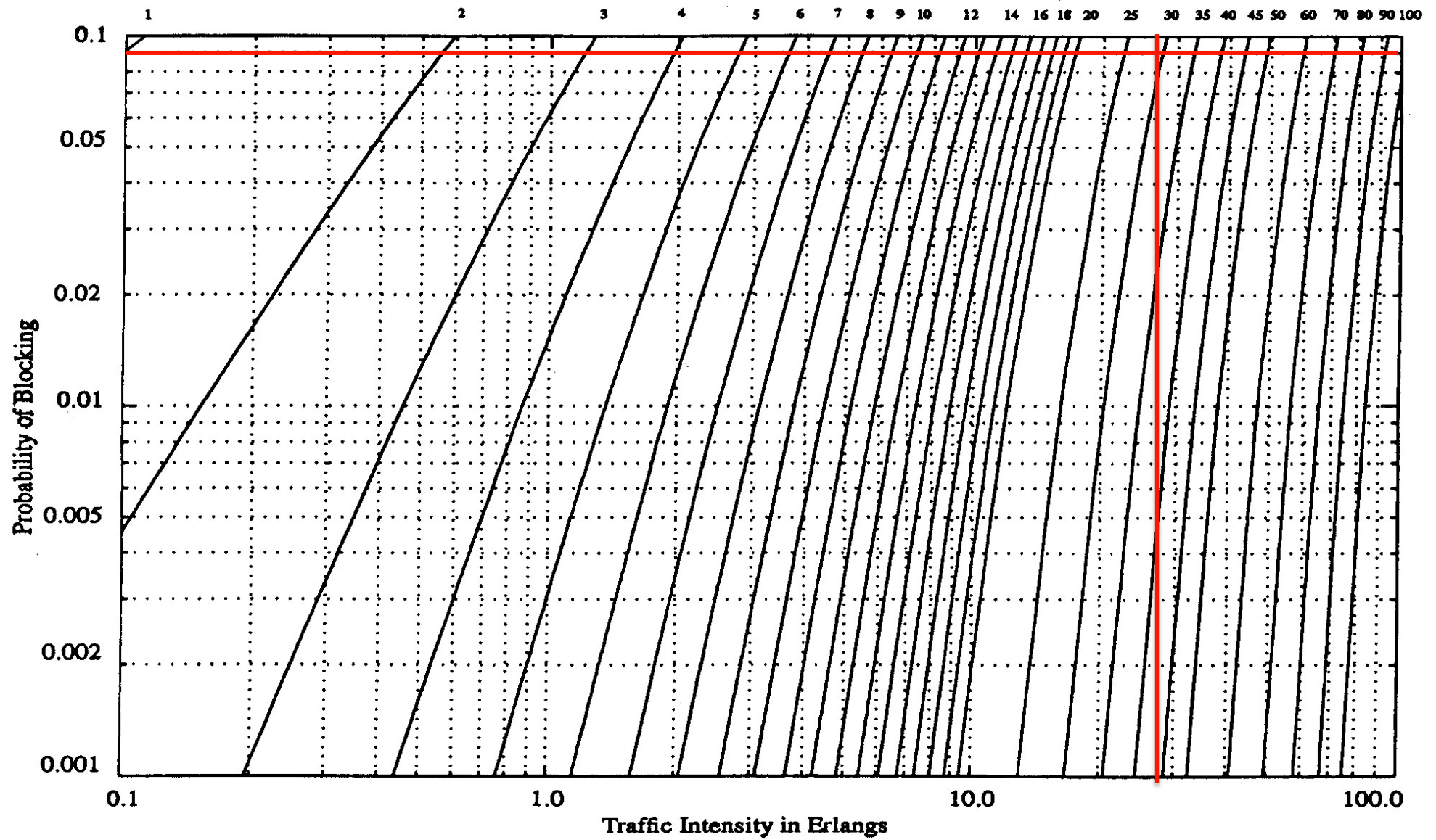
$$H = 4 \text{ mins/call}$$

$$\text{Therefore } A_T = 360 \cdot 4 \cdot (1 \text{ hour}/60 \text{ mins}) = 24 \text{ Erlangs.}$$

Thus 24 hours of circuit talk time is required for every hour of elapsed time

-No. of channels C from Erlang B chart = ~ 27

Number of Trunked Channels (C)



Example VII

- Consider a telephone switched board with 120 phones. Assuming the number of call is 3/hour/line, the average call duration is 4 minutes, and 55 % of all call are made external via a T-1 trunk (24 channels) to the PSTN. Determine carried traffic and channel usage.

Solution:

- Offered traffic $A = \mu \times H = (120 \text{ phones} \times 3 \text{ calls/hr} \times 55\%) \times (4 \text{ mins./call}) \times (1 \text{ hour}/60 \text{ mins.}) = 17.4 \text{ Erlangs}$
 - Blocking Probability P_B , $C = 24$ and $A = 17.4$, therefore from the Erlang B Chart or formula $P_B = 0.03$
 - Carried Traffic, $A_{ca} = A (1 - P_B) = 17.4 (1 - 0.03) = 16.9 \text{ Erlangs}$
 - Channel usage $\eta = A_{ca} / C = 16.9/24 = 0.7$ or 70%
- Note: 16.9 Erlangs of traffic attempts to go across the T1 trunk and 0.5 Erlang is blocked.

Example VIII

- 1200 cuộc gọi được yêu cầu đến 1 kênh và 6 cuộc gọi bị mất. Trong khoảng thời gian của 1 cuộc gọi 3 phút, tính:
 - a) Lưu lượng yêu cầu, A
 - b) Lưu lượng được phục vụ (carried traffic),
 - c) Lưu lượng bị mất
 - d) GOS, P_b
 - e) Congestion time

Solution:

- Offered traffic $A = \mu \times H = (1200 \text{ call} \times 3 \text{ min} / 60 \text{ min}) = 60 \text{ Erlangs}$
- Carried Traffic, $A_{ca} = [(1200-6) \times 3] / 60 = 59.7 \text{ Erlangs}$
- Lost traffic = $(6 \times 3) / 60 = 0.3 \text{ Erlangs}$
- $P_b = \text{Lost traffic} / \text{Offered traffic} = 6 / 1200 = 0.3 / 60 = 0.005$
- Congestion time = $P_b \times 1 \text{ hours (seconds)} = 0.005 \times 60 \times 60 = 18 \text{ (sec)}$

Hiệu suất

■ Hiệu quả sử dụng phổ (Spectrum Efficiency)

- là thước đo mức độ hiệu quả việc sử dụng tần số, thời gian và không gian:

$$\eta_{se} = \frac{\text{Traffic (Erlang)}}{\text{Bandwidth} \times \text{Area}}$$
$$= \frac{\text{No. of channels/cell} \times \text{Offered traffic/channel}}{\text{Bandwidth} \times \text{CellArea}} \quad \left(\frac{\text{Erlang}}{\text{kHz} \cdot \text{km}^2} \right)$$

– Phụ thuộc:

- Số kênh yêu cầu trên mỗi cell
- Kích thước Cluster

■ Hiệu quả sử dụng trunking (Trunking efficiency)

- Đo lường số lượng thuê bao mà mỗi kênh trong mỗi cell có thể mang

- As we know radio frequency resource is very vital in wireless communication system. Hence RF frequencies should be maximally utilized. Following are the methods used to improve the spectrum utilization.
 - Cell planning
 - Frequency reuse
 - channel assignment
 - multiple access techniques

- In general spectral efficiency depends upon following parameters.
 - Channel spacing in KHz • frequency reuse factor • cell area in Km² • Modulation techniques
 - Multiple Access techniques of types

$$\text{Spectral Efficiency (Erlangs/MHz/Km}^2\text{)} = \frac{\text{Total data traffic carred by communication system}}{\text{System bandwidth x Coverage area}}$$

OR

$$\text{Spectral Efficiency (channels/MHz/Km}^2\text{)} = \frac{\text{Total data channels in communication system}}{\text{System bandwidth x Coverage area}}$$

Homework 1

- A GSM system has the following specifications:
 - One way system bandwidth = 12 MHz
 - The channel spacing = 180 kHz
 - Each channel is allocated for 9 users
 - Three channels per cell are allocated for control channels
 - Omidirectional receiver
 - Cell radius = 1.7 km, and the total coverage area is 4000 km².
 - Average number of calls /user = 1.2, and the average holding time of a call is 100s.
 - Call blocking probability is 3%.
 - Frequency reuse factor = 0.25.
- Calculate total number of cells
- Calculate the spectral efficiency

Homework 2

- Consider a cellular system with the following data:
 - Average call duration: 2.5 mins.,
 - Probability of blocking: 1%,
 - Average number of call per subscriber: 1 call/hour
 - No of traffic channel: 400 for a 7-cell reuse system

Calculate the number of calls per hour, If 120 degree sectoring per cell has been adopted, then determine the total calls per hour.