동 기 이 론
(Synchronization Theory)

Contents

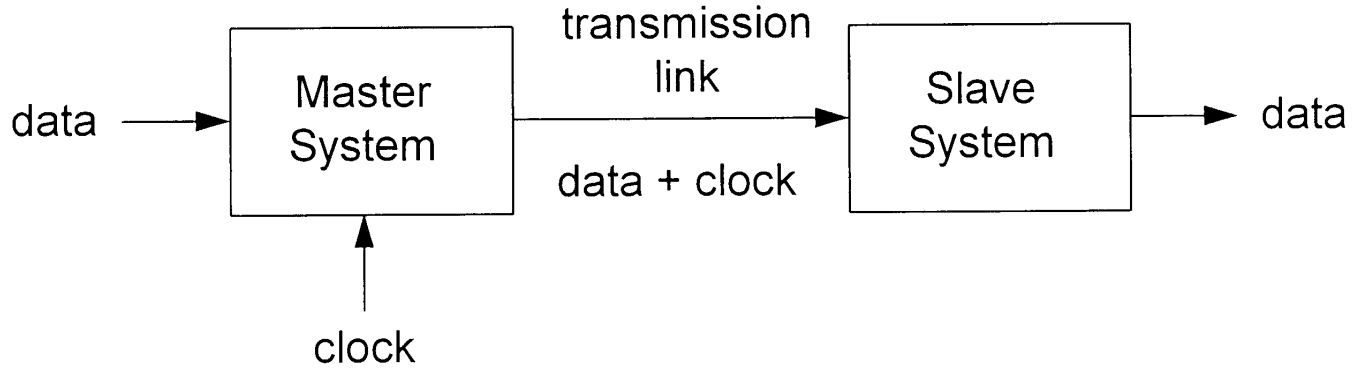
동기가 왜 필요한가?

- 내 친구 '동기'는 항상 15분에 한 대씩 있는 100번 버스를 이용하여 출퇴근한다.
- 100번 버스를 운용하는 회사는 정확한 출발 및 정거장도착 시간을 맞추기 위해서 정확한 원자시계를 이용하여 시간을 관리한다.
- 내 친구 '동기'는 아주 오래 전 선물 받은 시계를 차고 있는데 이 시계는 가끔 빠르거나 늦거나 한다.
- 100번 버스는 항상 원자시계에 맞추어 내 친구 '동기'가 출, 퇴근하는 정류장에 도착한다.
- 내 친구 '동기'는 매일 자기 시계에 맞추어 버스를 타려고 정류장에 나간다.
- 그러나 매번 너무 일찍 나가 기다리거나 혹은 너무 늦게 나가 버스를 놓치곤 한다.

- 동기는 매번 시간을 맞추지 못하는 버스를 이용하지 않기로 마음먹고 다른 교통수단을 이용한다.
- 버스회사는 항상 자기의 버스를 이용하는 손님을 한사람 잃게되어 손해를 보고 말았다.
- 그래서 버스회사는 정류장마다 그 회사의 원자시계의 시간을 표시하는 시계를 설치한다.
- 동기는 매일 그 시계를 보고 자기의 시계를 맞추고 항상 정시에 그 버스를 타고 출퇴근 할 수 있게 되었다. 그는 계속 그 버스를 이용하고 버스회사는 매일 자기네 버스를 이용하는 고객을 잃지 않게 되었다.

통신 시스템에서의 동기

☞ Master-Slave Intra-Network Sync.

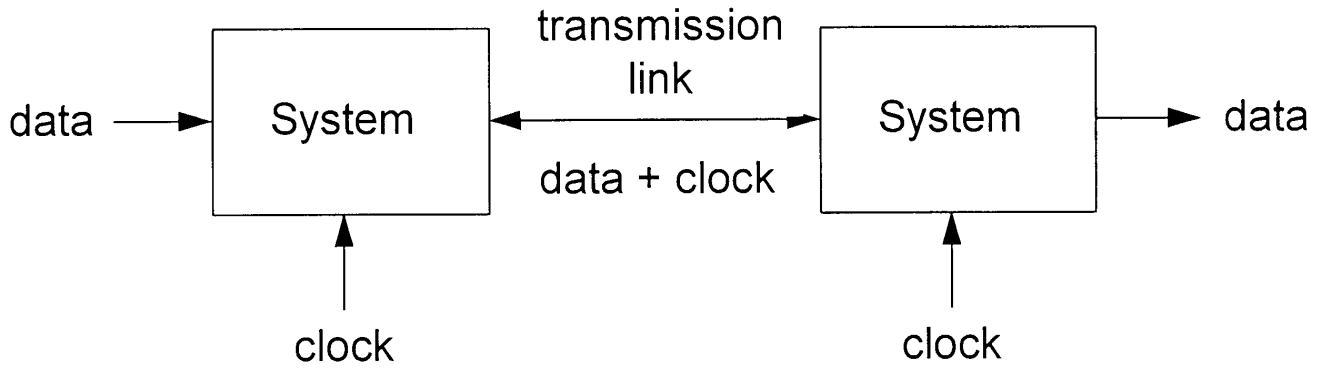


♧ Slave 시스템은 자기의 클럭을 수신되는 신호의 클럭에 맞춘다.

♧ 수신되는 신호는 데이터와 클럭에 대한 정보를 포함하고 있다.

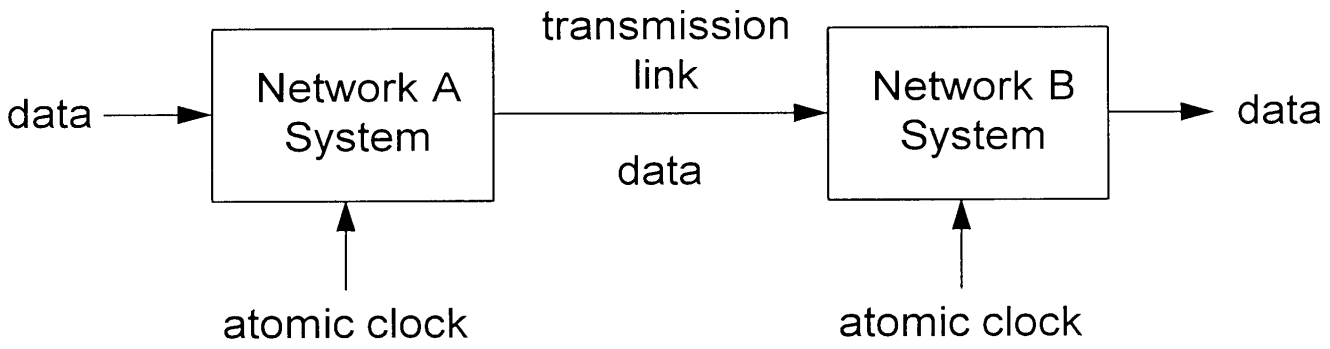
♧ 따라서, Master와 Slave 시스템은 같은 송, 수신 속도를 가지며, Slip이 발생하지 않는다.

☞ Mutual Intra-Network Sync.



- ♧ 각 시스팀이 가상적인 Master 이며 Slave는 없다.
- ♧ 자기 클럭을 다른 것과 비교하여 입력 평균값에 자기 클럭을 맞춘다.
- ♧ 각 시스팀은 어떤 제한된 범위 내에서 Float될 수 있다.
- ♧ 클럭의 차이는 입력 버퍼에 의해서 흡수된다.

☞ Inter-Network Sync.

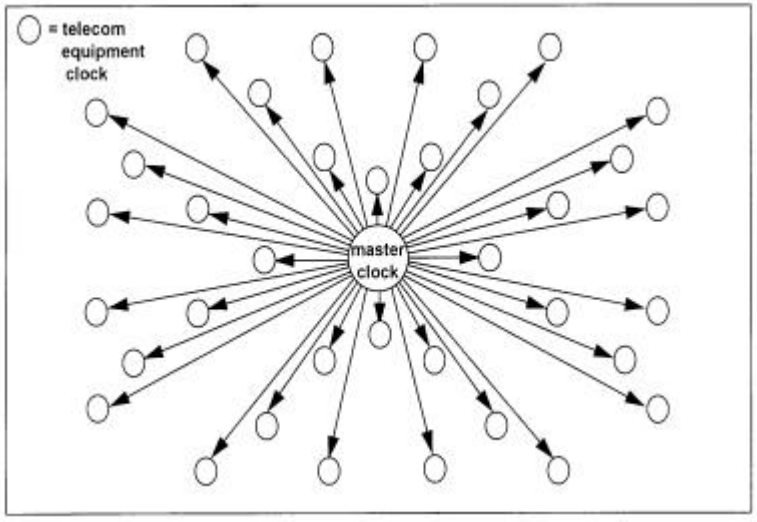


- ♧ 72일에 1개의 슬립 발생
- ♧ 각 시스템은 분리된 원자 클럭에 의해 동기됨
- ♧ 각 원자 클럭은 거의 같은 FREE-RUN 주파수를 갖는다.
- ♧ 송, 수신 속도에는 거의 차이가 없다.
- ♧ 모든 종류의 서비스와 통신할 수 있다.

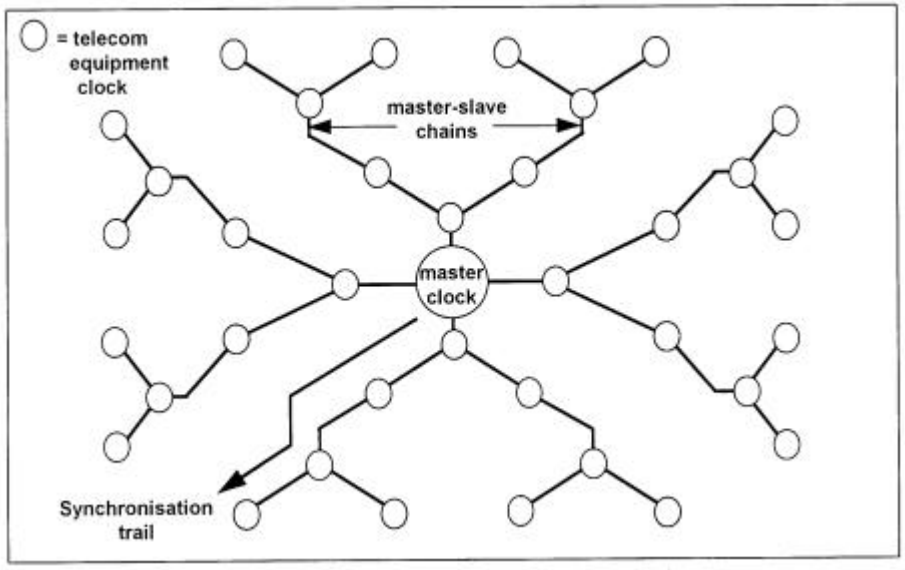
☞ Network Synchronization

- ♧ 네트웍 동기망의 목적은 네트웍 내의 모든 통신 시스팀이 슬립의 발생을 피하기 위하여 항상 같은 송, 수신 데이터 속도를 갖도록 하는 것이다.
- ♧ 따라서, 통신 시스팀에서 클럭은 같은 마스터 네트웍 클럭에 동기 되어져야하고, 추적할 수 있어야 한다.

☞ Logical Network Synchronization



☞ Physical Network Synchronization



- ♧ 네트워 내에 있는 모든 시스팀이 마스터 네트워 클럭에 직접 연결될 수는 없다.
- ♧ 따라서, 통신 시스팀은 체인 형태로 동기되어진다.
- ♧ 각 시스팀 클럭은 그것에 종속된 시스팀 클럭의 마스터 클럭이다.
- ♧ 그 체인(Synchronization Trail)은 매우 길거나 매우 짧을 수 있다.

☞ Synchronization Trail

- ♧ Synchronization Trail은 마스터 클럭으로부터 체인을 따라 상호 연결된 장치 클럭까지의 패스를 말한다.
- ♧ Synchronization Trail에 따른 클럭의 품질은 전단의 마스터클럭과 동일하거나 홀드오버 모드에서 종속클럭과 같다.
- ♧ Synchronization Trail은 매우 짧거나 길게 될 수 도 있다.
- ♧ 통신 네트웍 상에 많은 Synchronization Trail이 존재한다.

☞ 전송 링크

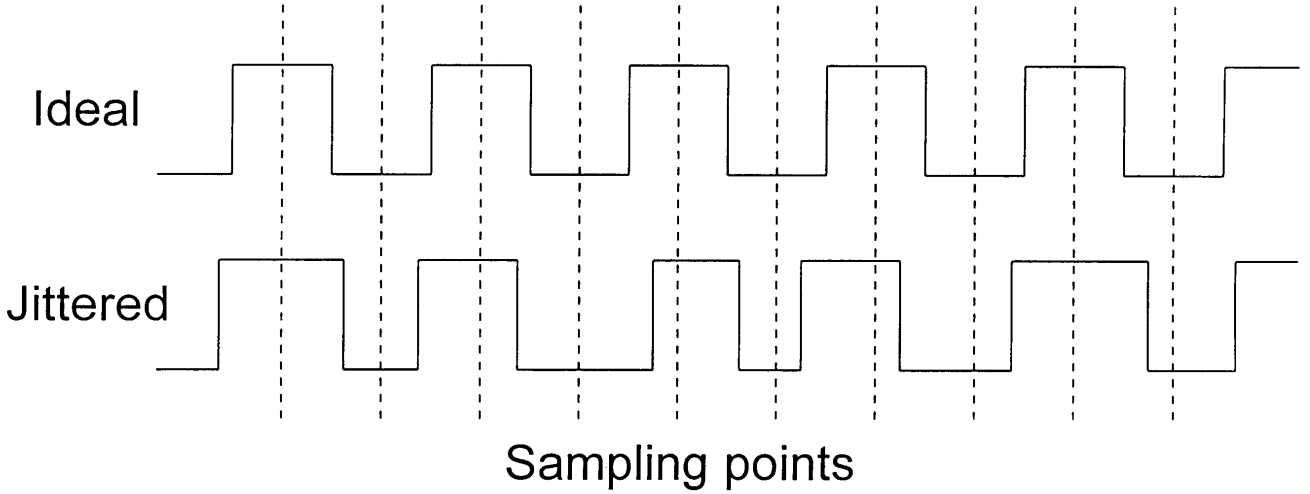
- ♧ 통신 시스팀과 통신 시스팀 사이의 전송 링크는 완벽한 것이 아니다.
- ♧ 전송 링크를 통하여 출력되는 것이 입력되는 것과 완전히 같지는 않다.
- ♧ Multiplexer와 Regenerator는 지터와 원더를 생성한다.
- ♧ 상호 연결된 선로는 또한 원더를 생성한다.
- ♧ 과도한 지터와 원더는 슬립을 야기한다.
- ♧ 이는 장비나 선로에 장애를 초래할 수 있다.

지터와 원더

☞ 지터란? (ITU-T G.810)

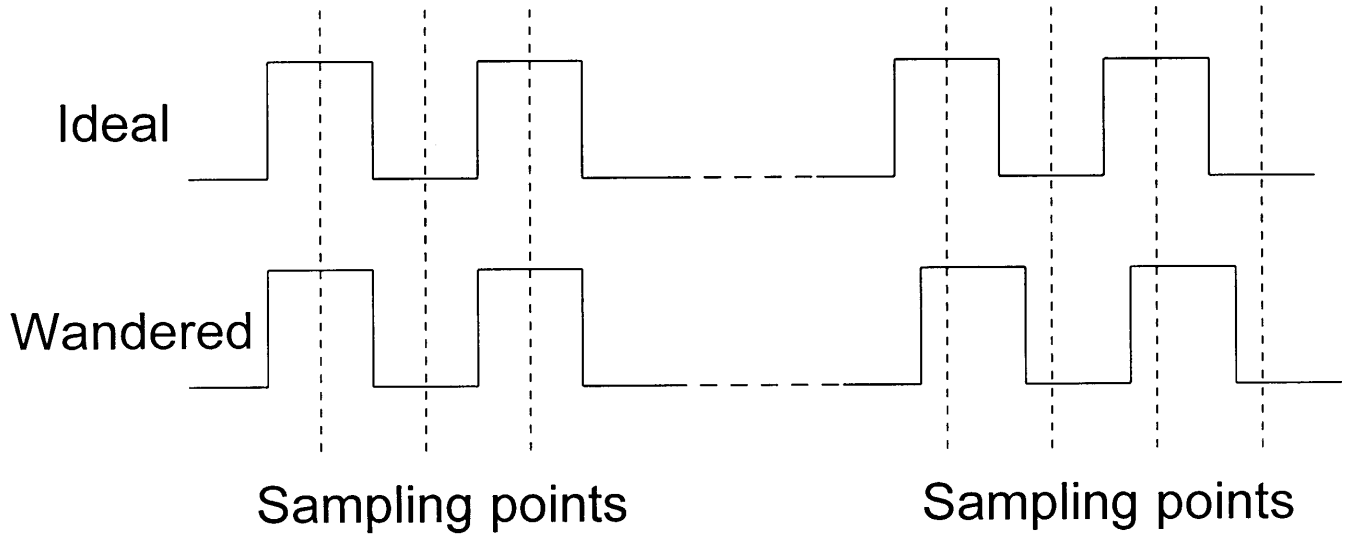
♧ 시간에 대한 기준 위치로부터 디지털 신호의 의미 있는 순간의 단기 편차

♧ >10Hz In Modulation Frequency



☞ 원더란? (ITU-T G.810)

- ♧ 시간에 대한 기준 위치로부터 디지털 신호의 의미 있는 순간의 장기 편차
- ♧ <10Hz In Modulation Frequency



☞ 지터와 원더에 관한 수식

♧ Phase Modulation

$V(t) = Vc \sin[(2\pi fct) + \theta d \sin(2\pi fmt)\}$

- Vc　　신호의 진폭
- fc　　케리어 주파수
- θd　　변조진폭
- fm　　변조 주파수
- t　　시간

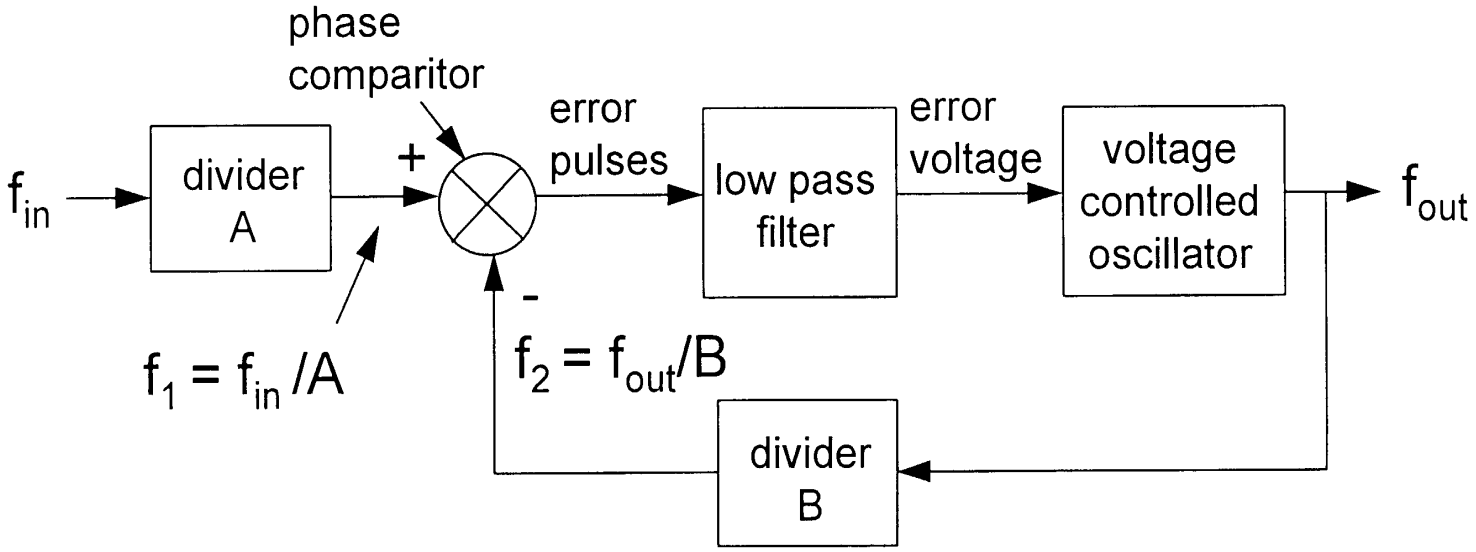
♧ Frequency Modulation

$V(t) = Vc \sin[(2\pi fct) + KfVm/2\pi fm \sin(2\pi fmt)]$

- Vc　　신호의 진폭
- fc　　케리어 주파수
- Kf　　변조 상수
- Vm　　변조 전압
- fm　　변조 주파수
- t　　시간

☞ 지터의 원인

♧ 주로 전송 네트웍에서 PLL Clock Recovery 회로에 의하여 생긴다.(Closed Loop, Negative Feedback, Control System)



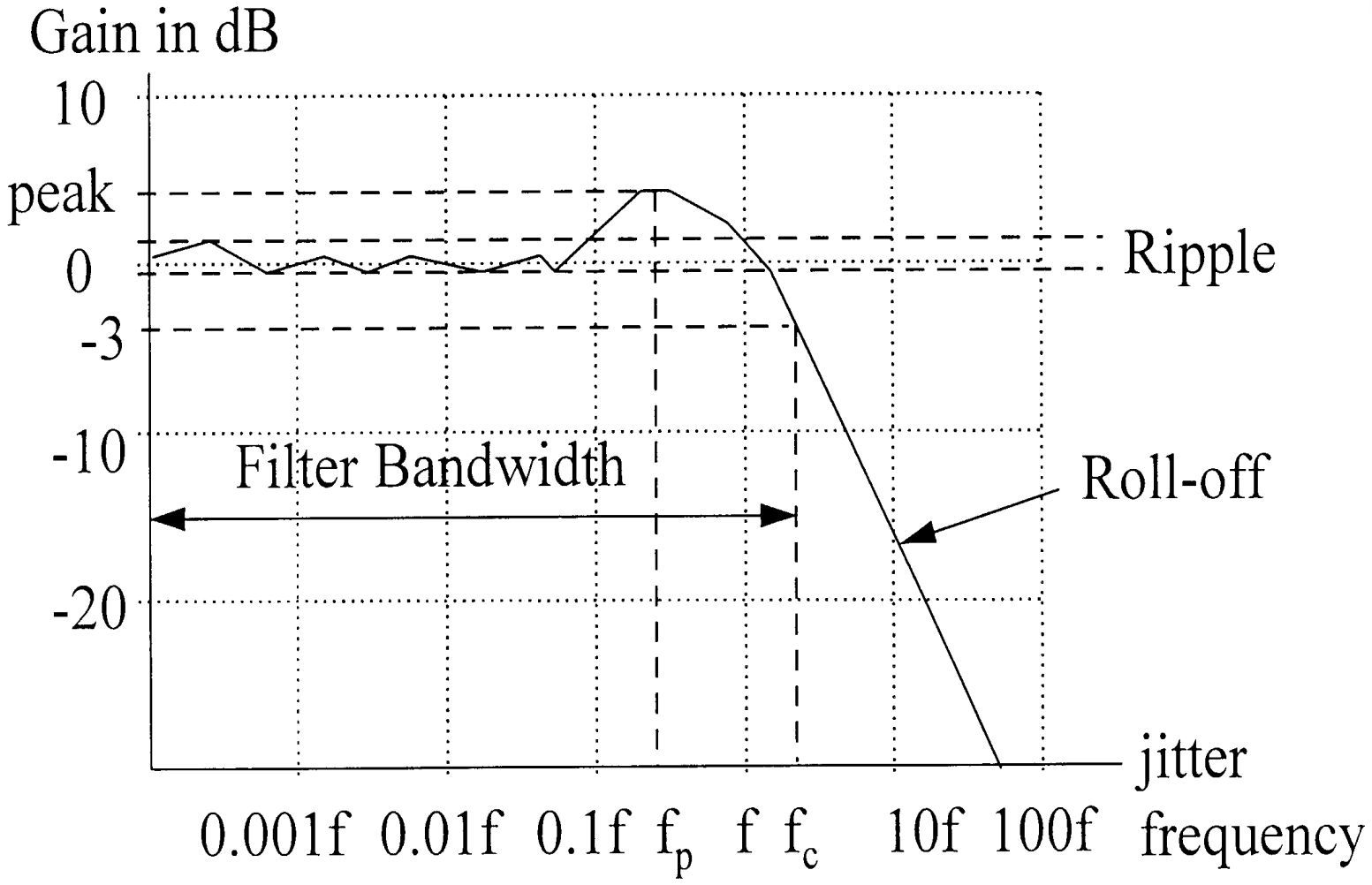
♧ f_2가 f_1보다 클 때

– Negative 위상 비교기 출력은 VCO를 통해 Error Voltage를 줄여서 fout을 줄이고 결국 f2가 작아지게 되며, f1 = f2일 때 안정된다.

- f_1이 f_2보다 클 때
  - Positive 위상 비교기 출력은 VCO를 통해 Error Voltage를 증가시켜서 fout을 증가시키고 결국 f_2가 커지게 되며, $f_1 = f_2$일 때 안정된다.
- PLL의 보정이 클 때 f2는 f1의 위아래로 어느 시간동안 발진한다.
- PLL의 보정이 작을 때 f2는 f1에 도달하기 위하여 어느 정도의 시간이 걸린다.
- PLL은 f1과 f2가 같을 때 Locked Mode에 있게 된다.
- Locked Mode에서 f2는 f1에 대하여 위상비교기의 해상도와 VCO의 Drifting에 기인하여 약간 발진한다.
- fin = Phase/Frequency Modulated(w/ Jitter & Wander)
  - 만약 변조 주파수가 낮다면 PLL 출력은 입력신호를 따라 간다.
  - 만약 변조 주파수가 높다면 PLL 출력은 입력신호를 따라갈 수 없게 된다. 이는 Low Pass Filter가 고주파 에러 편차를 감소시키는 데에서 기인한다.
- PLL은 만약 변조 주파수가 PLL의 필터 대역폭보다 크다면 입력신호상에 있는 지터와 원더를 감소 시킬 수 있다.

☞ PLL로부터의 지터

- ♧ 지터는 PLL의 TF(Transfer Function)로부터 얻어진다. 이는 TF의 Ripple이나 너무 낮은 Damping Factor에서 얻어진다.
- ♧ 오실레이터의 잘못된 동조, 조정에서 얻어진다.
- ♧ PLL의 위상비교기가 너무 민감하여 작은 에러에 대하여 지나치게 보상할 경우(Over Compensation)
- ♧ 입력지터가 없을 때에도 PLL로부터 지터의 출력이 나타남.
- ♧ PLL이 특별히 어떤 입력 신호 패턴에 대하여 민감한 경우
- ♧ PLL Transfer Function
  - TF = 출력지터의 진폭(f) / 입력지터의 진폭(f)
  - 필터의 대역폭 밖에 존재하는 지터들은 필터를 통과하면서 거의 제거된다.
  - 따라서, 고주파 지터들은 PLL 회로의 LPF(Low Pass Filter)를 거치면서 제거되고, 이 대역폭을 작게 설계함으로써 지터의 출력을 억제할 수도 있다.


Gain in dB
10
peak
0
-3
-10
-20
Ripple
Filter Bandwidth
Roll-off
jitter
frequency
0.001f
0.01f
0.1f
f_p
f
f_c
10f
100f

☞ 원더의 원인

♧ PLL에 의한 원더

- 위상비교기는 샘플링 포인트간에 긴 주기를 사용한다.
- VCO는 샘플링 포인트 사이에서 Drift 한다.
- 위상비교기가 너무 둔하게 동작한다.

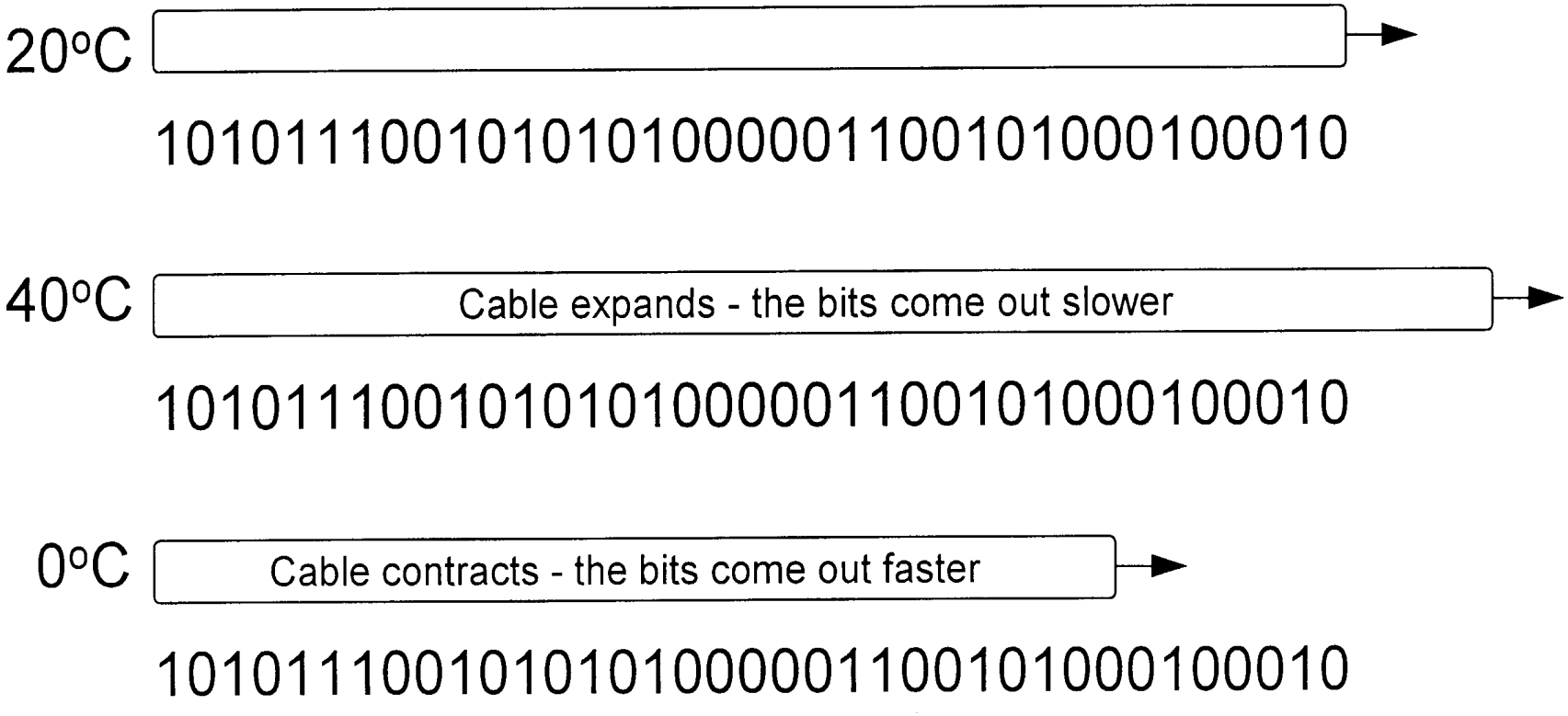
♧ 온도에 대하여 전송선로가 팽창 수축하는 데에서 기인한다.

♧ 온도에 의한 전송선로의 팽창 수축

- Wc=80ps/Km/℃ (For Fiber Optical Cable)

♧ 전송선로의 팽창 및 수축에 대한 데이터의 출력

- 온도가 올라가면 전송 선로의 길이는 평소보다 늘어나게 되고 이는 출력되는 데이터를 평소 보다 느리게 출력하도록 야기한다.
- 온도가 내려가면 전송선로의 길이는 평소보다 줄어들게 되고 이때 출력되는 데이터는 평소보다 더 빨리 출력되게 되다.
- 이로 인해 장기적인 위상편차가 생기게 되며, 버퍼에 의해서 보호되기는 하지만 버퍼의 용량이 작거나 원더가 계속 누적되는 경우 데이터의 슬립이 발생하게된다.


20°C
1010111001010101000001100101000100010
40°C
Cable expands - the bits come out slower
1010111001010101000001100101000100010
0°C
Cable contracts - the bits come out faster
1010111001010101000001100101000100010

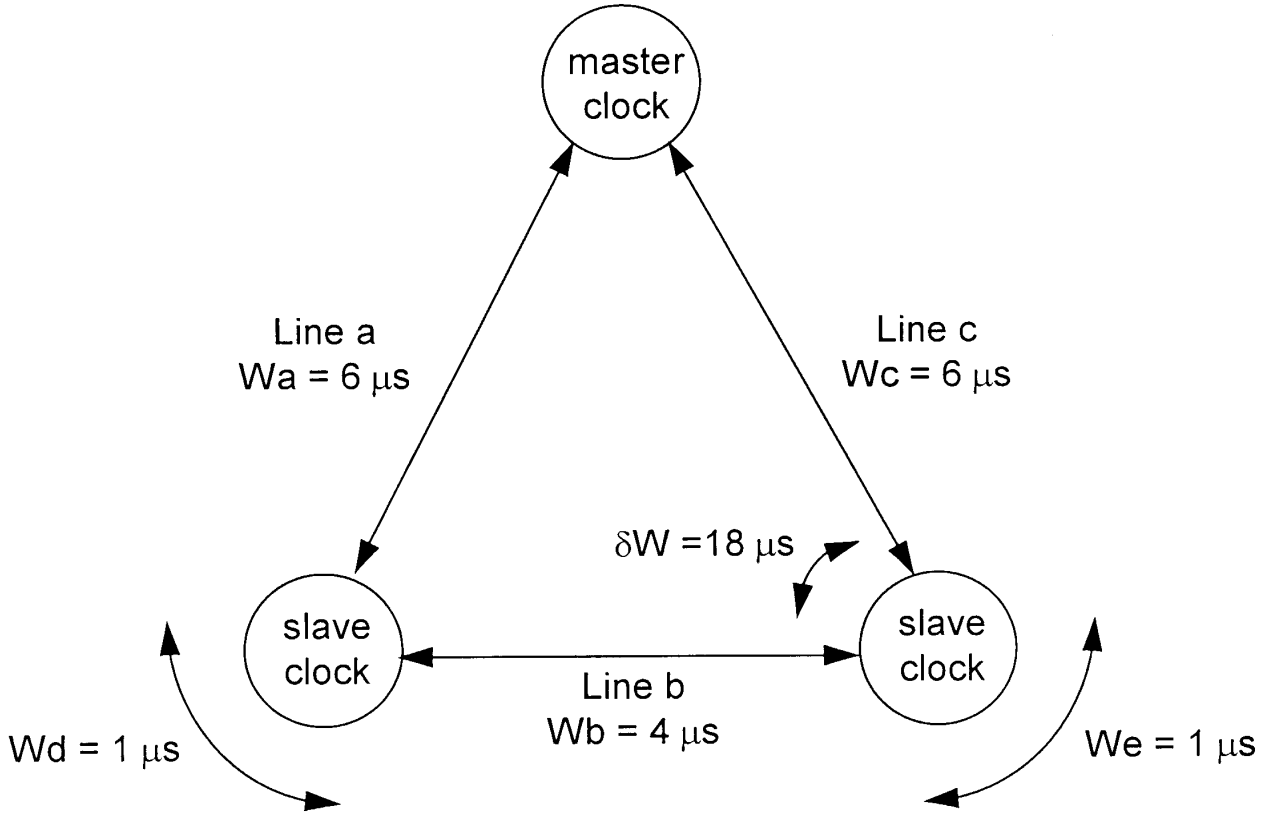
☞ 규칙적, 불규칙적인 지터와 원더의 축적

- ♧ 지터와 원더는 전송 선로에서 많은 네트웍 관련 Element들을 거치면서 증가되어 진다.
- ♧ 규칙적인 지터와 원더는 네트웍 체인의 Element들에서 축적되는 지터이다.(NON-RANDOM)
- ♧ 불규칙적인 지터와 원더는 축적되지 않는 지터이다.(RANDOM)

☞ 통신망에서의 지터와 원더의 감소

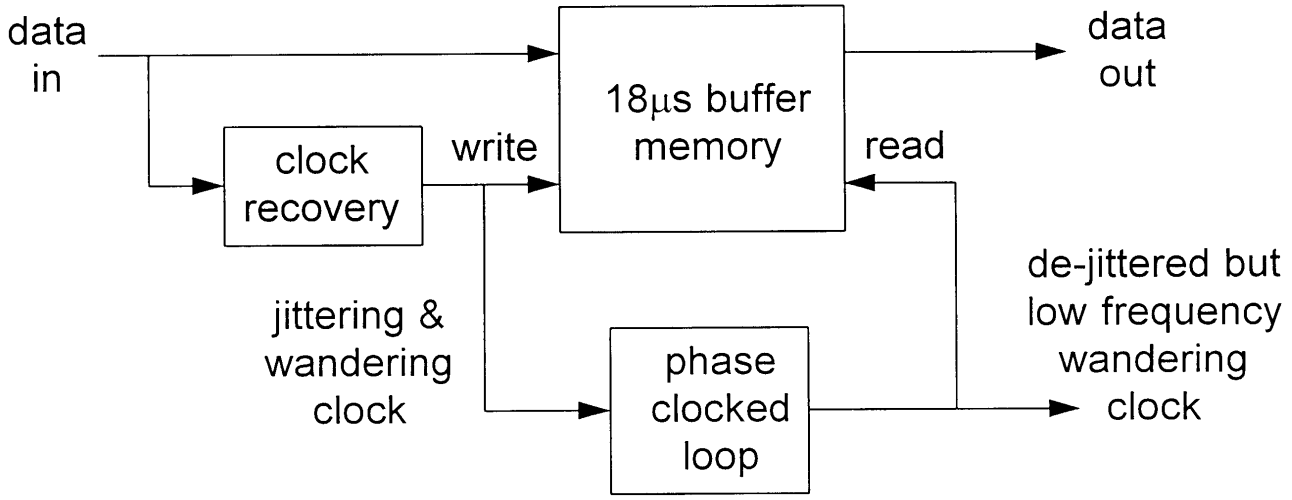
- ♧ 과도한 규칙적인 지터와 원더의 축적을 막기 위해서 요구된다.
- ♧ Synchronization Trail에서 매우 낮은(mHz, μHz)대역폭의 PLL 클럭 사용
- ♧ 그러나 이 대역폭 안에 있는 원더 주파수는 감쇄되지 않는다.
- ♧ 따라서 낮은 주파수 원더가 네트웍을 통하면서 축적된다.(Slow Motion Wave)

☞ 네트웍 원더 모델 (ITU-T G.823)



- 마스터클럭과 종속클럭 사이의 최대 선로 원더는 6μs이다.
- 종속클럭 사이의 최대 선로 원더는 4μs이다.
- 종속클럭의 최대원더는 1μs이다.
- 한 통신노드에서 최대 상대원더는
  - $\delta W = Wa + Wb + Wc + Wd + We < 18\mu s$
- 장치가 선로 c에 동기되고 선로 b로부터 데이터를 입력받는 경우 슬립이 발생하지 않아야 한다.
- 이에 준하여 통신 시스템들은 18μs의 원더에 대한 저항성을 갖도록 설계되어야 한다.

☞ 지터와 원더의 감쇄 및 저항성을 위한 시현



♧ 18μs 보다 큰 입력 원더

- 통신 시스팀에서의 버퍼의 크기는 대개 18μs 보다 약간 크게 설계된다.
- 입력 원더가 버퍼의 크기 보다 클 경우 버퍼는 오버플로우 되어지고 일부 데이터 정보의 손실을 야기하며, 과도한 원더는 슬립의 원인이 된다.
- 네트웍에서 원더의 레벨은 감시되어지고 주의 깊게 관리되어야만 한다.

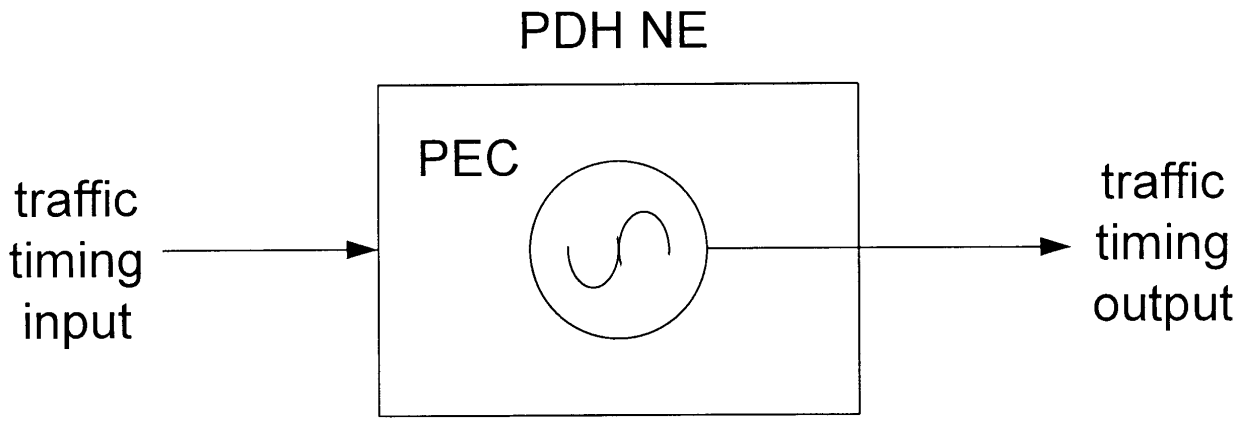
PDH 망에서의 동기

☞ PDH 망에서의 Element

- PABX(Private Automatic Branch Exchanges)
- Regenerators
- Optical Fiber Line Systems
- Micro-Wave Systems
- Multiplexer
- Concentrators
- Space Switch Cross-Connects

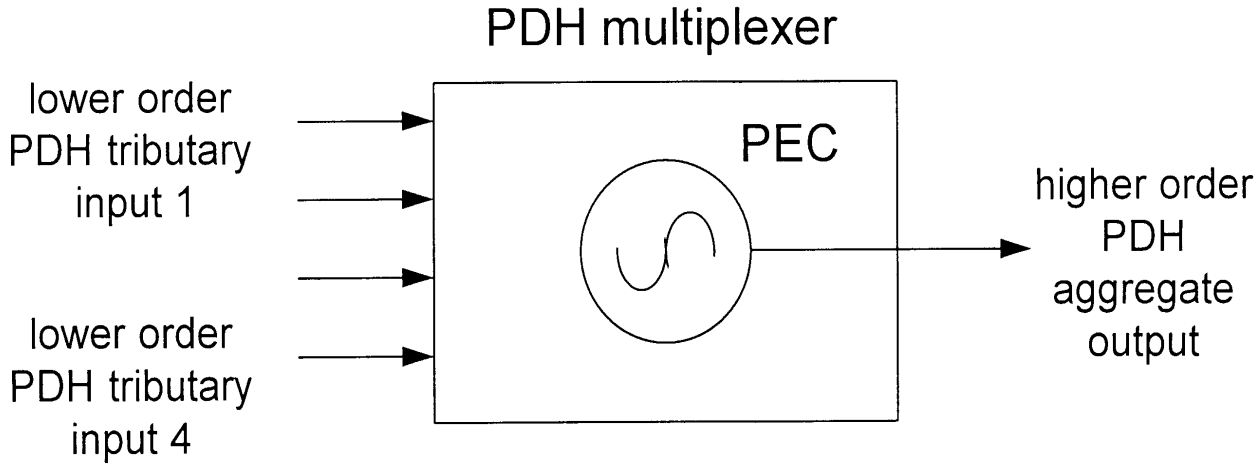
☞ PDH Network Element의 일반적인 특성

- ♧ 그들은 대개 Free Running하는 내부 Plesiochronous Equipment Clock(PEC)을 가진다.
- ♧ PEC는 온도와 시간에 따라 드리프트 한다.

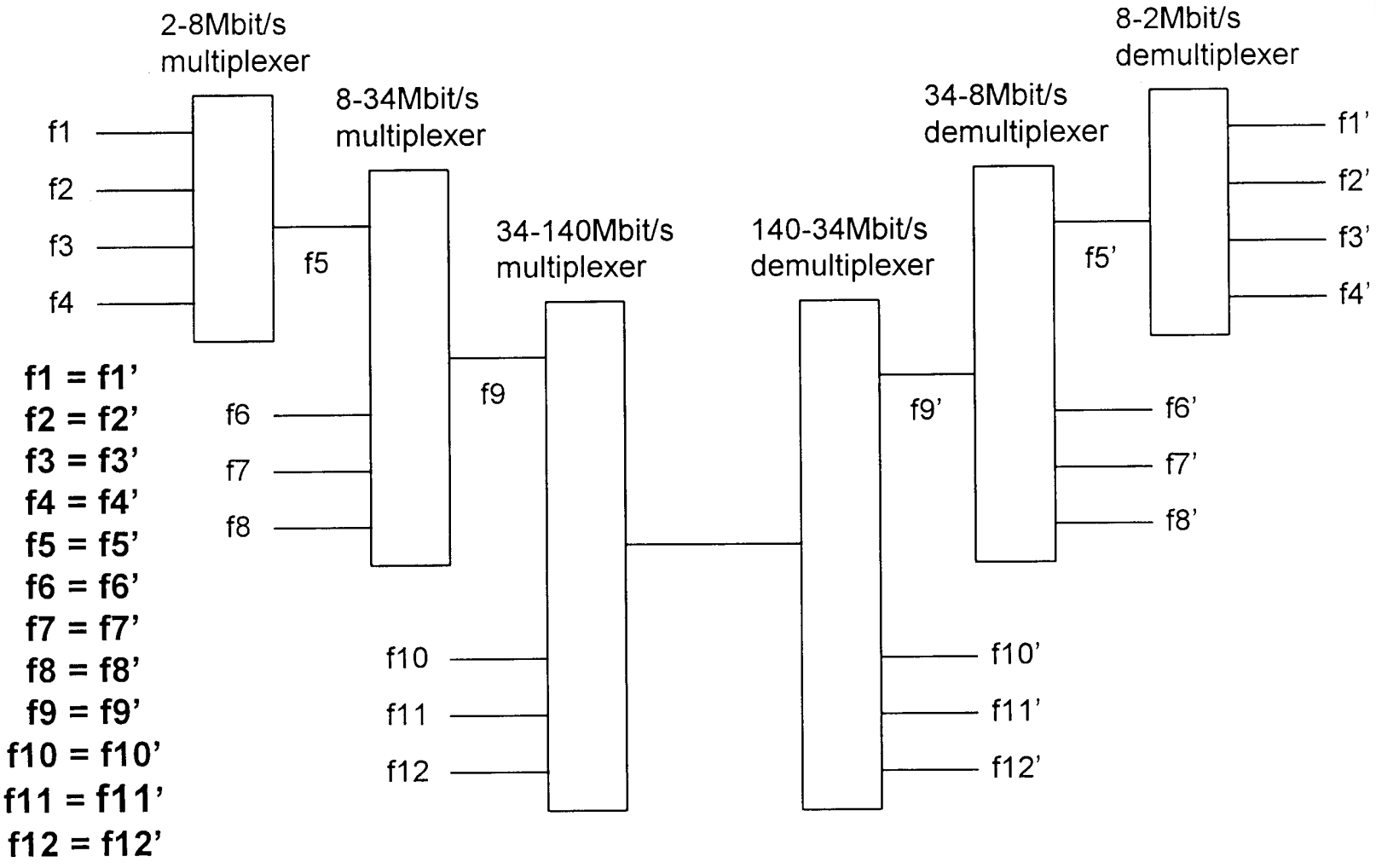


☞ PDH Multiplexing Order

- ♧ 2.048 Mbps(2Mbps), First Order(Primary Rate)
- ♧ 8.448 Mbps(8Mbps), Second Order
- ♧ 34.368 Mbps(34Mbps), Third Order
- ♧ 139.264 Mbps(140Mbps), Fourth Order



- 왜 2.048 × 4 = 8.192 Mbps인데 8.448 Mbps가 되는가?
- 왜 8.448 × 4 = 33.792 Mbps인데 34.368 Mbps가 되는가?
- 왜 34.368 × 4 = 137.472 Mbps인데 139.264 Mbps가 되는가?
- STUFF
  - PDH Network Elements에서 PEC는 정확도가 떨어지는 수정 발진기를 사용한다.
  - 2Mbps 트래픽 신호에 대하여 ITU-T는 50ppm까지의 주파수 에러를 허락한다.
  - 높은 차수의 PDH Multiplexer는 모든 입력 신호 지류에 대하여 가장 나쁜 경우의 입력 데이터 편이를 수용해야만 한다.
  - 이를 위하여 타이밍 신호에 따른 STUFF 비트를 이용한다.
  - Extra(Stuffing) 비트가 출력에서 주파수와 위상의 차이를 보상하기 위하여 Positive /Negative Justification의 기회를 제공하기 위하여 사용되어진다.


2-8Mbit/s
multiplexer
8-34Mbit/s
multiplexer
34-140Mbit/s
multiplexer
140-34Mbit/s
demultiplexer
34-8Mbit/s
demultiplexer
8-2Mbit/s
demultiplexer
f1
f2
f3
f4
f5
f6
f7
f8
f9
f10
f11
f12
f1'
f2'
f3'
f4'
f5'
f6'
f7'
f8'
f9'
f10'
f11'
f12'
f1 = f1'
f2 = f2'
f3 = f3'
f4 = f4'
f5 = f5'
f6 = f6'
f7 = f7'
f8 = f8'
f9 = f9'
f10 = f10'
f11 = f11'
f12 = f12'

☞ PDH 네트웍 동기 특성

- ♧ 동기는 64Kbps Telephony Switch 사이에서 슬립을 피하기 위해서 사용된다.
- ♧ 네트웍에서 스위치들은 같은 PRC(Primary Reference Clock)를 따라가기 위하여 동기된다.
- ♧ PRC는 ITU-T G.811에서 세슘 마스터 클럭으로 규정되어 있다.
- ♧ PRC에서 교환기까지의 Sync. Trail과 교환기간의 Sync. Trail은 2Mbps 신호(Traffic/Non-traffic)를 통하여 전송된다.
- ♧ 2Mbps 동기 신호는 높은 차수의 PDH 전송 네트웍을 통하여 Transparent하게 동작한다.
- ♧ 2Mbps 동기 신호는 높은 차수의 PDH 신호에 삽입되고 Demultiplexing에 의해서 First Order로 복귀된다.
- ♧ 2Mbps 동기 신호는 교환기에 있는 클럭에 의해서 재 생성된다.
- ♧ 두 개의 교환기 사이의 동기는 Master-Slave이거나 Mutual 방식을 사용하며, M-S 방식이 널리 사용된다.
- ♧ 지터의 축적은 교환기 클럭에 의해서 필터링 되고 감쇄되어 진다.
- ♧ 그러나 원더는 감쇄되지 않는다.

☞ PDH 클럭 규격(ITU-T G.811/812)

♧ PRC(Primary Reference Clock), 1계위

- Maximum Drift : 10^{-11} per Day

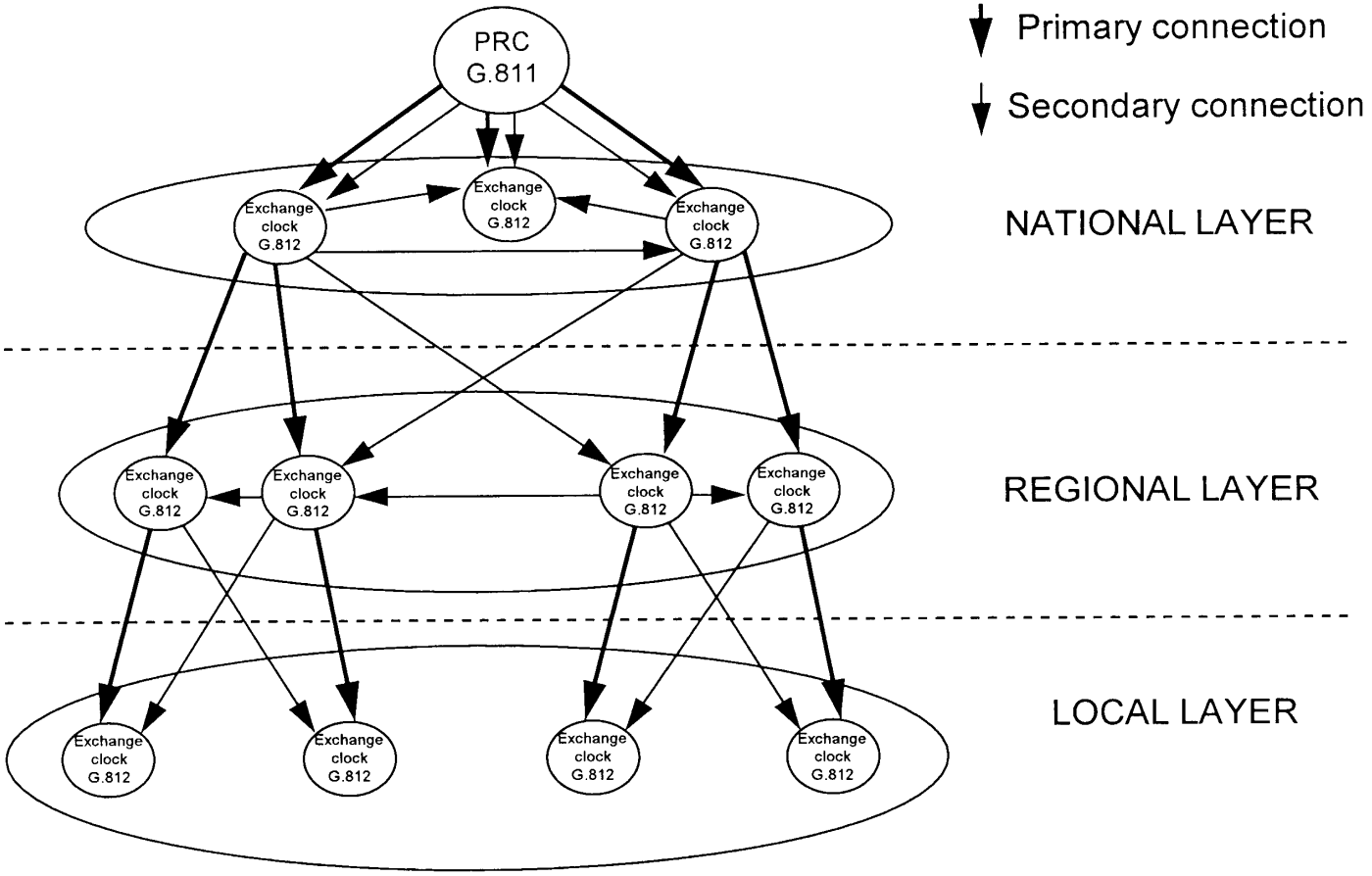
♧ Transit Node, 2계위

- Maximum Drift : 10^{-9} per Day
- Initial Frequency Offset Entering Hold-Over : 5×10^{-10}

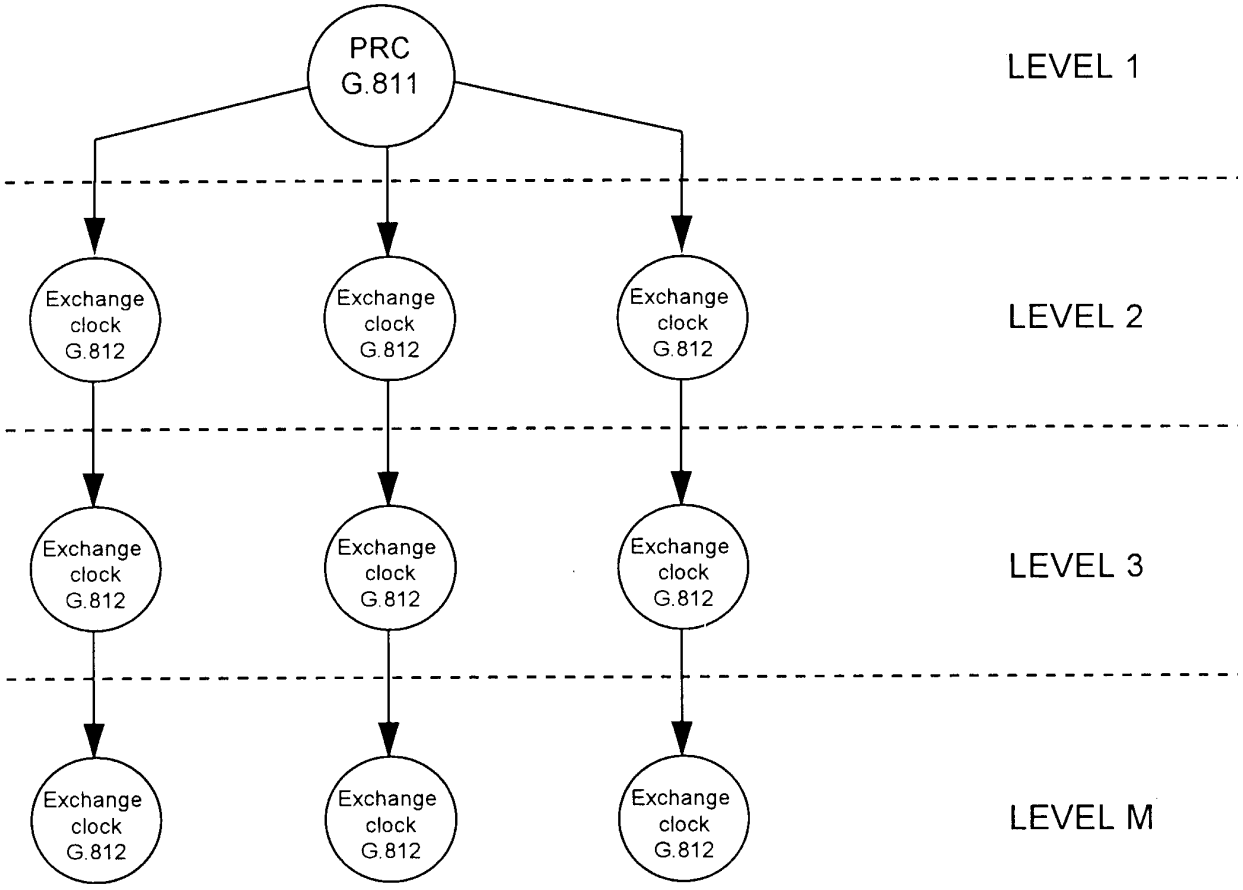
♧ Local Node, 3계위

- Maximum Drift : 2×10^{-8} per Day
- Initial Frequency Offset Entering Hold-Over : 1×10^{-8}

☞ PDH 동기 계층

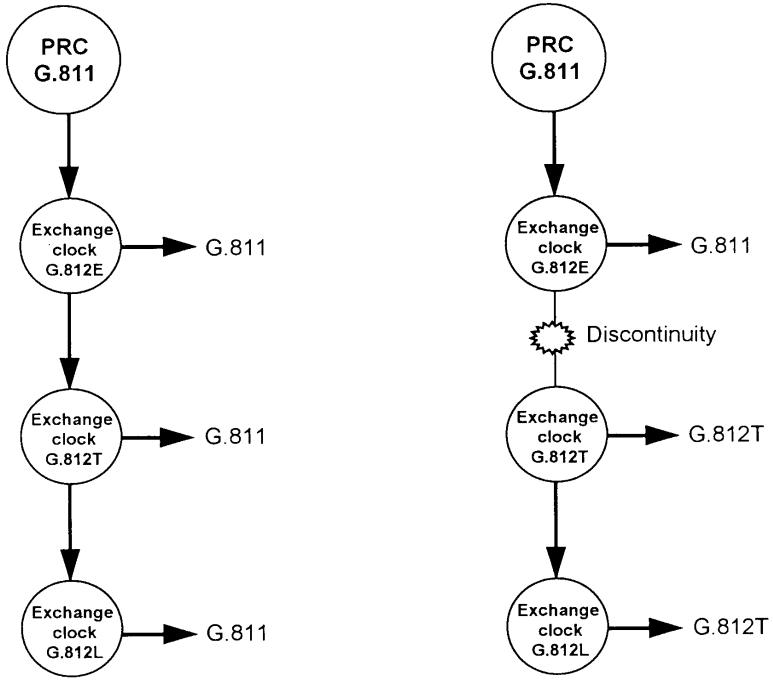

PRC
G.811
Primary connection
Secondary connection
Exchange clock G.812
NATIONAL LAYER
REGIONAL LAYER
LOCAL LAYER

☞ PDH 망동기 레벨


PRC
G.811
LEVEL 1
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
LEVEL 2
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
LEVEL 3
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
Exchange clock G.812
LEVEL M

☞ PDH Synchronization Trail

- ♧ 만약 PRC로부터의 Synchronization Trail이 정상 상태라면 각 PDH 레벨에서의 클럭 품질은 PRC와 같다.
- ♧ Synchronization Trail이 단절되면 각 PDH 레벨의 품질은 Exchange Clock과 같은 2계위 신호가 된다.

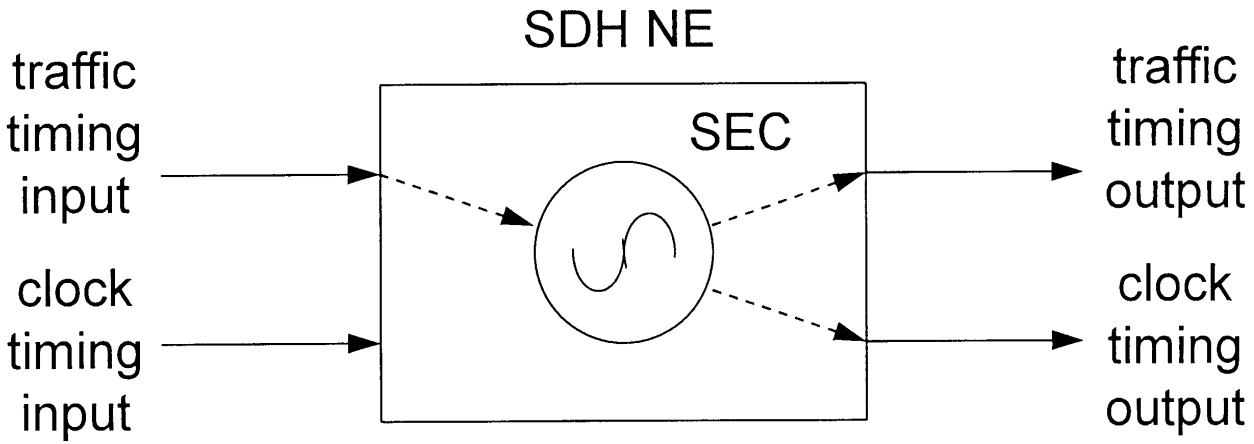


SDH 망에서의 동기

- SDH Network Elements
  - Regenerators
  - Optical Fiber Line Systems
  - Micro-Wave Systems
  - Multiplexer
  - Time and Space Switch(Cross-Connects)
  - SASEs(Stand Alone Synchronization Equipment)

☞ SDH Network Elements의 일반적인 특성

- ♧ 트래픽 신호나 외부 타이밍 입력신호에 동기되기 위하여 내부 SEC(Synchronous Equipment Clock)을 가지고 있다.
- ♧ SEC에 대해서는 ITU-T G.813에 규정되어 있다.(4.6PPM)



☞ SDH Network Element의 동기 특성

- ♧ 입력 신호는 2 MHz, 2 Mbps 또는 STM-N이다.
- ♧ 입력의 선택은 운용자가 정의한 우선순위 표와 SSM(Synchronization Status Message)에 의해서 결정된다.
- ♧ 출력 신호는 2 MHz, 2 Mbps 또는 STM-N이다.
- ♧ 출력 타이밍 품질은 입력 타이밍 신호의 품질을 따른다. (G.811 Input - -> G.811 Output)
- ♧ SEC가 Hold-Over 모드로 동작할 때 출력 타이밍 신호의 품질은 G.813의 품질을 향하여 드리프트 한다.
- ♧ SEC가 Hold-Over 모드로 동작할 때 2MHz 출력은 중단된다.
- ♧ SEC가 Locked Mode일 때 출력 SSM은 입력 SSM과 같다.
- ♧ SEC가 Hold-Over거나 Free-Run Mode일 때 출력 SSM은 G.813과 같다.

☞ SEC의 타이밍 입력

♧ SEC는 다음과 같은 타이밍 입력에 동기될 수 있다.

- STM-N Aggregate Input
- STM-N Tributary Input
- 2Mbps Tributary Input
- 2MHz/2Mbps Timing Input(Non-traffic)

♧ 타이밍 입력의 선택은 입력에 할당된 우선순위와 SSM 알고리즘에 의해서 설정된다.

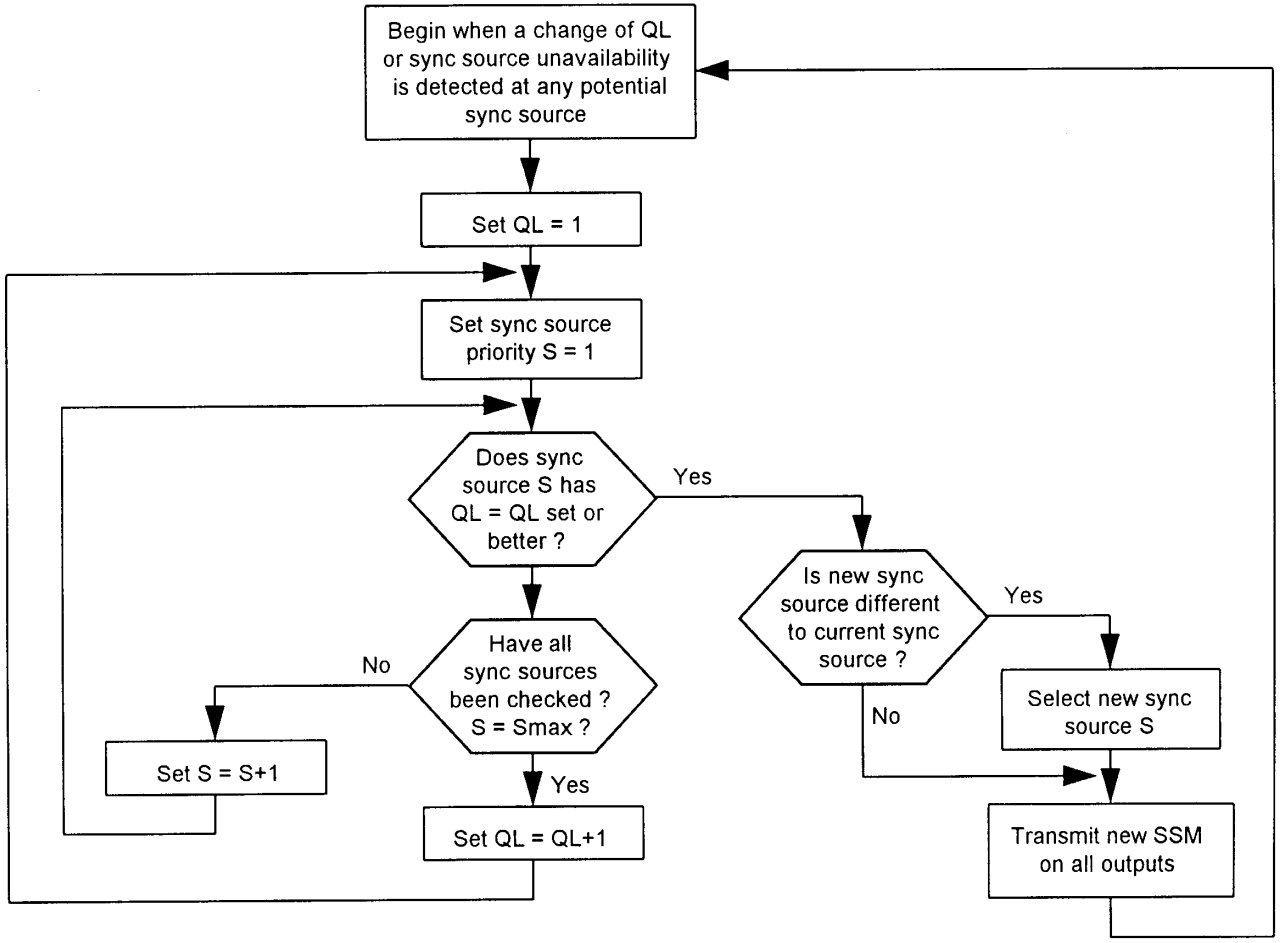
- 우선순위표의 예

입력	우선순위	비고
STM-16 #2	1	1차 선택
STM-16 #1	2	2차 선택
STM-1 #1	3	3차 선택
STM-1 #2	4	4차 선택
2Mbps #2	5	5차 선택
2Mbps #1	6	6차 선택
2MHz #1	7	7차선택/마지막 선택

☞ SSM(Synchronization Status Message)

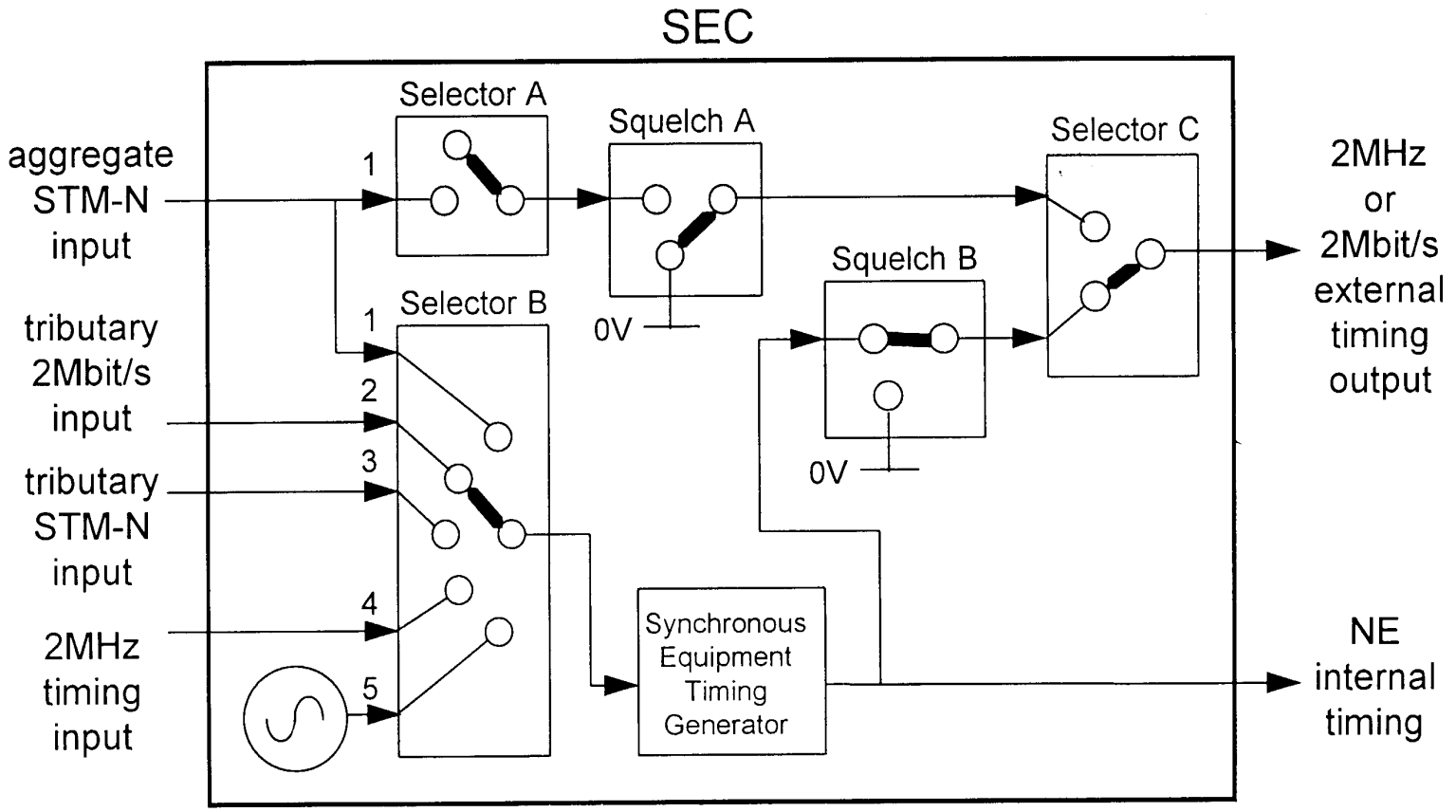
- ♧ SDH에 의해서 전송되는 타이밍의 품질은 SOH(Section Over Head)내의 SSM 바이트(S1)에 의해서 표시된다.
- ♧ 2Mbps 신호에 의해서 전송되는 타이밍의 품질은 TB0(Time Slot 0)에 있는 비트에 의해서 표시된다.
- ♧ SSM에 대한 클럭 품질 레벨은 다음과 같은 것이 있다.
  - G.811(1계위)
  - G.812 Transit(2계위)
  - G.812 Local(3계위)
  - G.813
  - Quality Unknown(Status Unknown)
  - Don't Use(DNU)

☞ SSM 알고리즘


Begin when a change of QL or sync source unavailability is detected at any potential sync source
Set QL = 1
Set sync source priority S = 1
Does sync source S has QL = QL set or better ?
Yes
Is new sync source different to current sync source ?
Yes
Select new sync source S
No
Transmit new SSM on all outputs
Have all sync sources been checked ? S = Smax ?
No
Set S = S+1
Yes
Set QL = QL+1

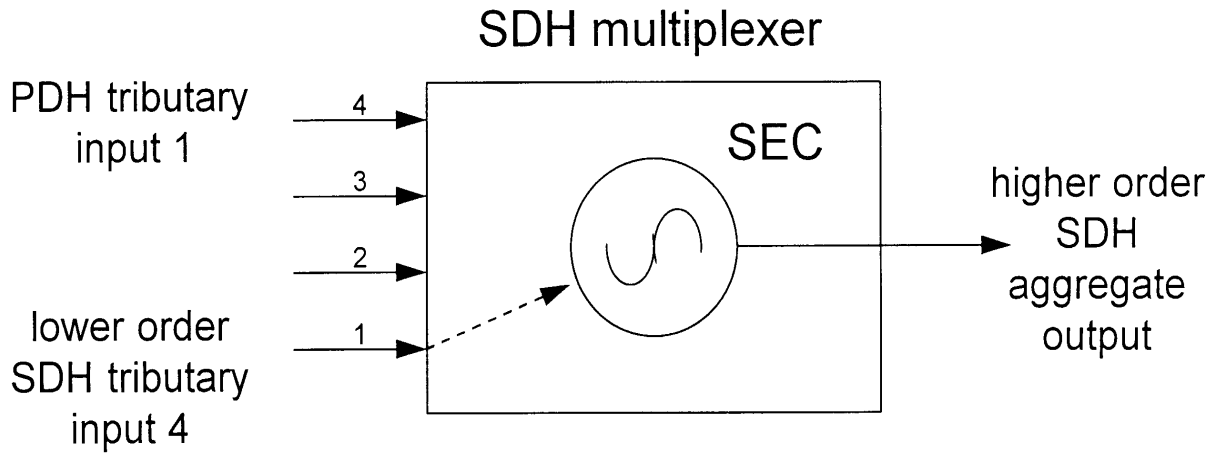
- 가장 높은 품질의 타이밍 입력을 선택하고 만약 같은 레벨의 타이밍 입력이 여러 개 존재한다면 가장 높은 우선순위를 가진 타이밍 입력을 선택한다. 즉 SEC를 위하여 가장 좋은 타이밍 입력을 선택한다.
- 출력 SSM의 품질은 입력신호의 SSM을 따라간다.
- 홀드오버 모드이거나 프리런 모드인 경우 출력 SSM은 G.813에 대한 품질로 설정된다.
- 모든 타이밍 입력이 양호한 상태가 아닐 경우
  - SEC는 홀드오버 모드로 들어간다. 이는 이전의 양호한 입력에 대한 주파수와 위상 값을 기억 유지하며, ITU-T G.813의 품질 4.6×10^{-6}(4.6PPM)을 향하여 드리프트한다.
  - 만약 이전의 입력에 대한 데이터가 없다면 Free-Run 모드로 들어가고 출력의 품질은 ITU-T G.813에 따른다.
  - 2MHz 타이밍 출력은 단절된다.
  - 출력 SSM은 G.813의 품질을 따른다.
  - SEC는 양호한 입력 타이밍 신호가 입력되기를 기다린다.
- 더 높은 우선순위의 타이밍 입력이 회복되었을 때 SEC는 그것을 다시 선택하느냐는 운용자가 초기에 설정해서 결정해야한다. 재설정의 경우 여러 가지 장애의 원인이 될 수도 있으며, 절체되지 않는 경우 장애 이전의 상태로 동기망을 회복할 수 없게 된다.

☞ 동기 장치의 클럭


SEC
Selector A
Squelch A
Selector C
aggregate STM-N input
1
2MHz or 2Mbit/s external timing output
Squelch B
Selector B
1
tributary 2Mbit/s input
2
0V
3
tributary STM-N input
0V
4
Synchronous Equipment Timing Generator
NE internal timing
2MHz timing input
5

SDH Multiplexing

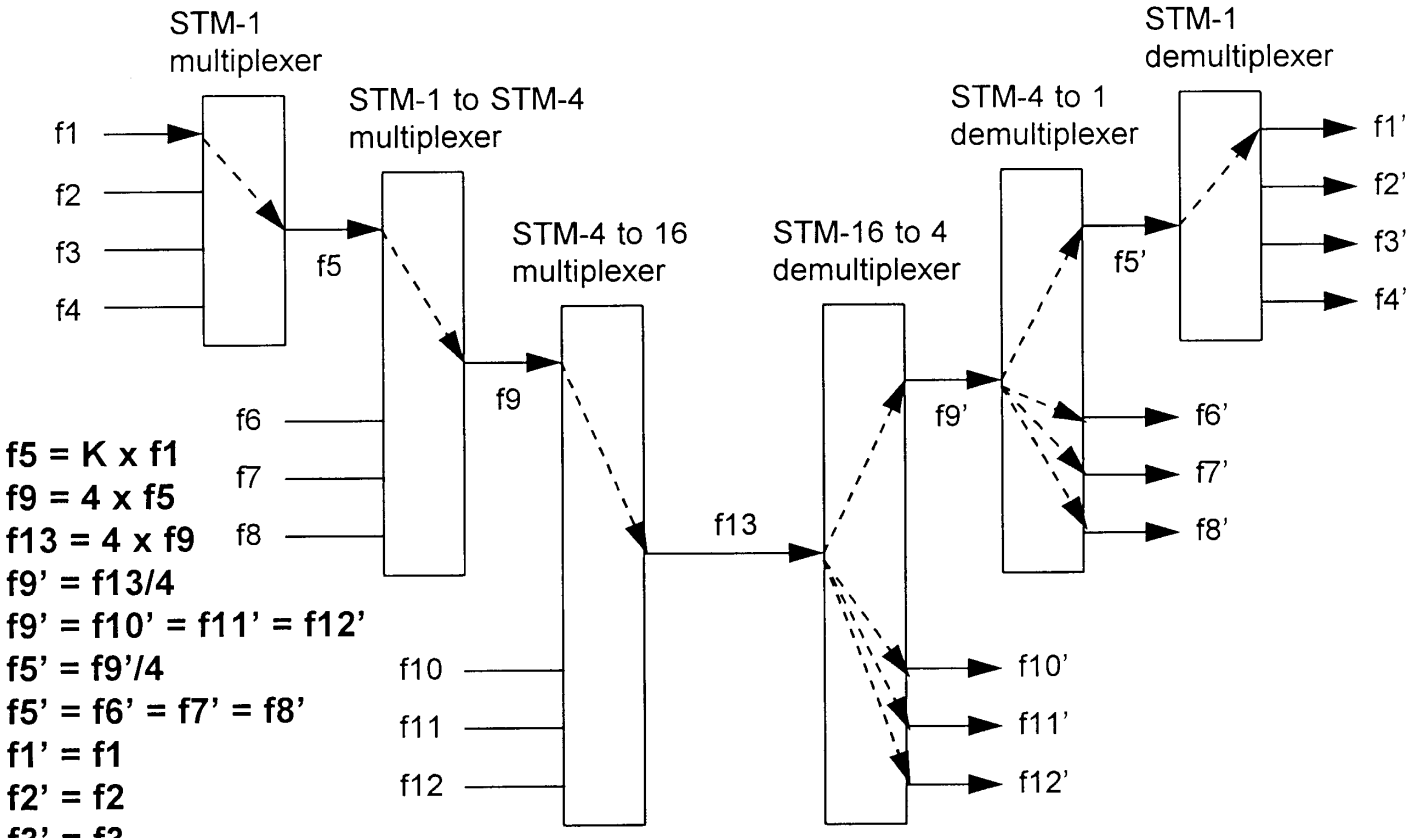
- 155.52 Mbps(155Mbps STM-1), 1st Order
- 622.08 Mbps(622Mbps STM-4), 2nd Order
- 2488.32 Mbps(2.5Gbps STM-16), 3rd Order



- STM-16 = 4 × STM-4 Byte

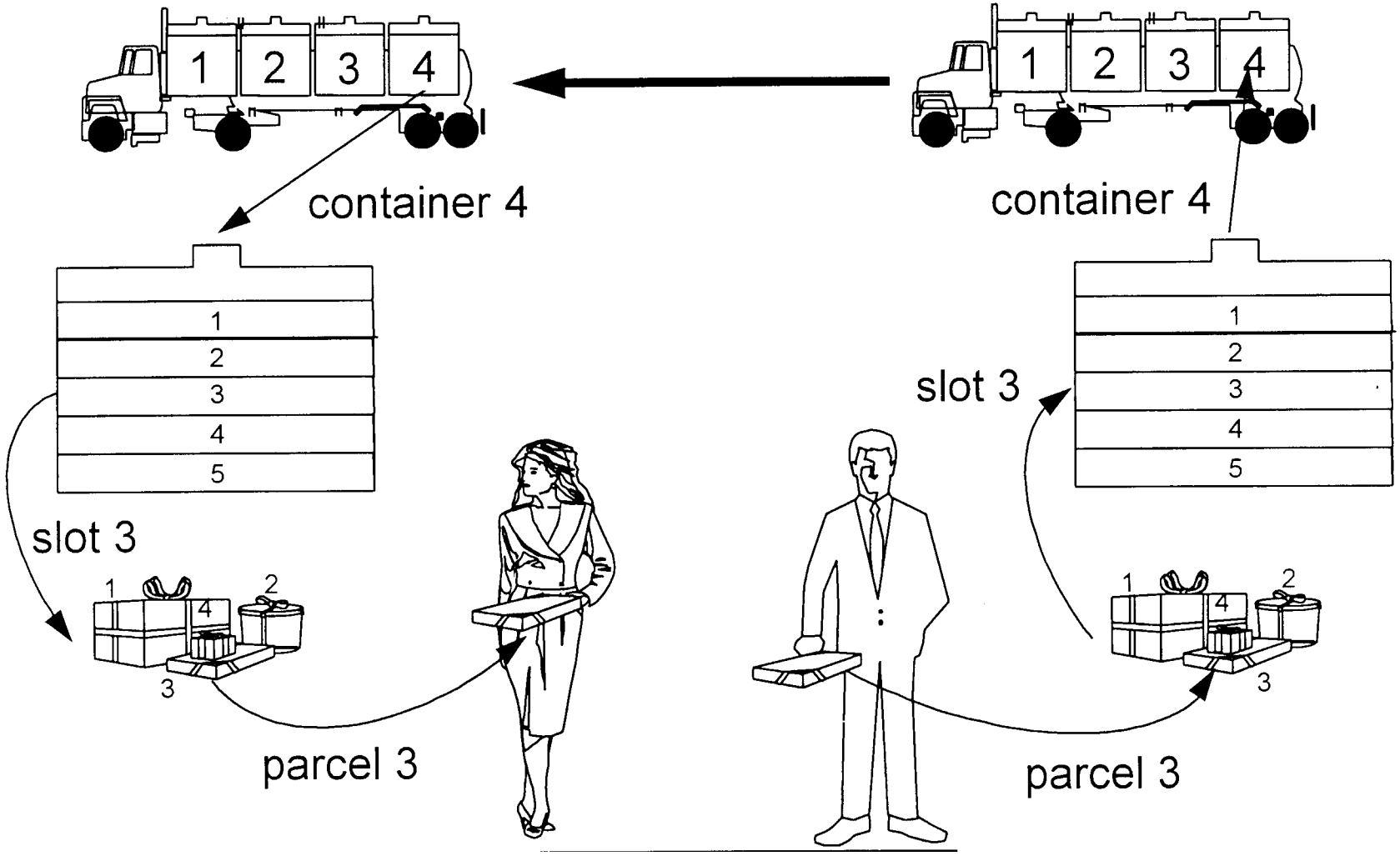
  = 16 × STM-1 Byte
- STM-4 = 4 × STM-1 Byte
- 어떤 차수의 SDH 신호로부터 가장 낮은 차수의 PDH 트래픽 신호에 직접 억세스할 수 있다.
- 어떤 차수의 SDH 신호로부터 동기 신호를 직접 억세스할 수 있다.
- PDH와 같이 Multiplexer Mountain을 풀어서 억세스할 수 있다.
- 트래픽 서비스를 제공하기 쉽고 가격 저렴

☞ SDH (De)Multiplexing

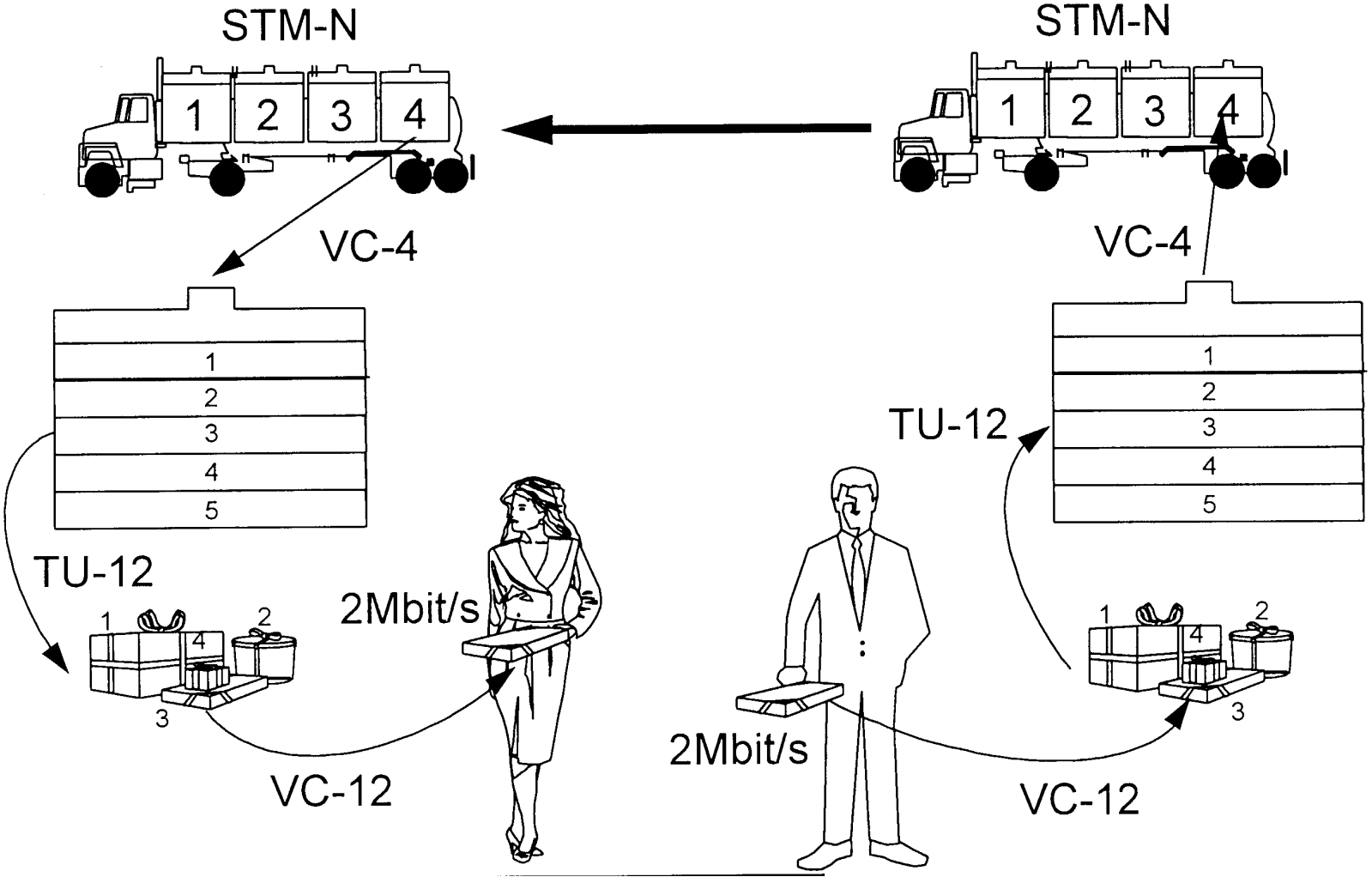


☞ SDH POINTER

- ♧ 어디에서 시작하는가?
- ♧ 내 친구 '동기'가 옆마을에 있는 아름다운 여자를 사랑하게 되었다.
- ♧ 그는 수줍음이 너무 많아 그녀에게 전화를 할 수가 없었다. 그래서 그는 매일 우체국에서 그녀에게 선물을 보낸다.
- ♧ 우체국에서는 다음과 같은 절차를 따른다.
  - 다른 소포들과 함께 그의 소포를 넣는다.
  - 여러 콘테이너 안에 그 소포들을 넣는다.
  - 콘테이너를 여러개 묶어서 화물차에 싣는다.
  - 그 화물차는 그녀가 살고있는 마을로 간다.
  - 그 여인은 자신에게 배달된 소포를 받는다.

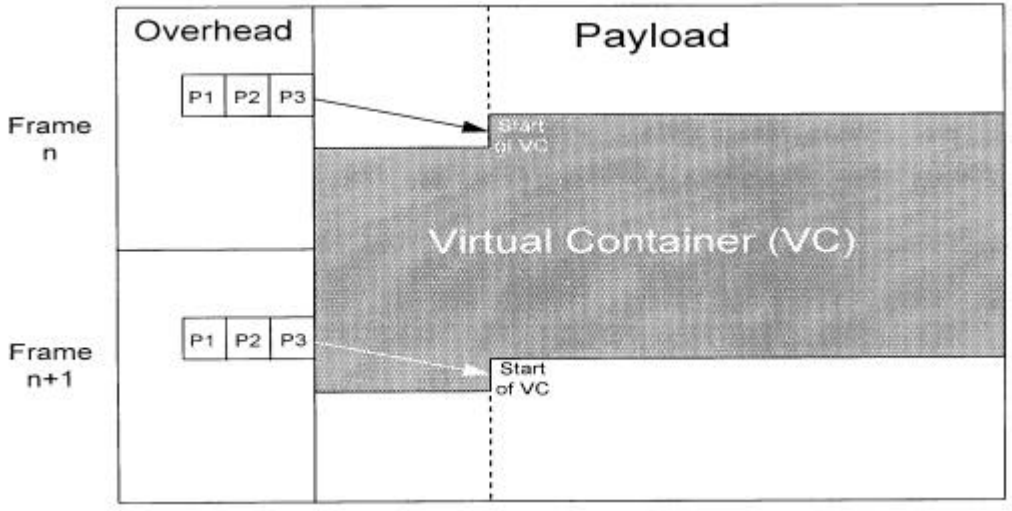

1 2 3 4
container 4
1 2 3 4
container 4
1
2
3
4
5
slot 3
1
2
3
4
5
slot 3
1 2 4 3
1 2 4 3
parcel 3
parcel 3

- 내 친구 '동기'는 매주 새로운 여자 친구에게 선물을 보낸다.
- 그의 소포는 항상 소포 그룹 중에서 3번을 사용하여 배달된다.
- 우체국 직원은 다음과 같은 절차로 일을 처리한다.
  - 내 친구 동기의 소포가 도착했을 때 소포 3번은 다른 소포에 이미 할당되어 있었다.
  - 그래서 '동기'의 소포는 4번에 재할당 되었다.
  - '동기'의 여자친구가 사는 동네의 우체국에 3번 대신 4번을 배달할 것을 통보한다.
  - 상대 우체국에서 이를 인지하고 평소에 배달되던 3번 소포 대신 4번 소포를 그녀에게 배달한다.
  - 그 여인은 자신에게 배달된 소포를 받는다.


STM-N
1
2
3
4
VC-4
1
2
3
4
5
TU-12
2Mbit/s
VC-12
STM-N
1
2
3
4
VC-4
1
2
3
4
5
TU-12
2Mbit/s
VC-12

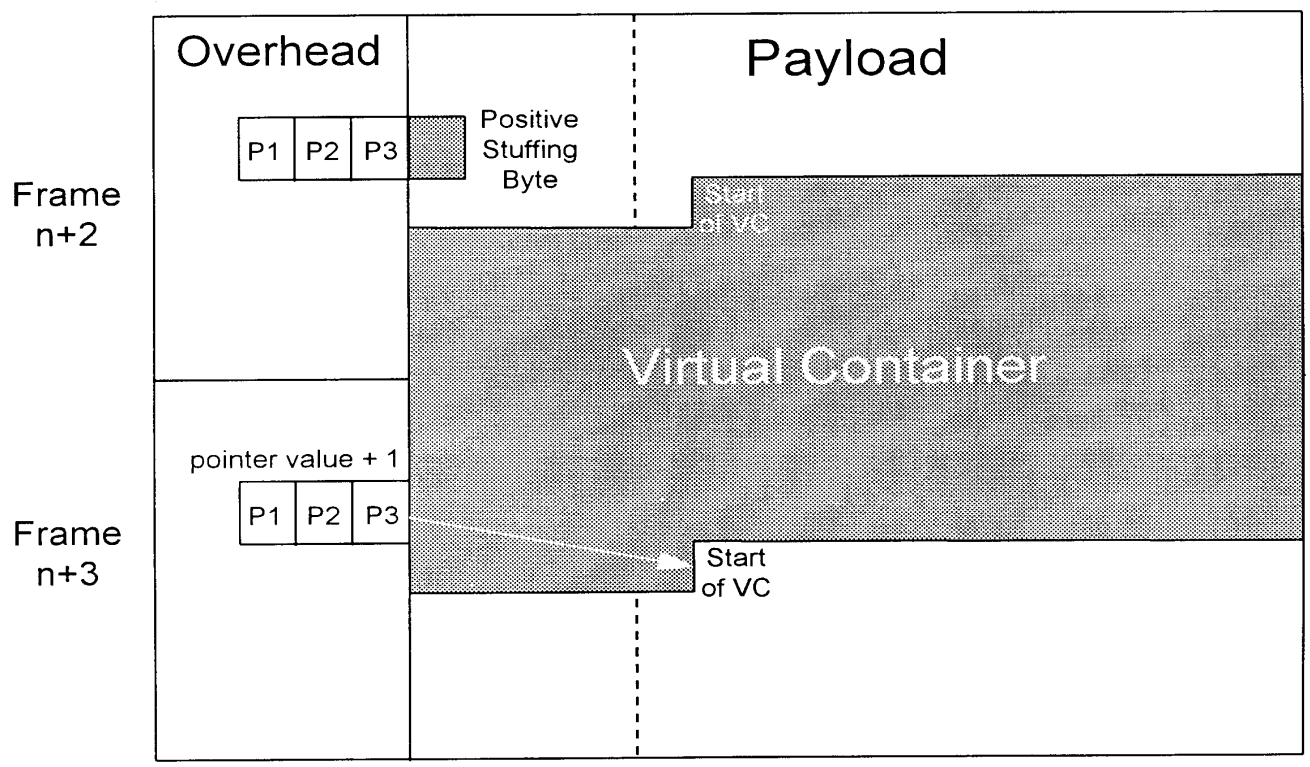
☞ 입력 트래픽 신호와 SEC 사이의 주파수와 위상의 보상

- ♧ 위상과 주파수의 차이는 AU(Administrative Units)와 TU(Tributary Unit) 안에 있는 Stuffing Bytes에 의해서 보상된다.
- ♧ Stuffing Bytes는 AU와 TU안에서 Positive/Negative Justification의 기회를 제공한다.
- ♧ VC(Virtual Containers)들이 AU와 TU안에서 다이나믹하게 움직인다.
- ♧ AU와 TU안에 있는 포인터는 VC의 시작을 지시하는데 사용된다.



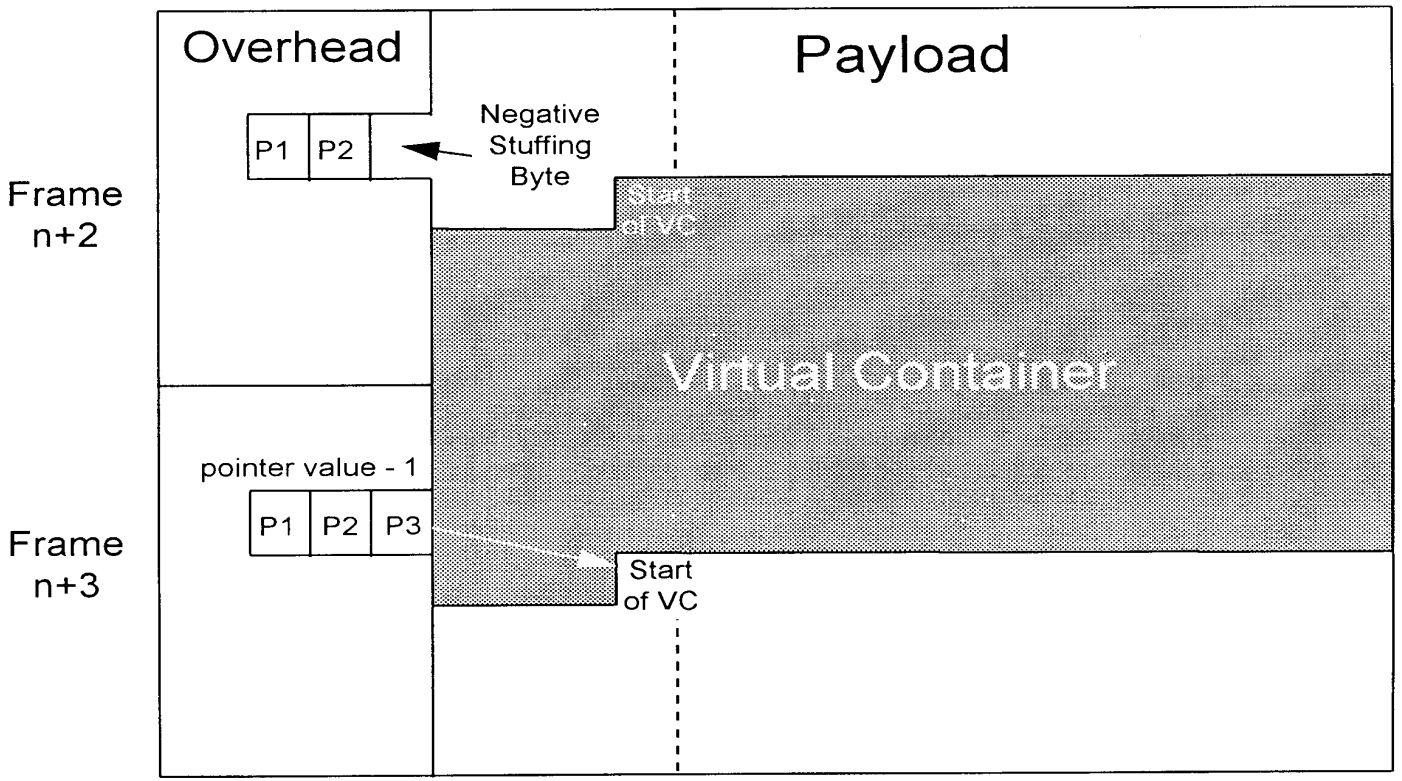
☞ Positive Pointer Adjustment

♧ Payload Clock이 NE Clock 보다 늦는 경우



☞ Negative Pointer Adjustment

♧ Payload Clock이 NE Clock 보다 빠른 경우

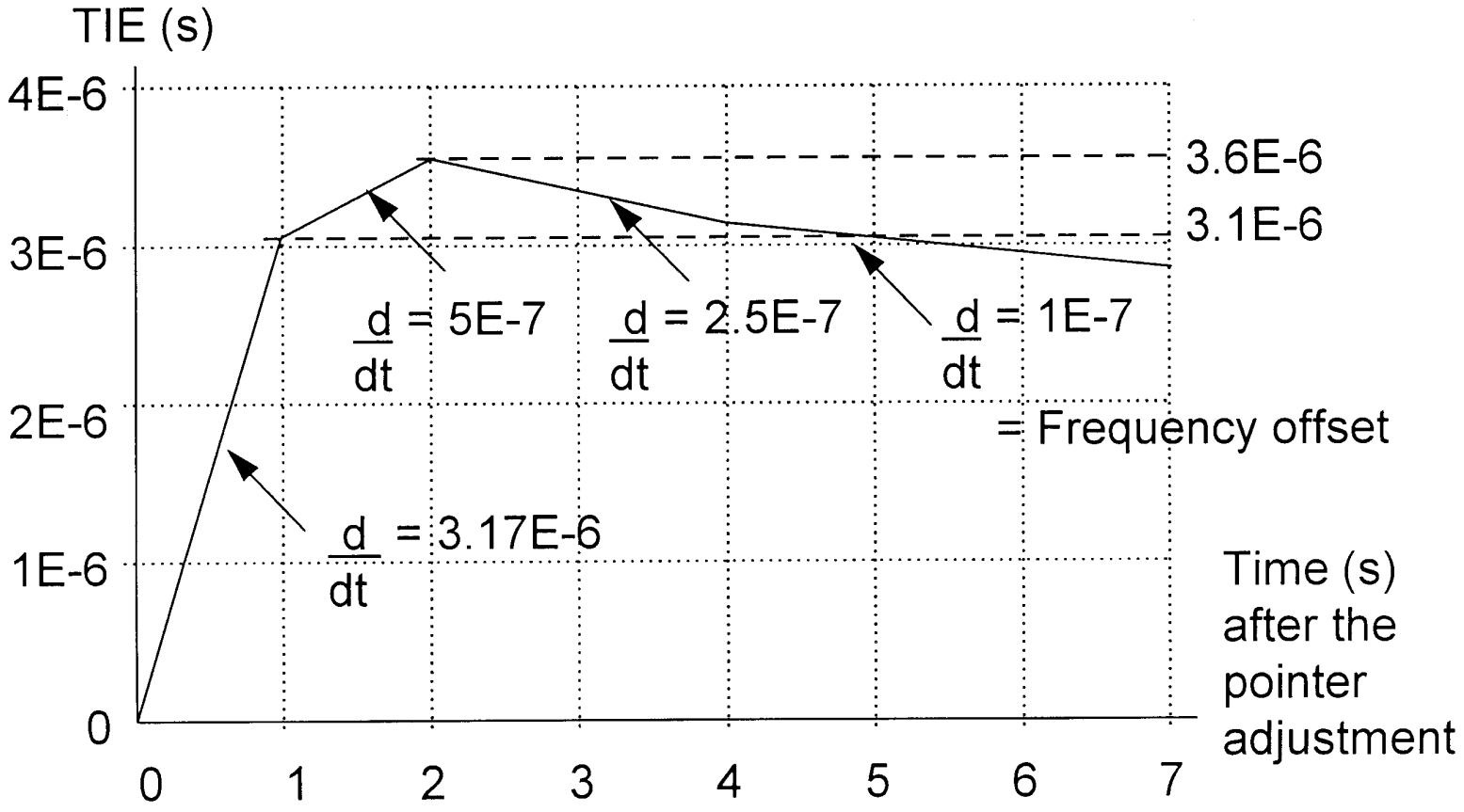


☞ 포인터 활동으로부터의 지터

트래픽 신호	SDH 패이로드	원더
2 Mbps	VC-12	3.47μs
34 Mbps	VC-3	0.38μs
140 Mbps	VC-4	0.16μs

- ♧ 2Mbps 트래픽 신호는 SDH를 통한 동기 전송을 위하여 추천되지 않는다.
- ♧ 2Mbps 트래픽 신호는 포인터의 사용으로 인하여 가장 큰 원더와 지터를 가지므로 이에서 추출된 클럭신호의 안정성은 그만큼 떨어지게 된다.
- ♧ 따라서 고차의 트래픽에서 타이밍 신호를 복원해서 사용하도록 권고된다.

☞ 2Mbps 출력 TIE (VC-12 Pointer Adjustment)



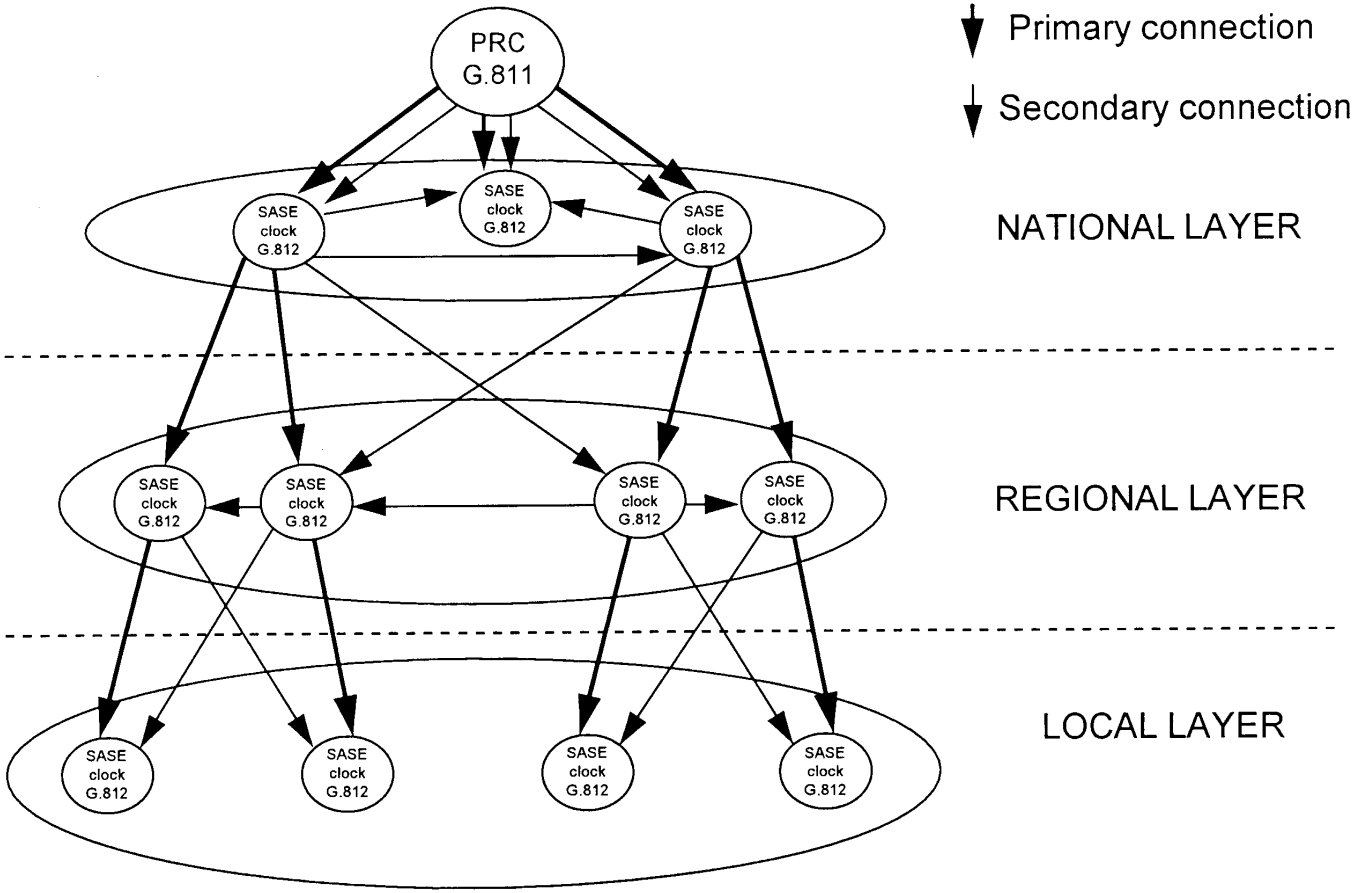
☞ SASE 동기 특성

- ITU-T G.812의 품질을 만족하는 고안정 클럭
- 입력은 2MHz, 2Mbps등이 있다.
- 타이밍 입력의 선택은 입력에 할당된 우선순위와 SSM 알고리즘에 의하여 설정된다.
- 출력은 2MHz, 2Mbps등이 있다.
- 출력 동기 품질은 입력동기의 품질을 따른다.
- SASE가 홀드오버인 경우 출력 동기 품질은 G.812를 향하여 드리프트한다.
- 2MHz 동기 출력은 SASE가 홀드오버나 프리런 모드인 경우에도 단절되지 않는다.
- 2Mbps 동기 출력은 SASE가 홀드오버이거나 프리런 모드인 경우에 G.812의 품질을 따른다.
- NE로부터의 SSM 정보는 2MHz SASE 입력에서 없어진다.
- SSM 정보는 2Mbps SASE 입력과 출력에서 유지된다.

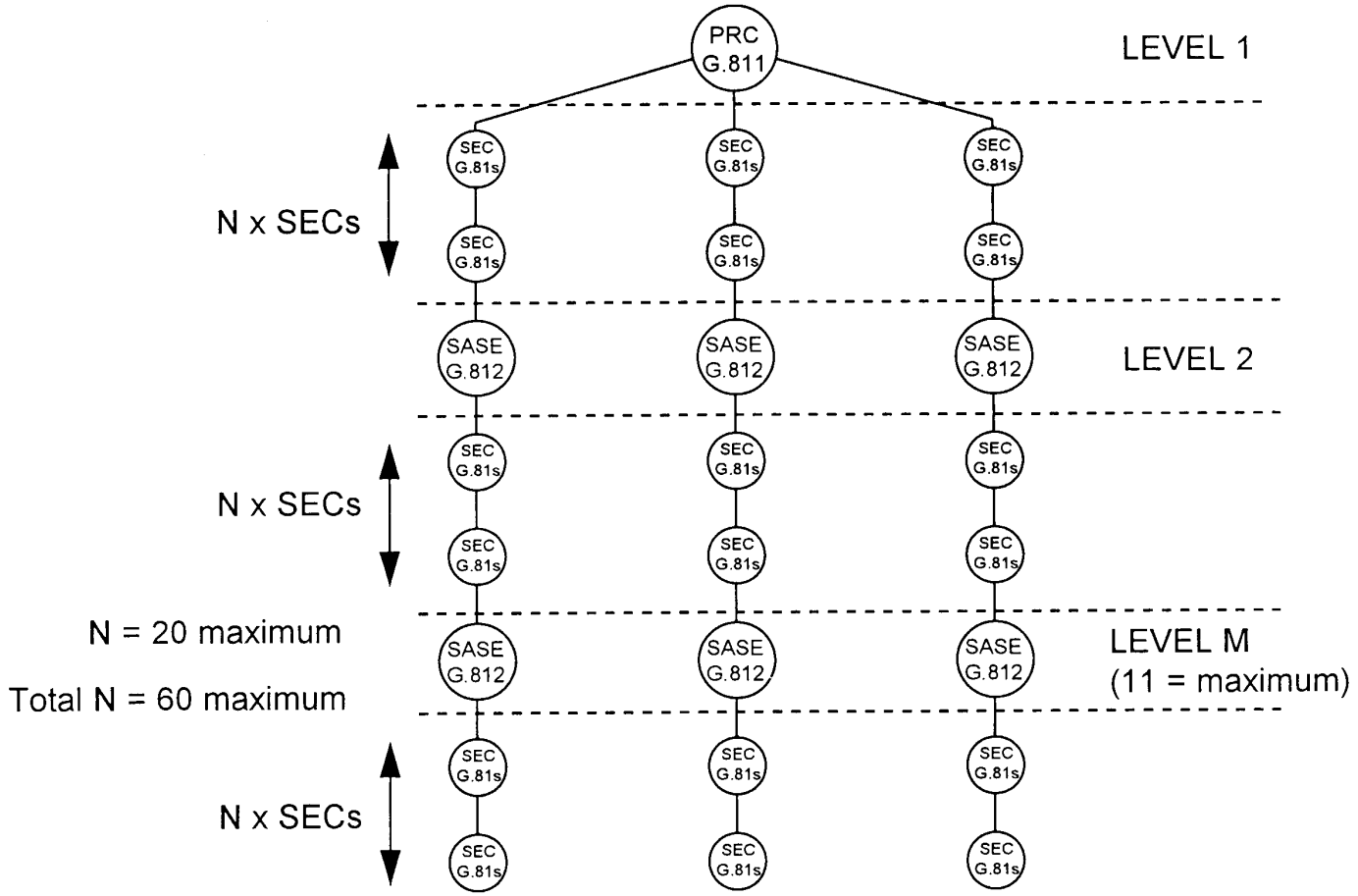
☞ SDH 망동기 특성

- 동기는 SDH 네트웍 사이에서 필요한 포인터의 조정을 최소화 할 것을 요구한다.
- 마스터-슬레이브 동기가 사용된다.
- Synchronization Trail은 STM-N 신호를 통하여 전송된다.
- 동기 신호는 STM-N에서 Demultiplexing 없이 직접 추출될 수 있다.
- 동기 신호는 Trail을 따라 SEC나 SASE에 의해서 재생된다.
- SASE는 노드 클럭이나 BITS(Building Integrated Timing Sources)이다.
- Synchronization Trail에서 NE와 SASE의 수는 제한된다.
  - SASE Max = 11
  - SEC Max = 20
  - Total SEC Max = 60
- 원더는 케이블의 수축과 팽창에 의해서 동기망에 유도되고, 타이밍 신호가 페이로드 신호에서 전송되어진다면 VC 포인터 조정에 의해서 유도된다.

☞ SDH 동기 계층

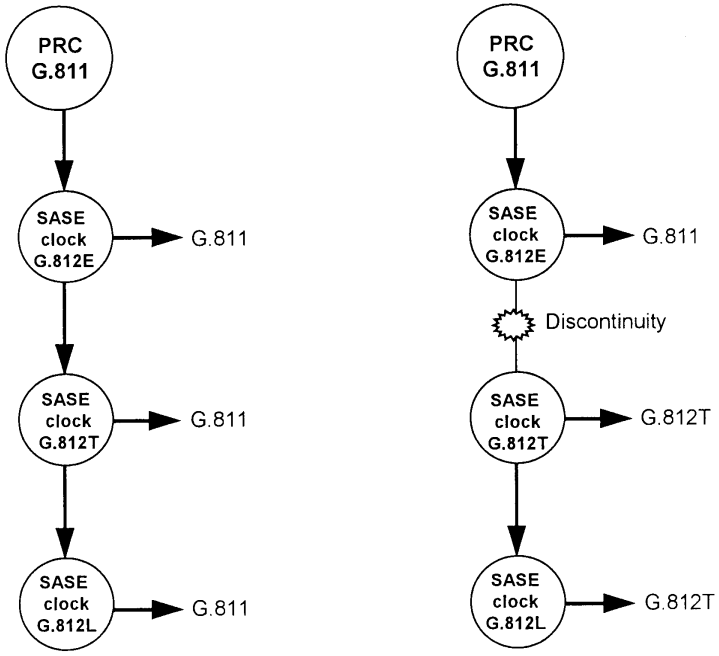

PRC
G.811
Primary connection
Secondary connection
SASE clock G.812
NATIONAL LAYER
REGIONAL LAYER
LOCAL LAYER

☞ SDH 망동기 레벨

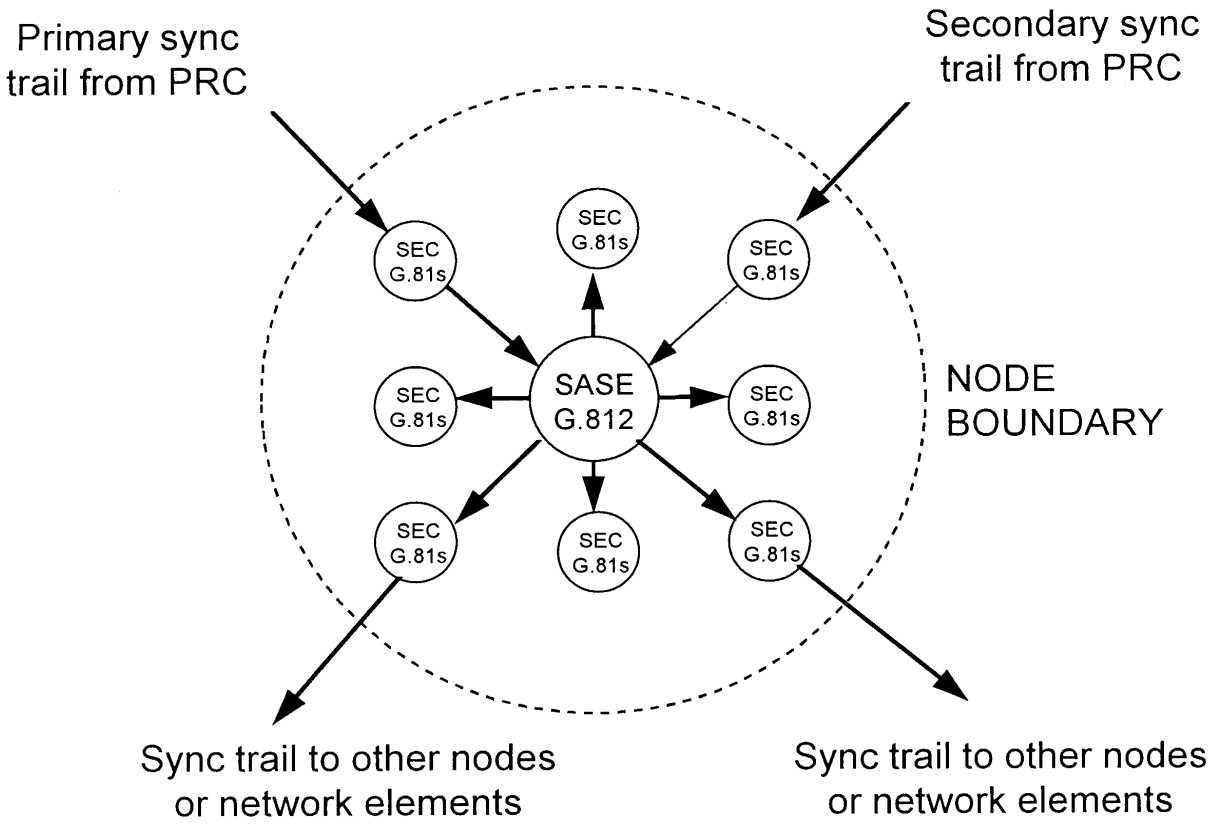

PRC
G.811
LEVEL 1
SEC
G.81s
N x SECs
SASE
G.812
LEVEL 2
N x SECs
N = 20 maximum
Total N = 60 maximum
LEVEL M
(11 = maximum)
N x SECs

☞ SDH Synchronization Trail

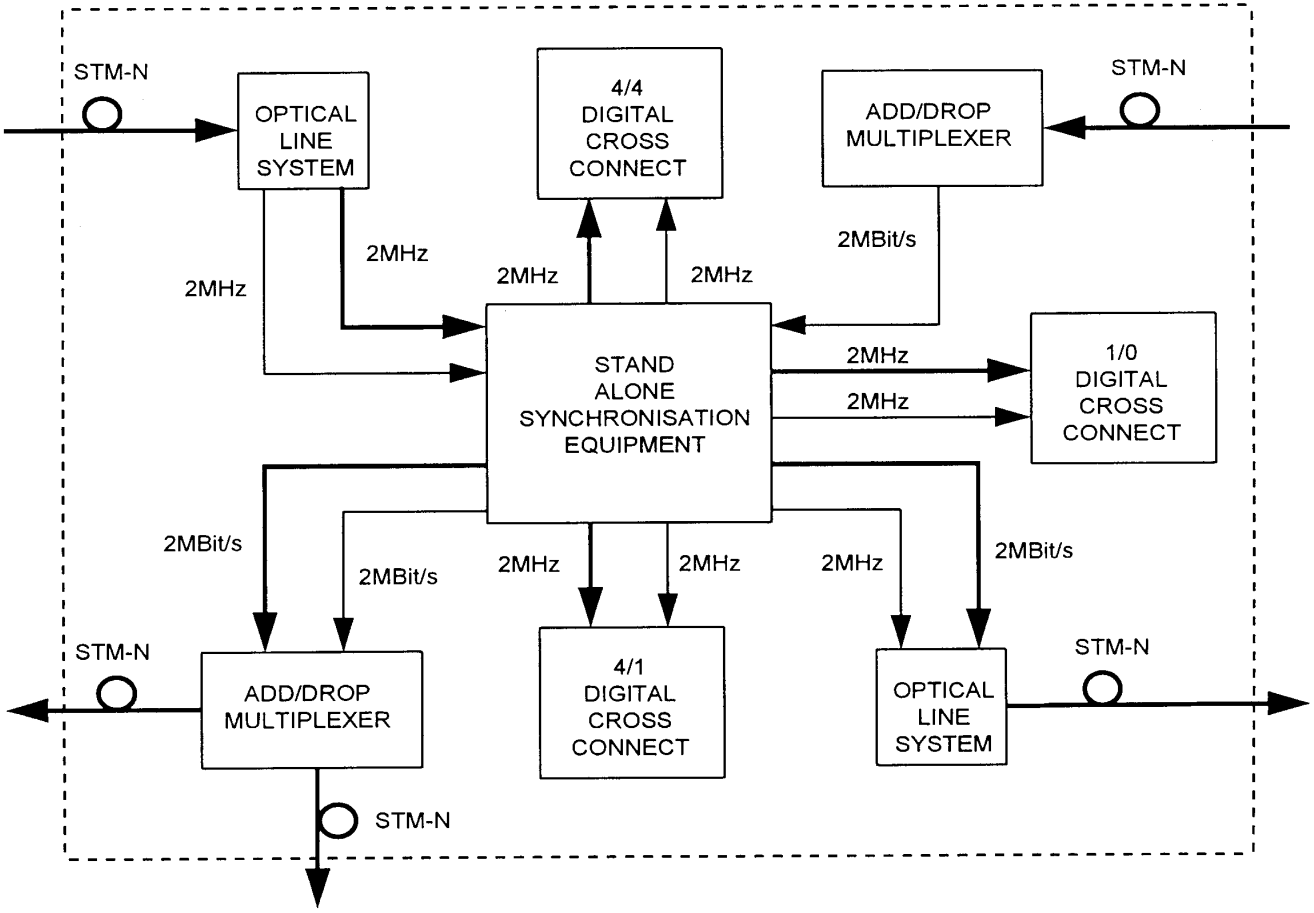
- ♧ 만약 PRC로부터의 동기 Trail이 양호한 상태라면 각 SDH 레벨에서의 품질은 PRC(1계위)와 같다.
- ♧ 만약 Synchronization Trail이 단절되었다면 단절 후 각 SDH 레벨에서의 품질은 SASE 클럭의 품질과 같다.(2계위)



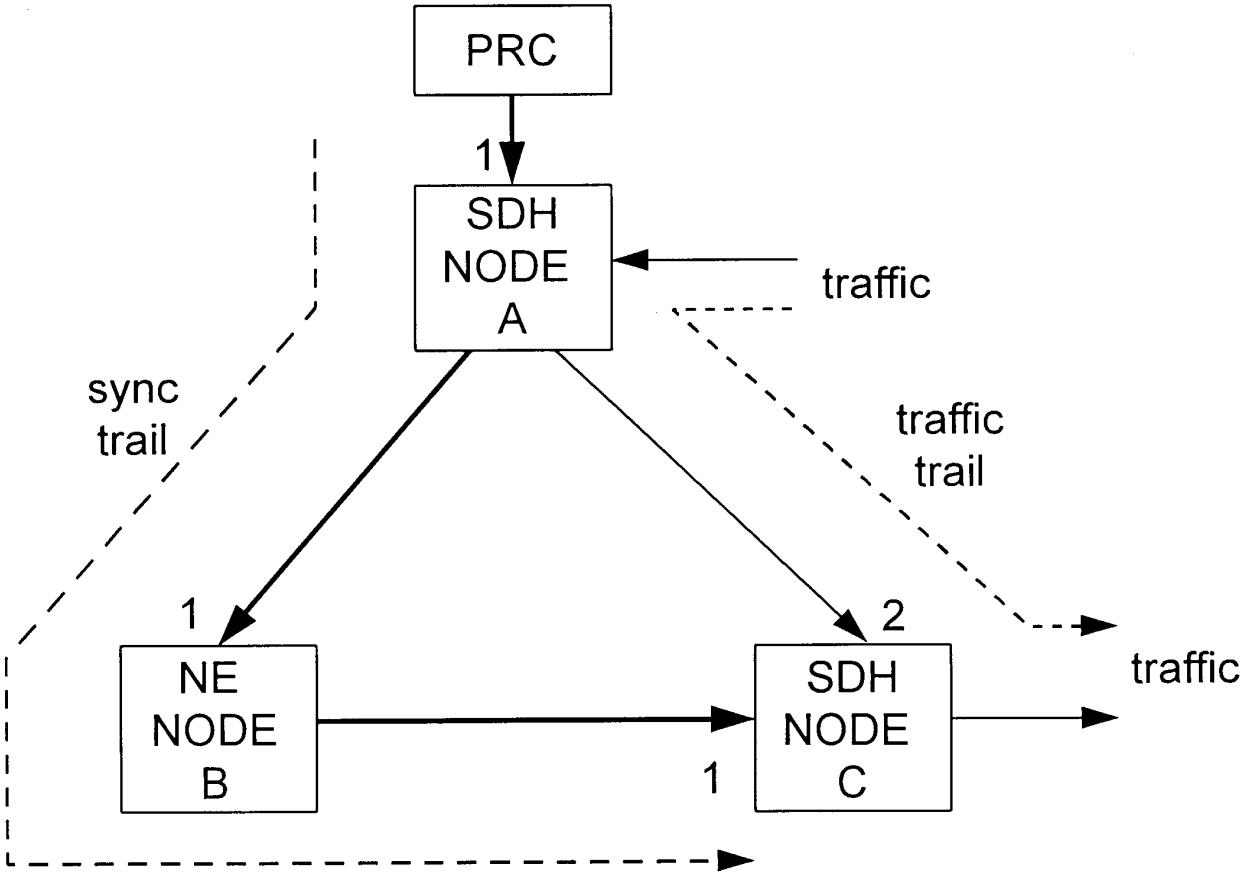
☞ NODE CLOCK


Primary sync trail from PRC
Secondary sync trail from PRC
SEC G.81s
SEC G.81s
SEC G.81s
SEC G.81s
SASE G.812
SEC G.81s
SEC G.81s
SEC G.81s
SEC G.81s
NODE BOUNDARY
Sync trail to other nodes or network elements
Sync trail to other nodes or network elements

SDH Node, SASE/NE



☞ 3노드 네트워크


PRC
1
SDH
NODE
A
traffic
sync
trail
traffic
trail
1
2
NE
NODE
B
SDH
NODE
C
traffic
1

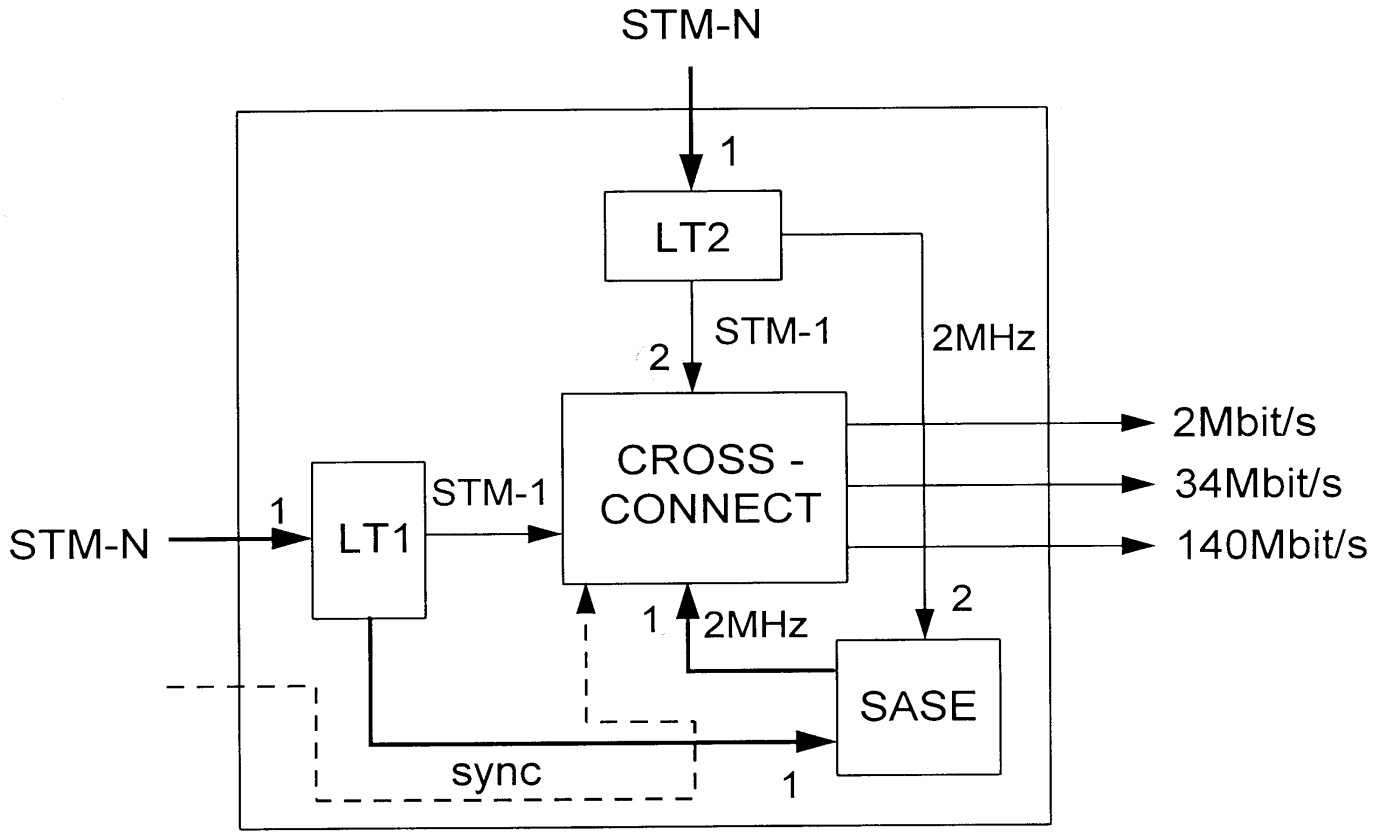
☞ Normal Condition

- ♧ 트래픽은 노드 A에서 노드 C로 보내진다.
- ♧ 노드 A는 PRC Trail에 동기된다.
- ♧ 노드 B는 노드 A에 동기된다.
- ♧ 노드 B의 동기 출력은 PRC를 따른다.
- ♧ 노드 C는 노드 B에 동기된다.
- ♧ 노드 C의 동기 출력은 PRC를 따른다.
- ♧ Synchronization Trail은 A-B-C이다.

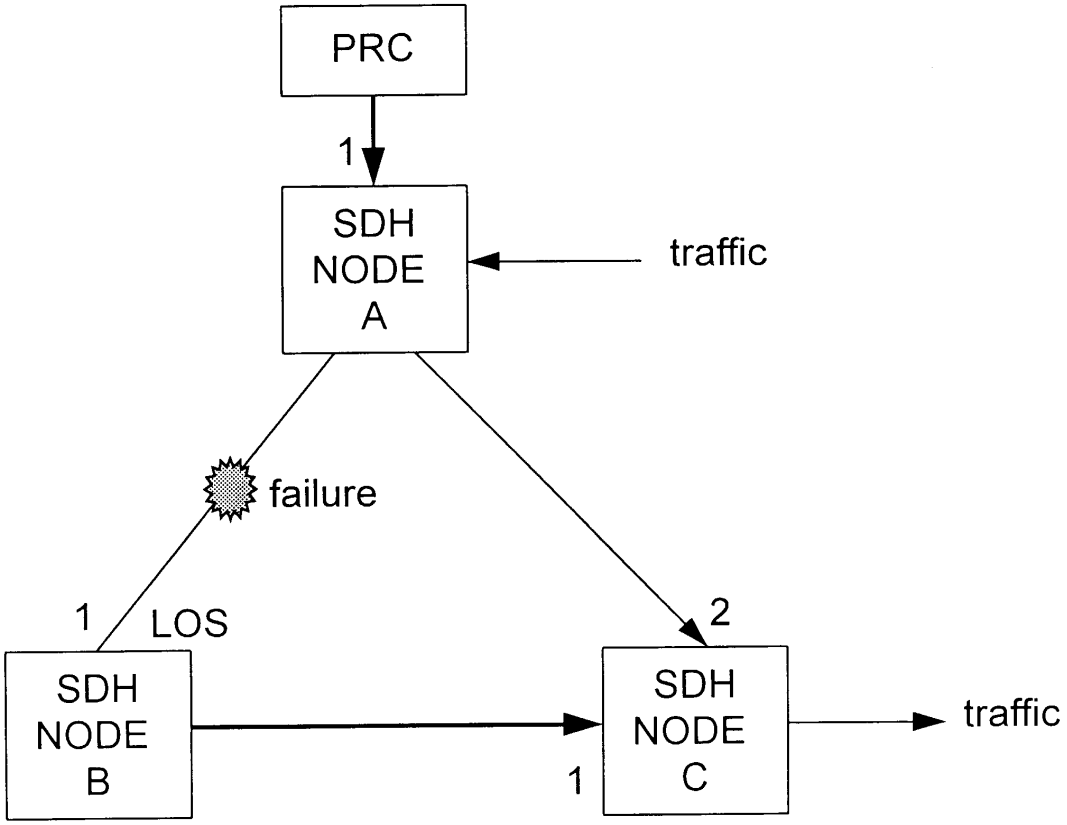
☞ 노드 C의 동기

- ♧ LT1은 노드 B로부터 입력되는 STM-N에 동기된다.
- ♧ LT2는 노드 A로부터 입력되는 STM-N에 동기된다.
- ♧ SASE는 첫 번째 우선순위로써 LT1으로부터 오는 2MHz 입력에 동기되고, 두 번째 우선순위로써 LT2에서 오는 STM-1에 동기된다.

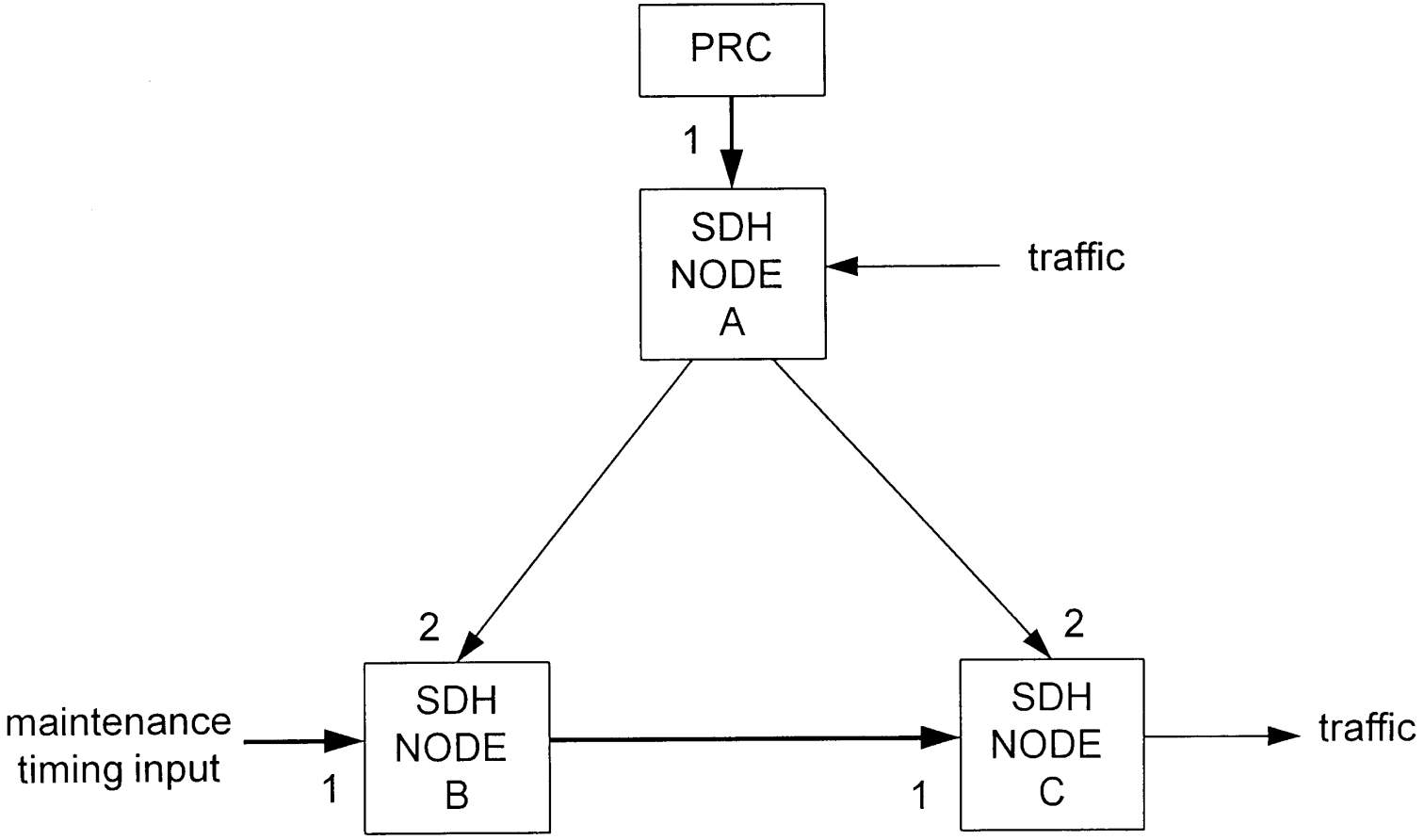
☞ 노드 C의 구조


STM-N
1
LT2
STM-1
2
2MHz
CROSS -
CONNECT
2Mbit/s
34Mbit/s
140Mbit/s
STM-N
1
LT1
STM-1
1
2MHz
2
SASE
sync
1

☞ 전송선로 장애


PRC
1
SDH
NODE
A
traffic
failure
1
LOS
2
SDH
NODE
B
SDH
NODE
C
1
traffic

☞ 유지 타이밍 신호입력

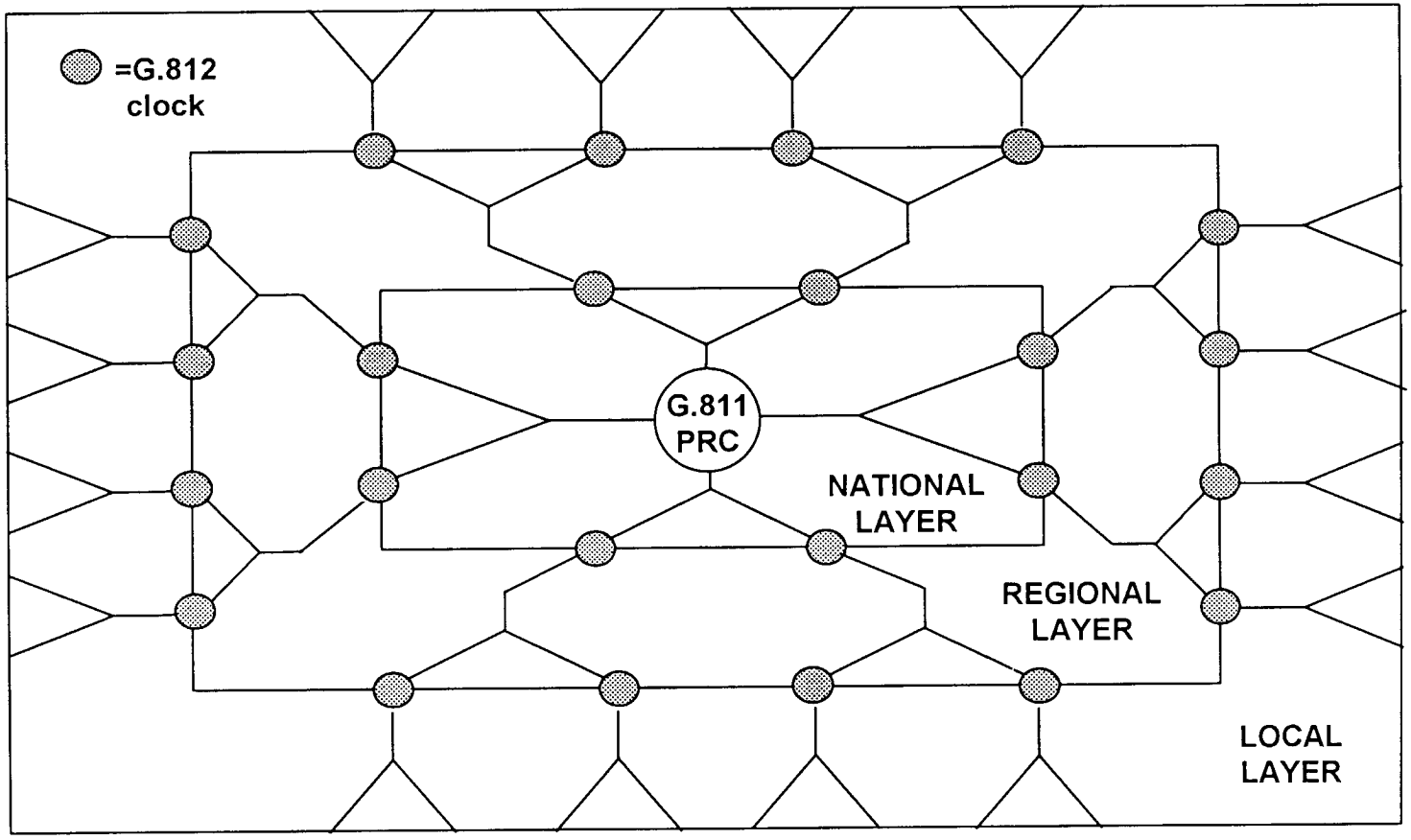

PRC
1
SDH
NODE
A
traffic
2
2
maintenance
timing input
1
SDH
NODE
B
1
SDH
NODE
C
traffic

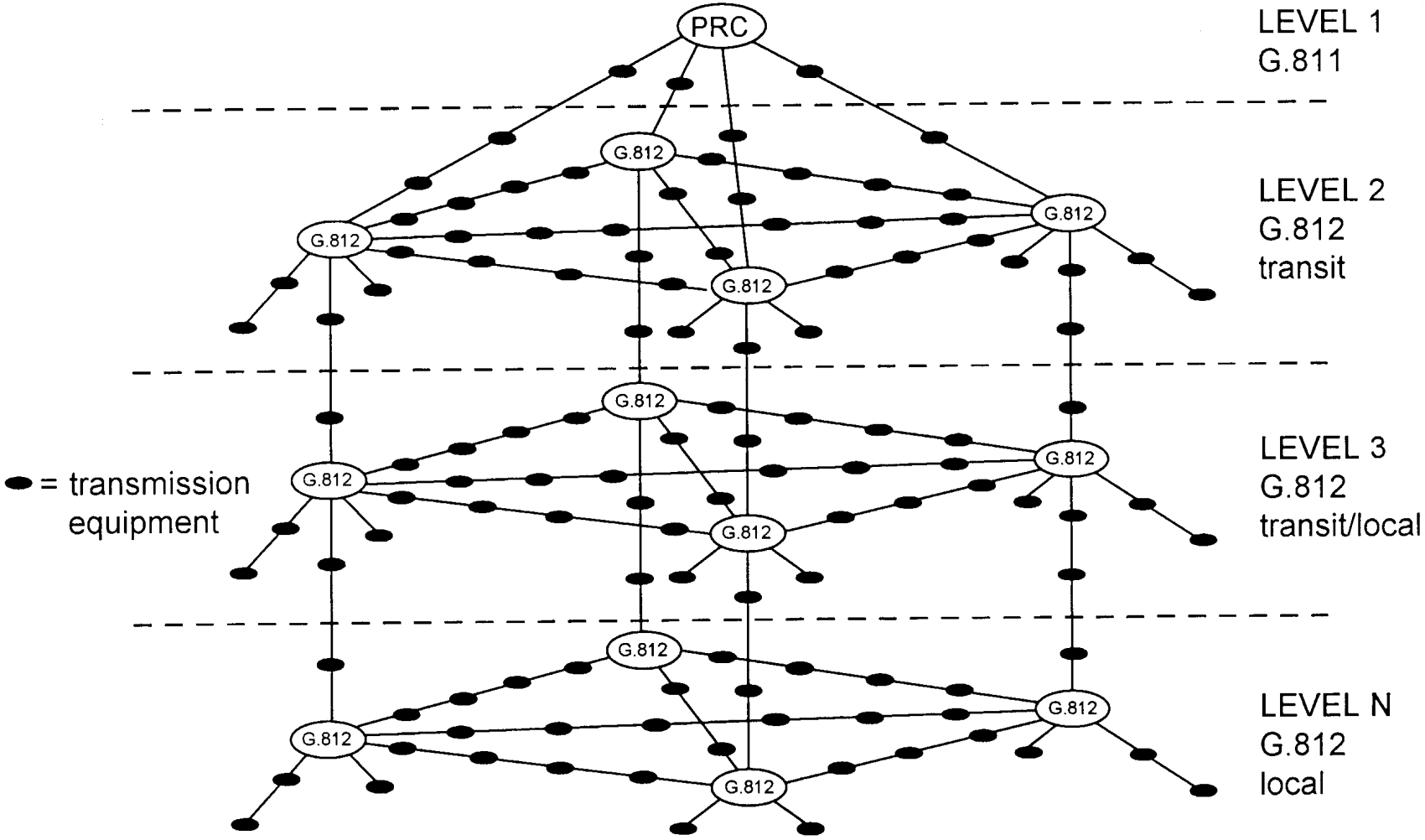
☞ 장애 및 유지 타이밍 신호입력

- ♧ 노드 B가 홀드오버 모드로 되거나 유지 타이밍 신호에 동기된다.
- ♧ 노드 C는 더 이상 PRC를 추적하지 못하게 된다.
- ♧ 노드 C에 연결된 타이밍 입력 1과 2는 이제 약간의 주파수 차이를 갖게 된다.
- ♧ 노드 C에 있는 입력 2에서 포인터 조정이 발생하게된다.
- ♧ Cross-Connect의 PDH 출력신호는 VC-12, VC-3, VC-4의 포인터 활동에서 기인한 추가적인 원더를 갖게되고
- ♧ 이 출력신호의 추가적인 원더는 특정한 형태의 트래픽에 영향을 미친다. (Video, Mobile Radio)
- ♧ SASE는 결국 입력신호 1이 나쁘다는 것을 검출하게되고, 입력 2를 타이밍 원으로 선택한다.

Centralized Master Clock Network Synchronization

- Synchronization Trail

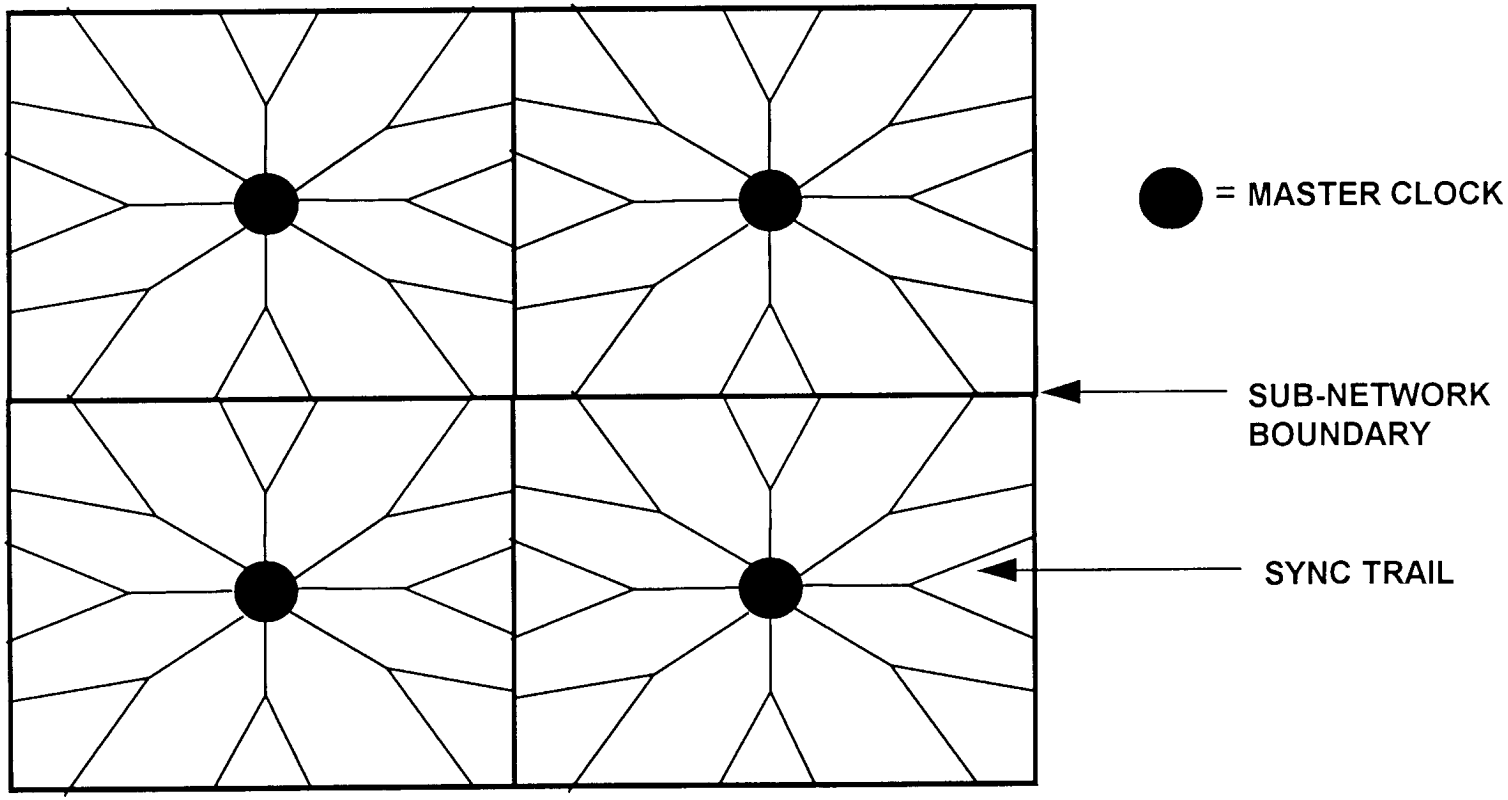



PRC
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
G.812
= transmission equipment
LEVEL 1
G.811
LEVEL 2
G.812
transit
LEVEL 3
G.812
transit/local
LEVEL N
G.812
local

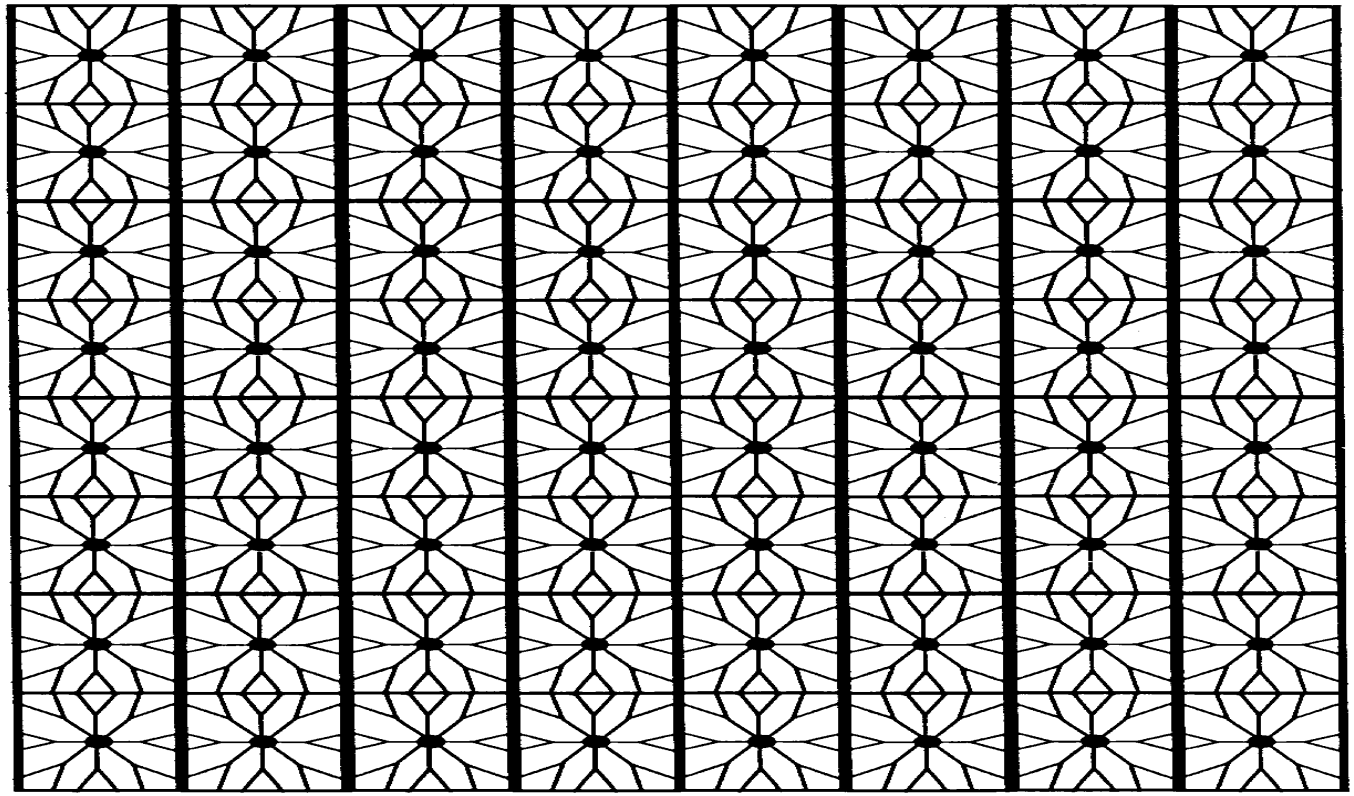
- Master-Slave Layer 동기망
- Synchronization Trail이 매우 길다.
- PRC에서 SASE까지의 연결, SASE 사이의 연결, NE간의 연결이 모두 양호한 상태이어야 한다.
- 동기망의 계획 및 수정이 어렵다.
- 타이밍 루프를 만들 가능성이 있다.
- PRC가 비싸다.

Distributed Master Clock Network Synchronization

- Synchronization Trail



☞ 망 구성도



- Sub-Network에서는 마스터-슬레이브 계층 동기 구조를 취한다.
- 단조로운 동기 형태
- 짧은 Synchronization Trail
- 동기망의 수정과 계획이 용이
- 타이밍 루프의 발생 위험이 적다.
- 많은 서브-네트웍이 있는 경우 가격이 매우 비싸다.
- GPS와 같은 클럭원을 사용할 경우 보다 싼 가격으로 구성할 수 있다.
- SASE는 GPS 수신기의 단기 불안정을 필터할 필요가 있다.
- 안테나를 설치하거나 허가를 받고 장소를 선택할 필요가 있다.
- 클럭원이 낙뢰 등으로 파괴될 가능성이 있다.
- 무선 인터페이스를 사용하므로 간섭의 영향을 받을 수 있다.

☞ Centralized / Distributed 마스터 클럭 동기

♧ Centralized 마스터 클럭을 사용할 경우

- 모든 노드의 연결이 자기 소유의 SDH로 될 경우
- 각 노드가 적어도 2개의 동기 입력을 갖는 경우
- 상대 원더가 18μs 보다 작은 경우

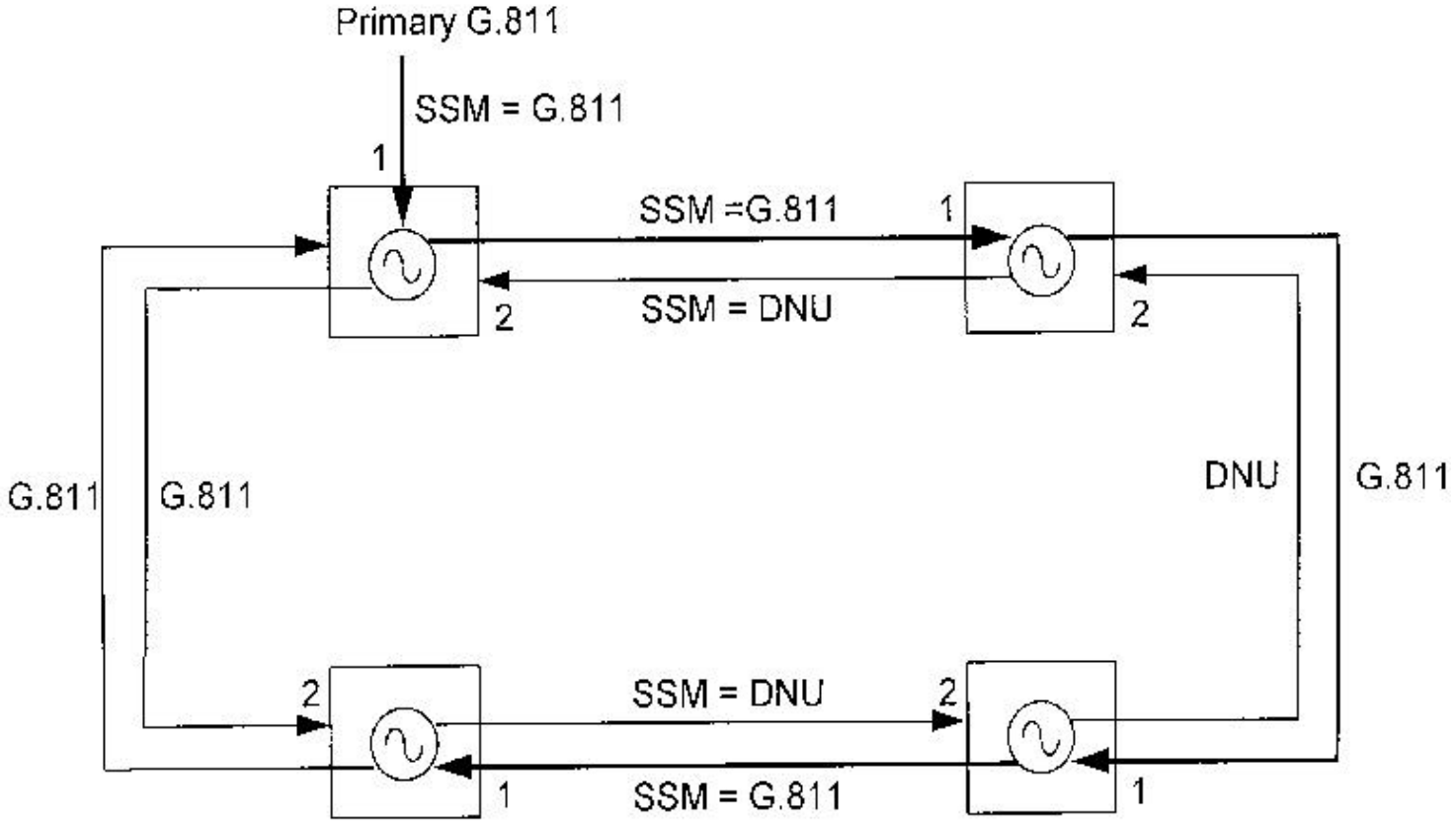
♧ Distributed 마스터 클럭을 사용할 경우

- 연결된 노드가 전부 SDH나, 2Mbps 라인을 사용하지는 않는 경우
- 노드가 단지 하나의 동기 입력을 받는 경우
- 상대 원더가 18μsec 보다 큰 경우
- 공공 네트웍으로부터 동기의 품질과 유용성이 보장되지 않는 경우

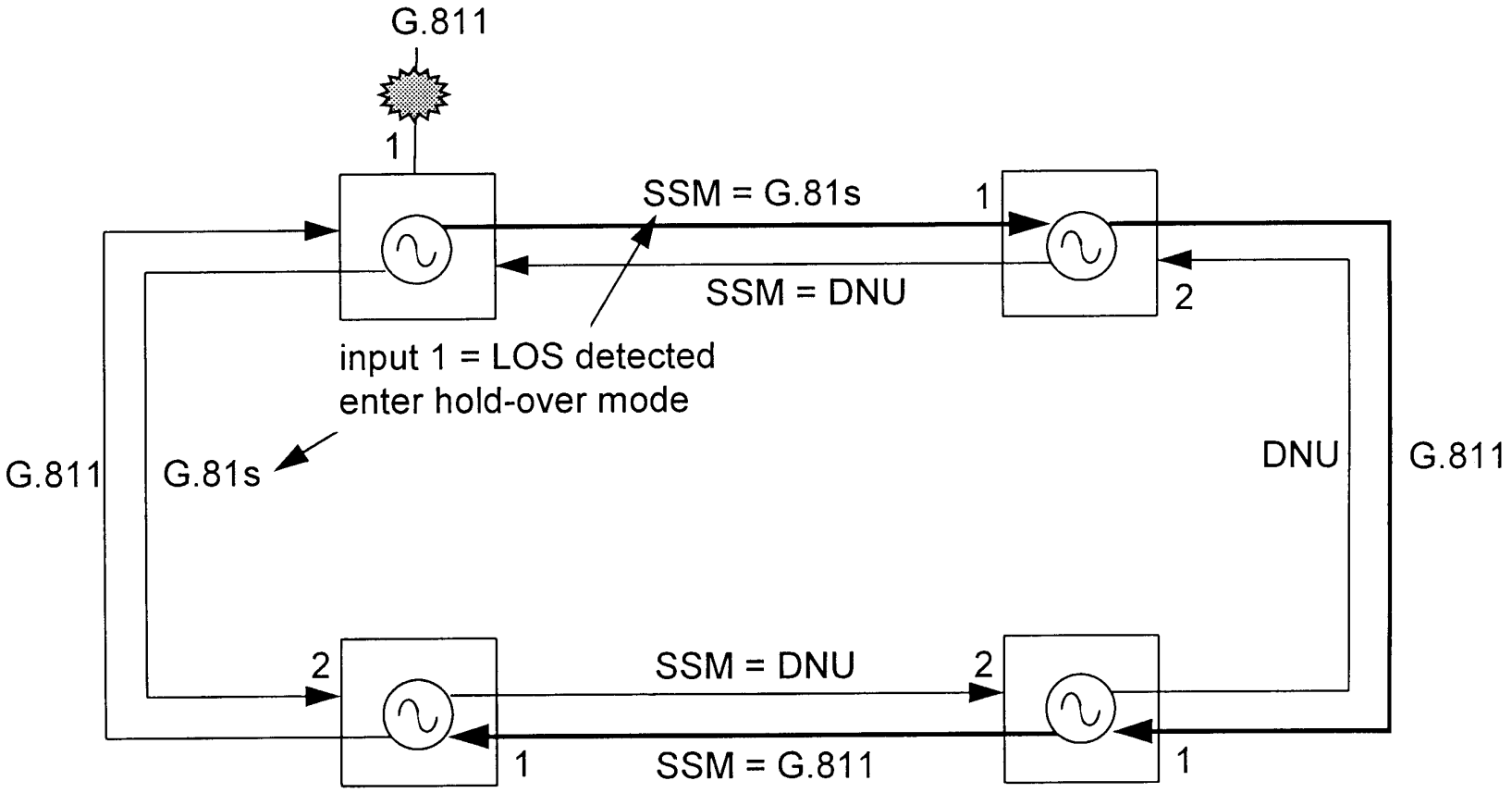
SDH Ring Sub-Network Synchronization

☞ SDH Ring Synchronization A

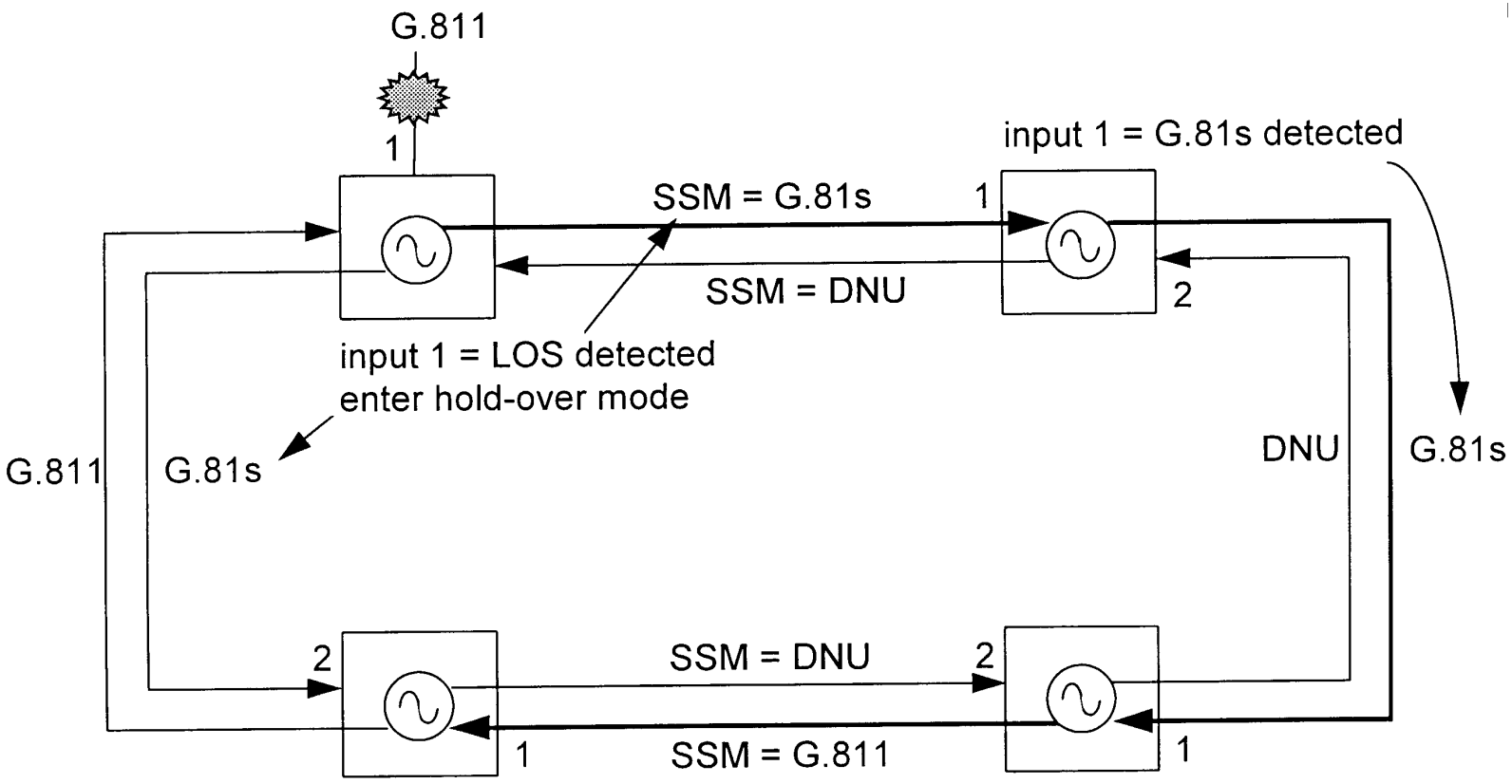
♧ Normal Condition



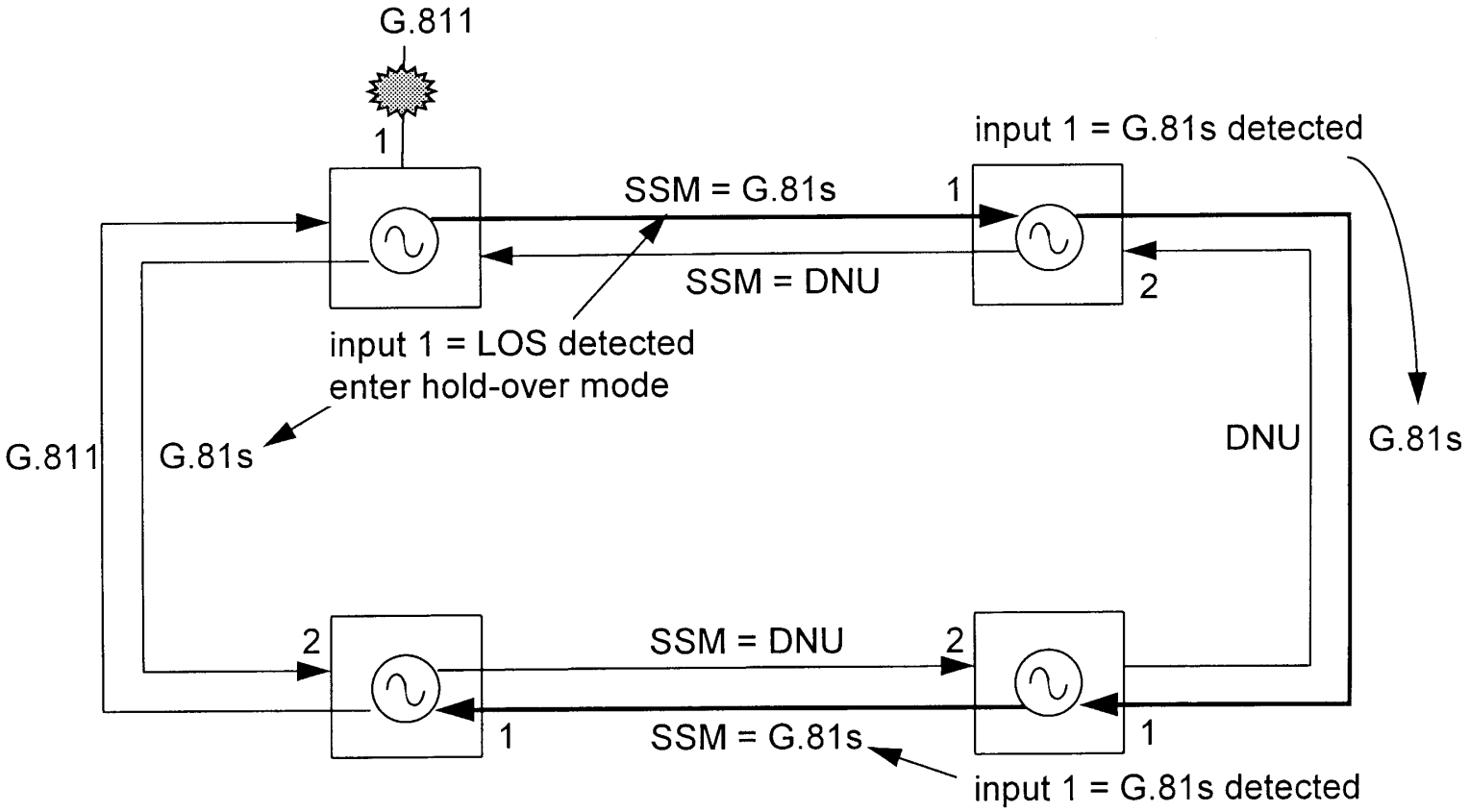
G.811 Section Fail 1



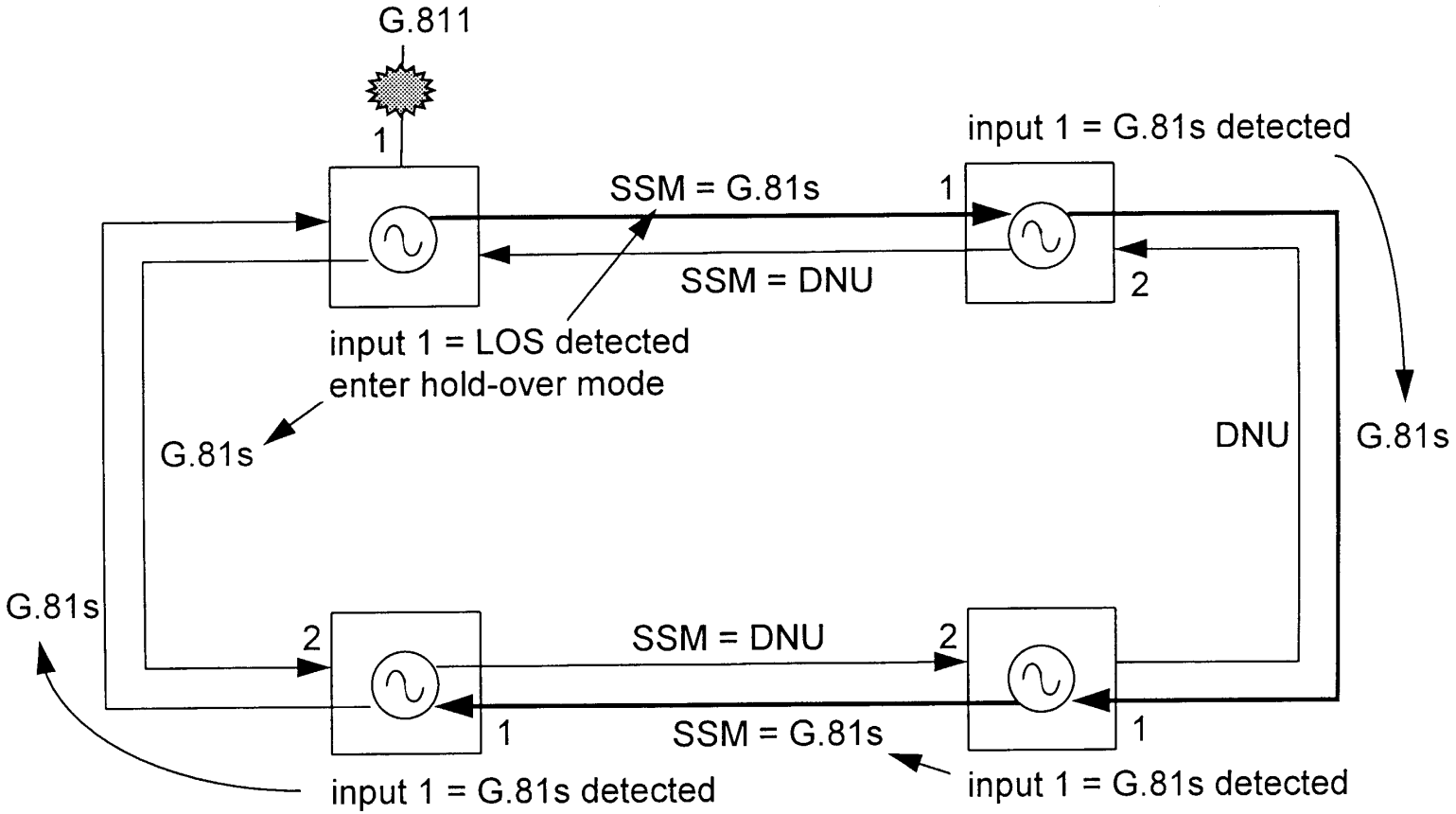
G.811 Section Fail 2



G.811 Section Fail 3

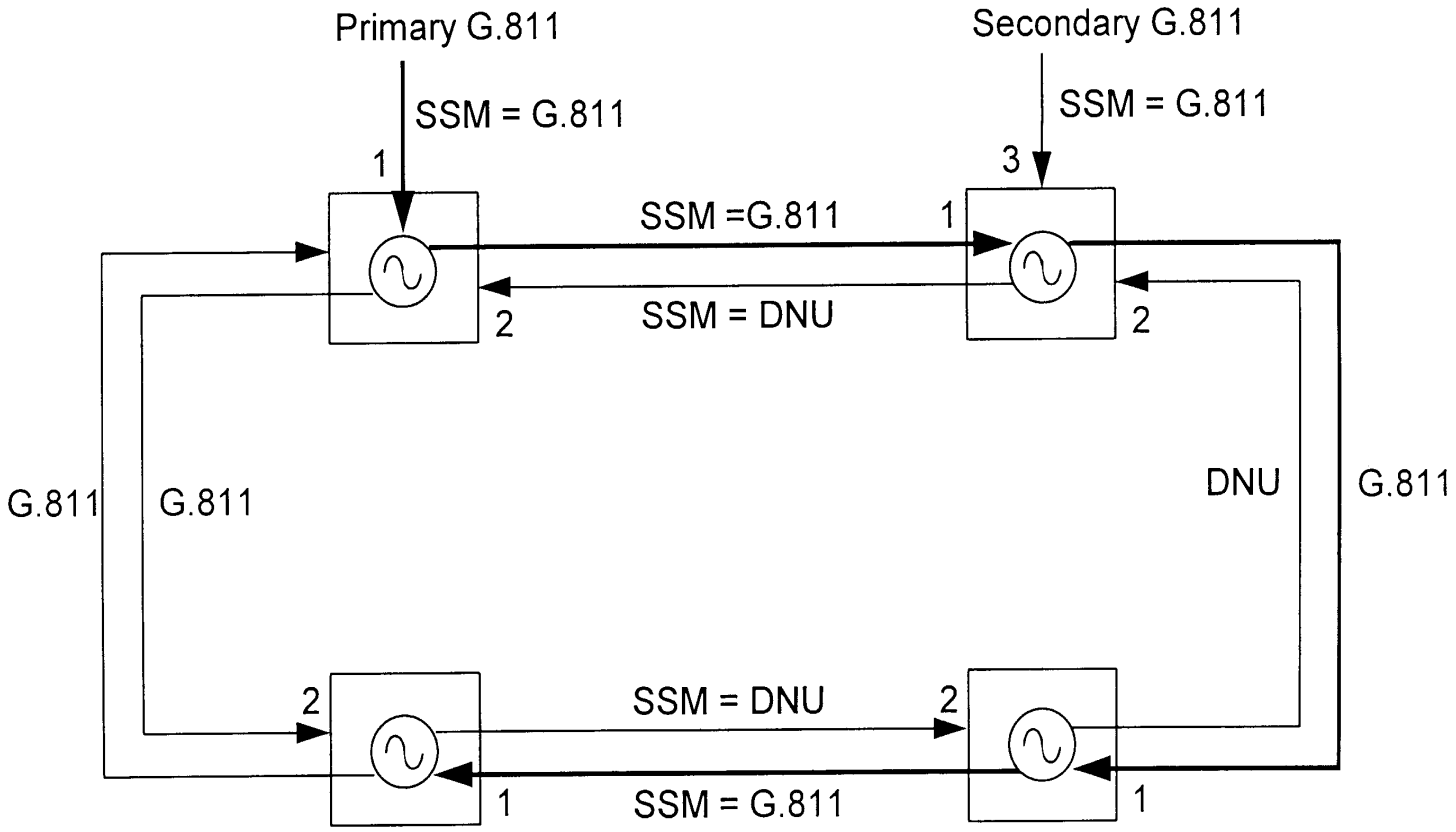


G.811 Section Fail 4

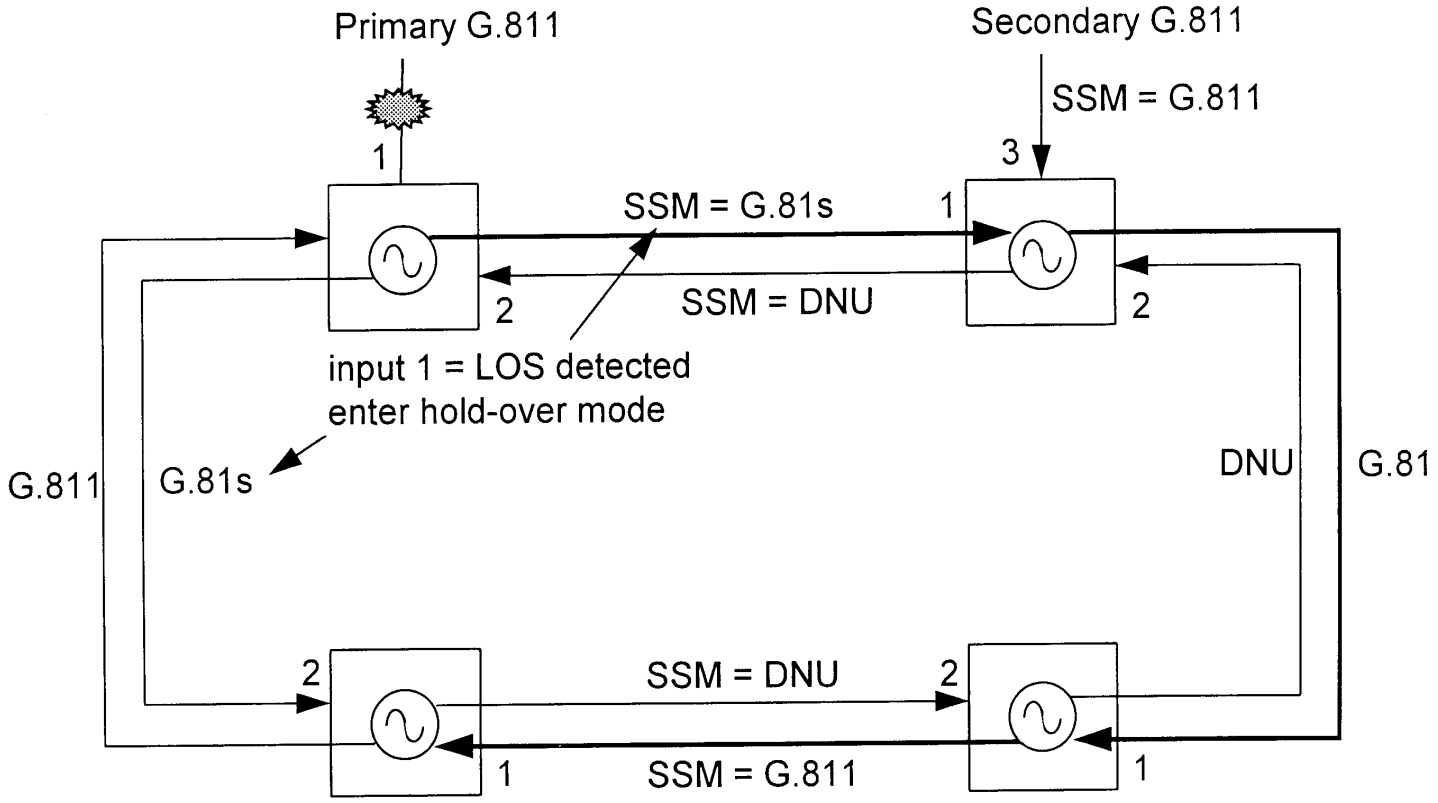


☞ SDH Ring Synchronization B

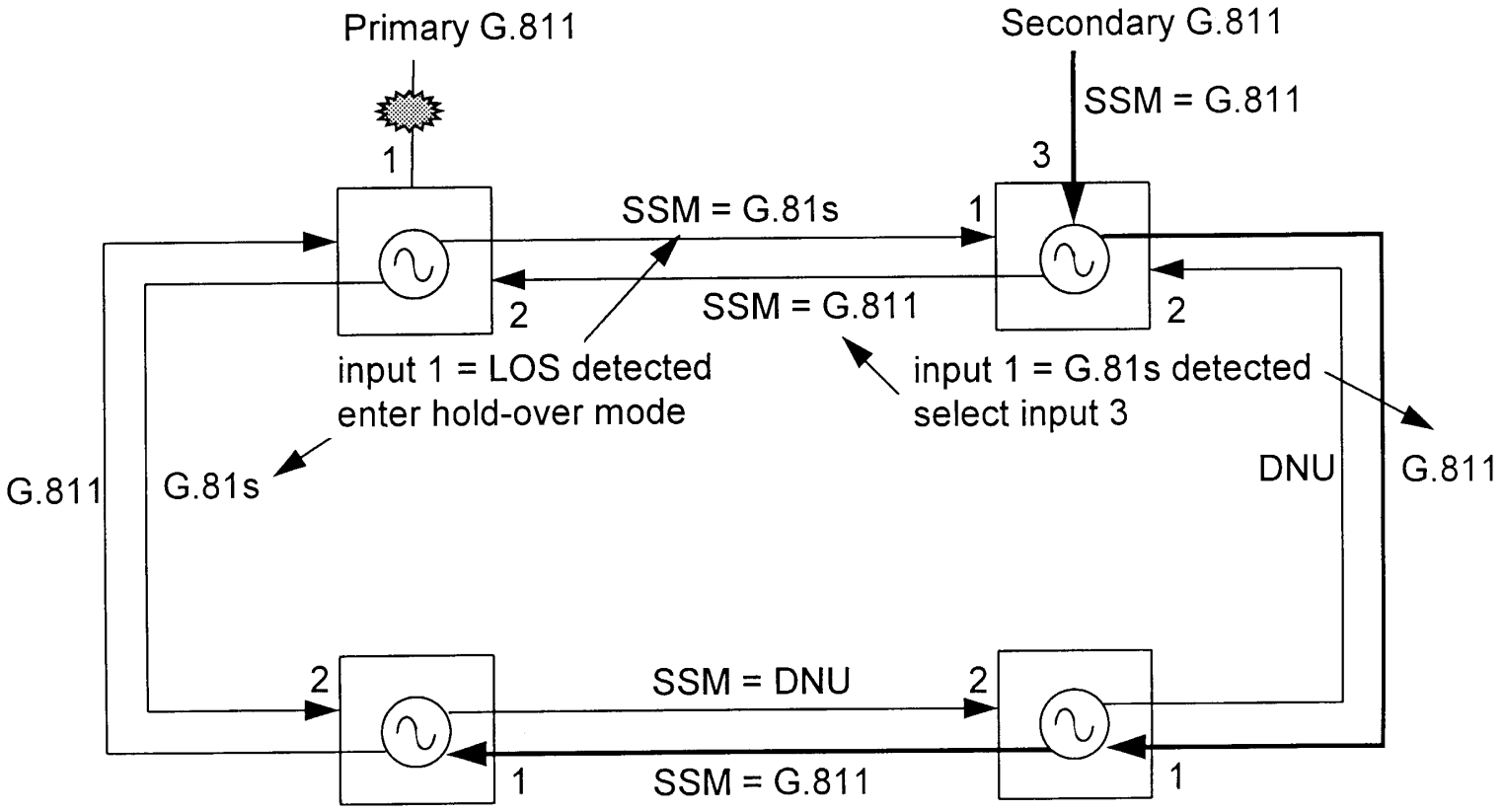
♧ Normal Condition



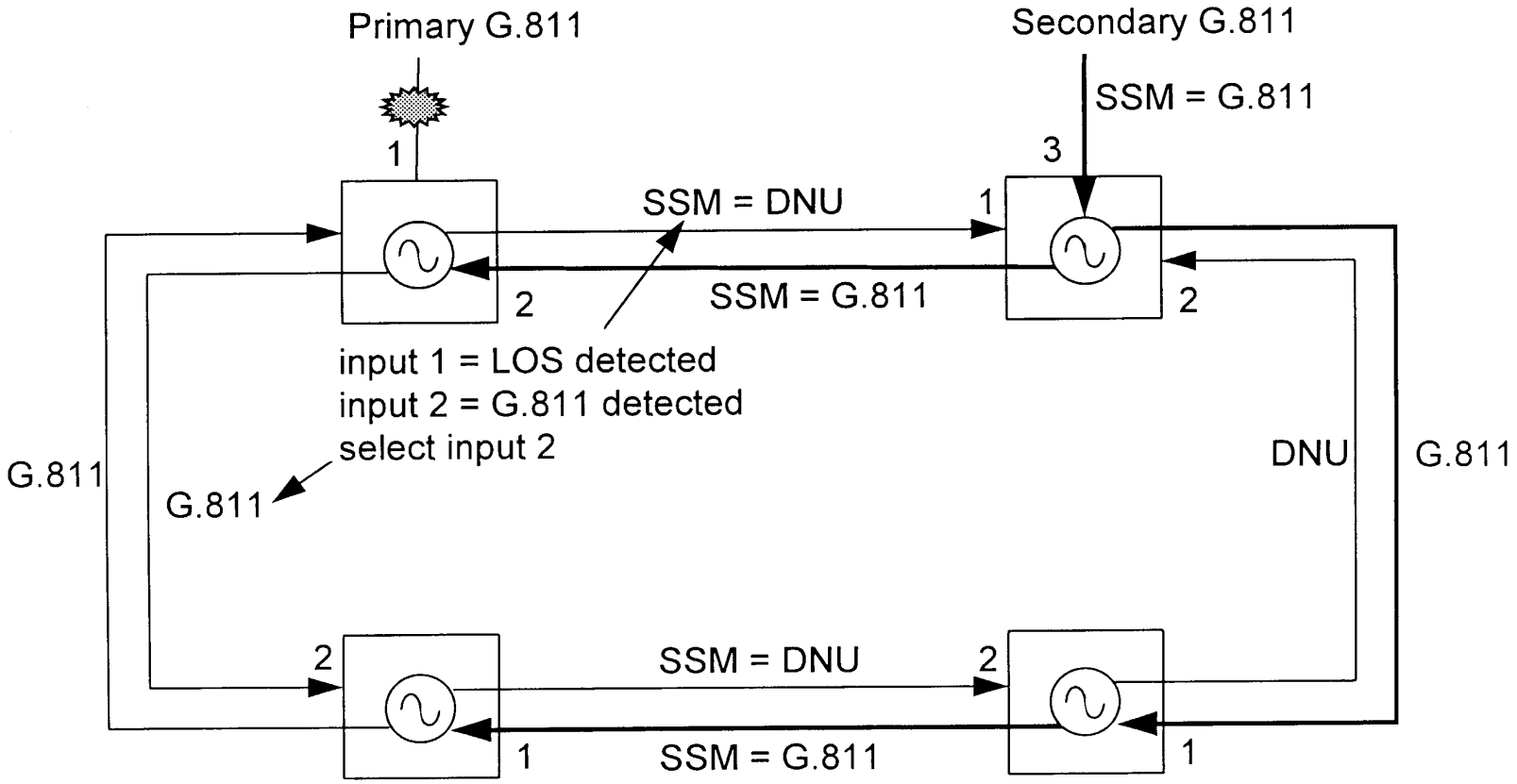
G.811 Section Fail 1



G.811 Section Fail 2

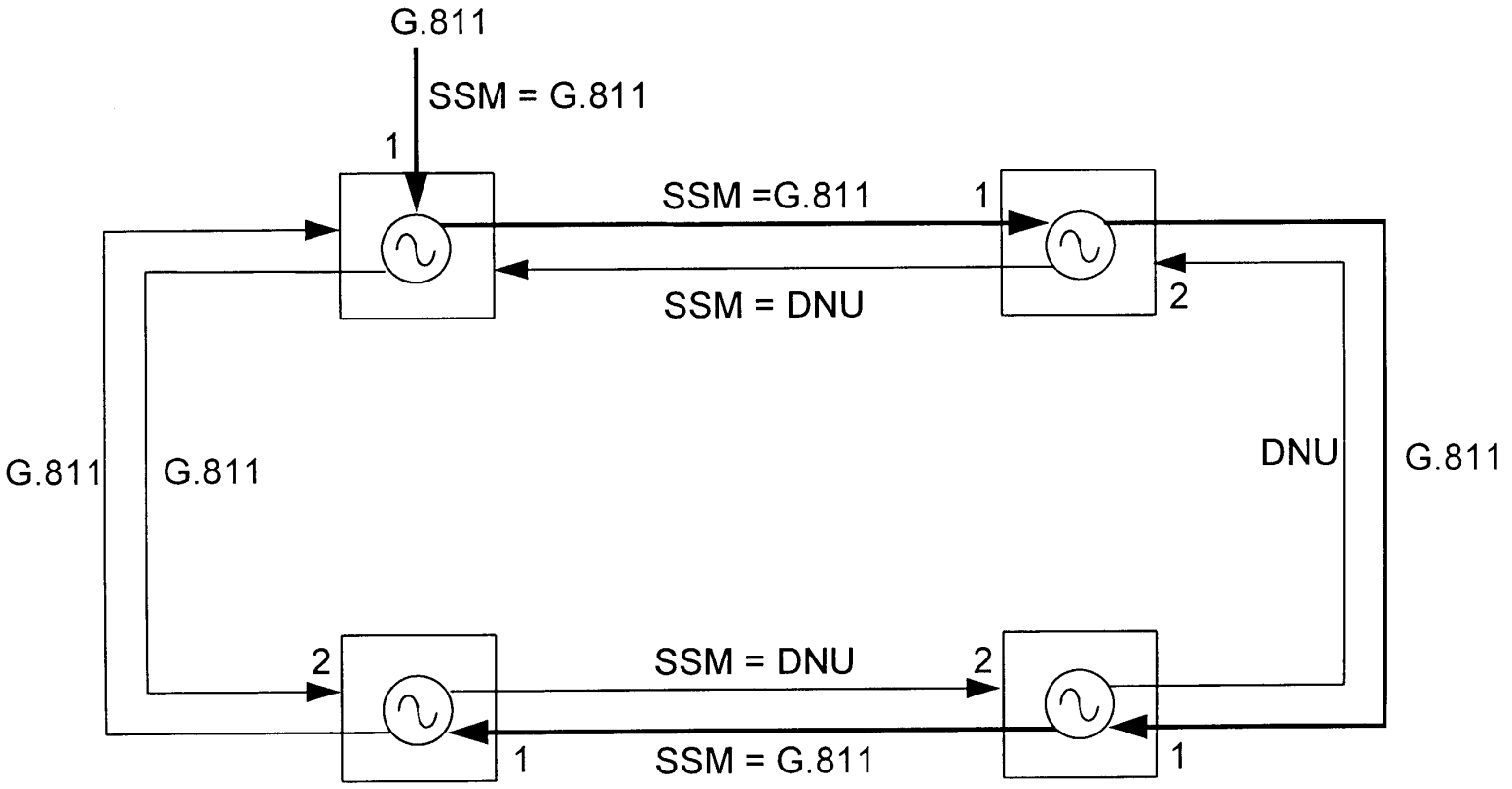


G.811 Section Fail 3

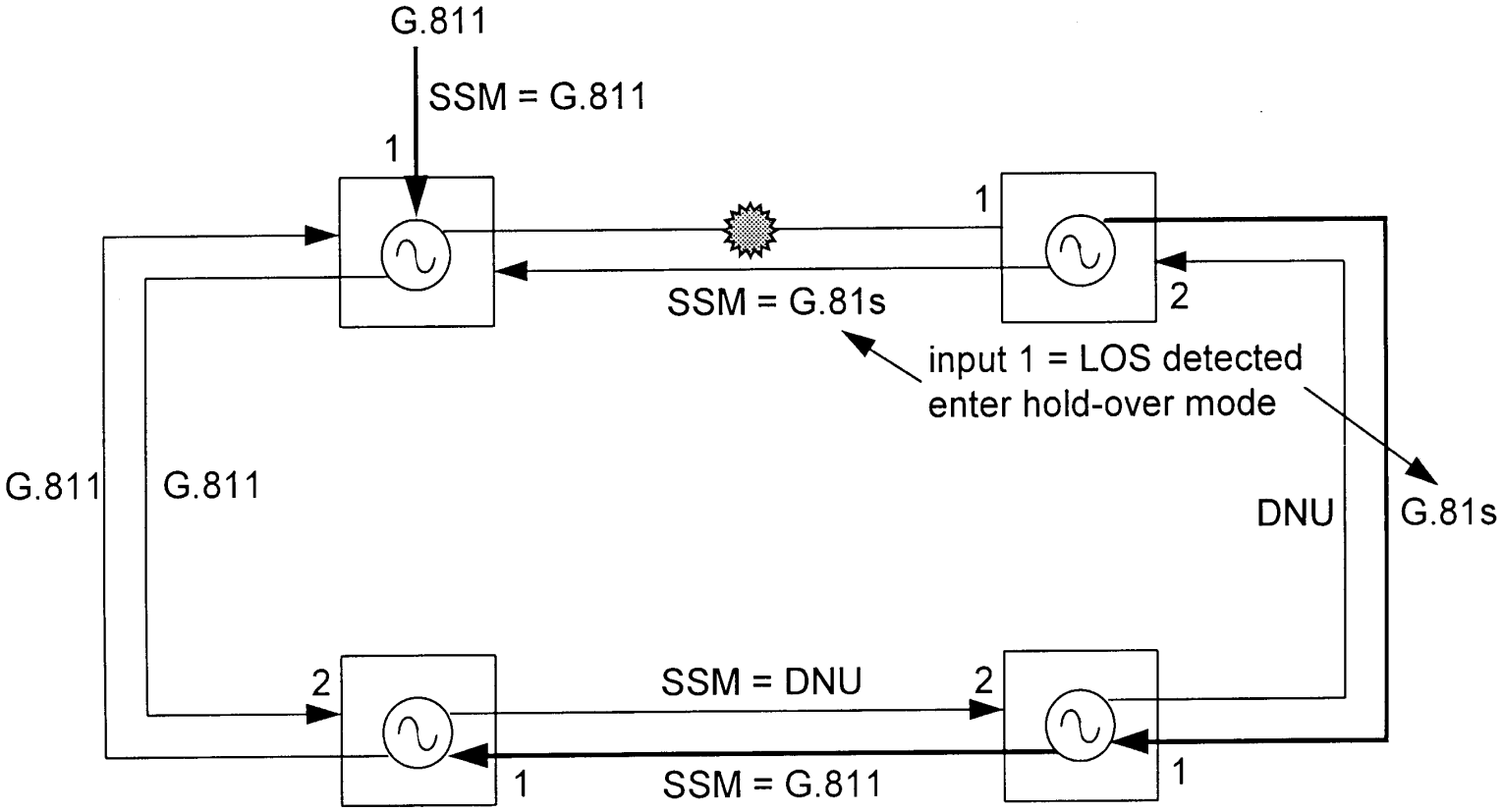


☞ SDH Ring Synchronization C

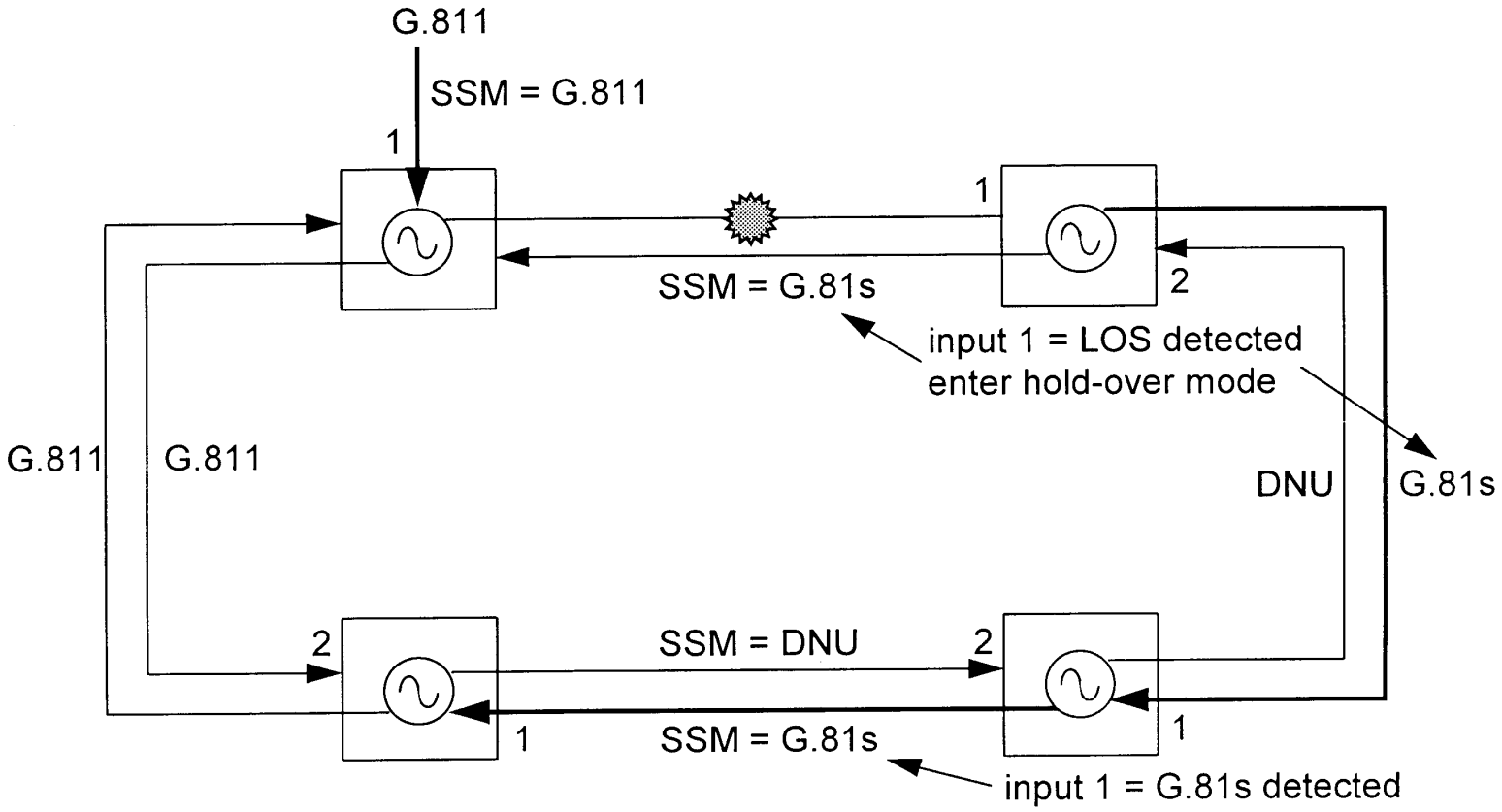
♧ Normal Condition



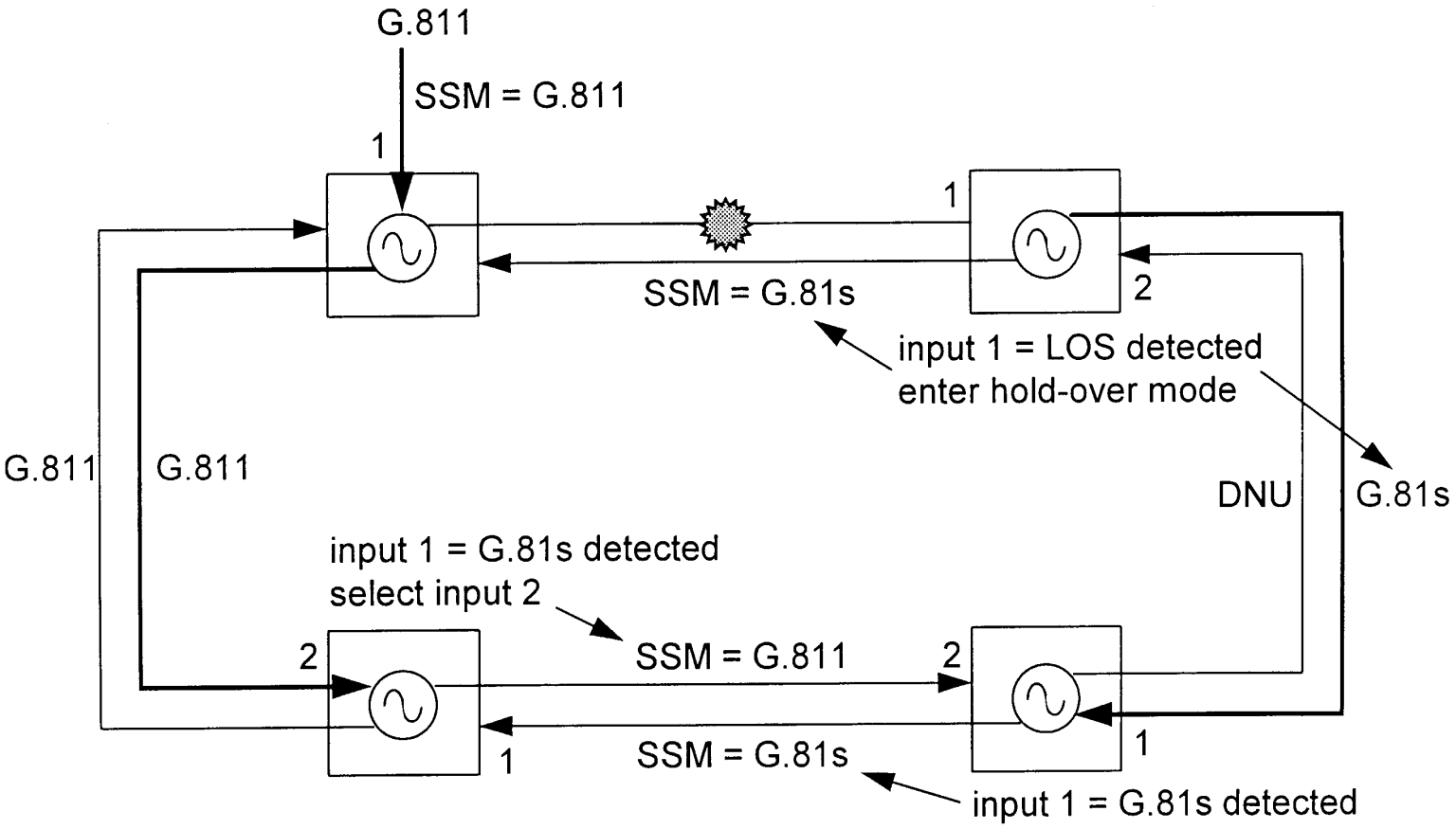
Ring Section Fail 1



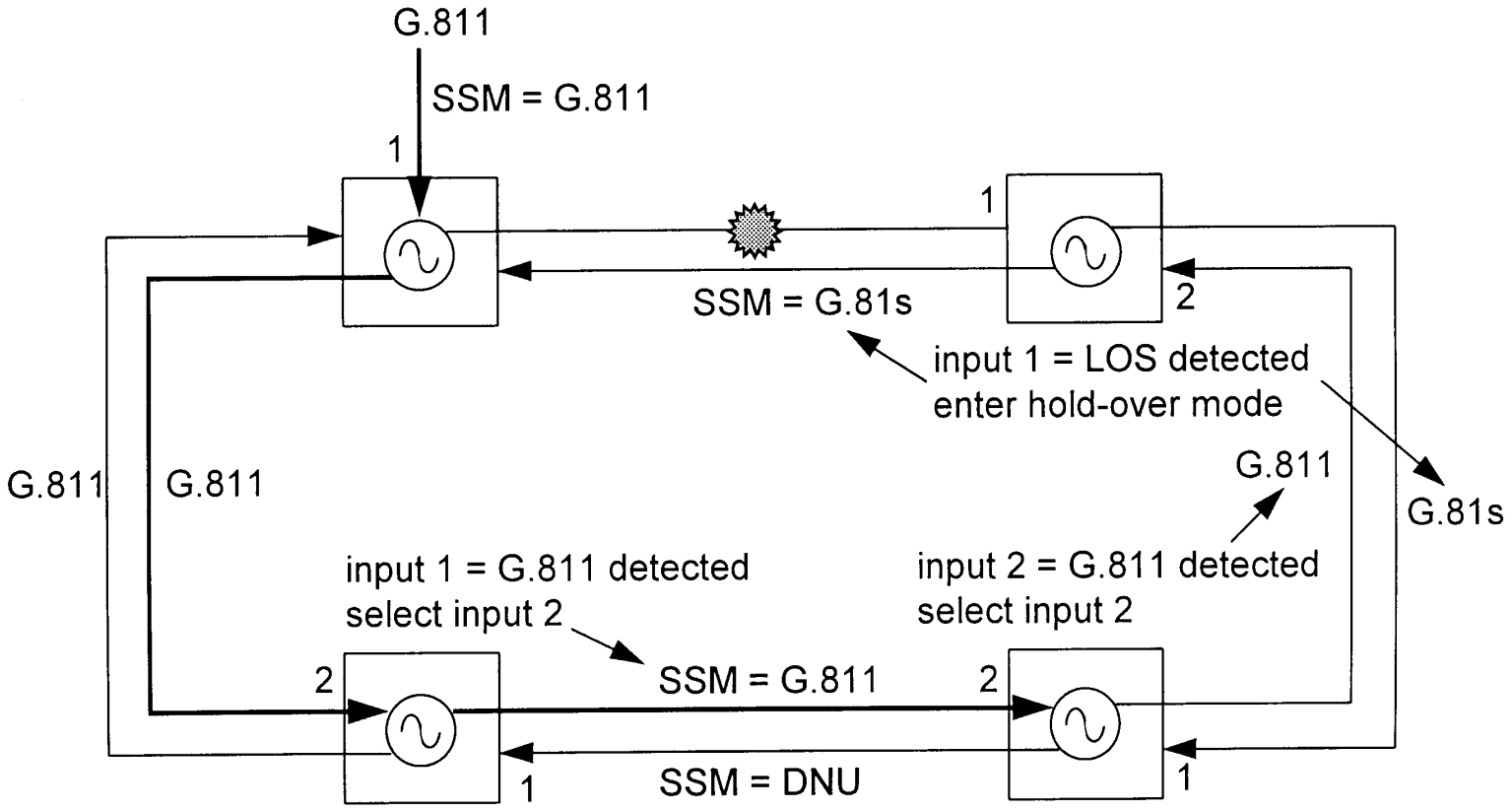
Ring Section Fail 2



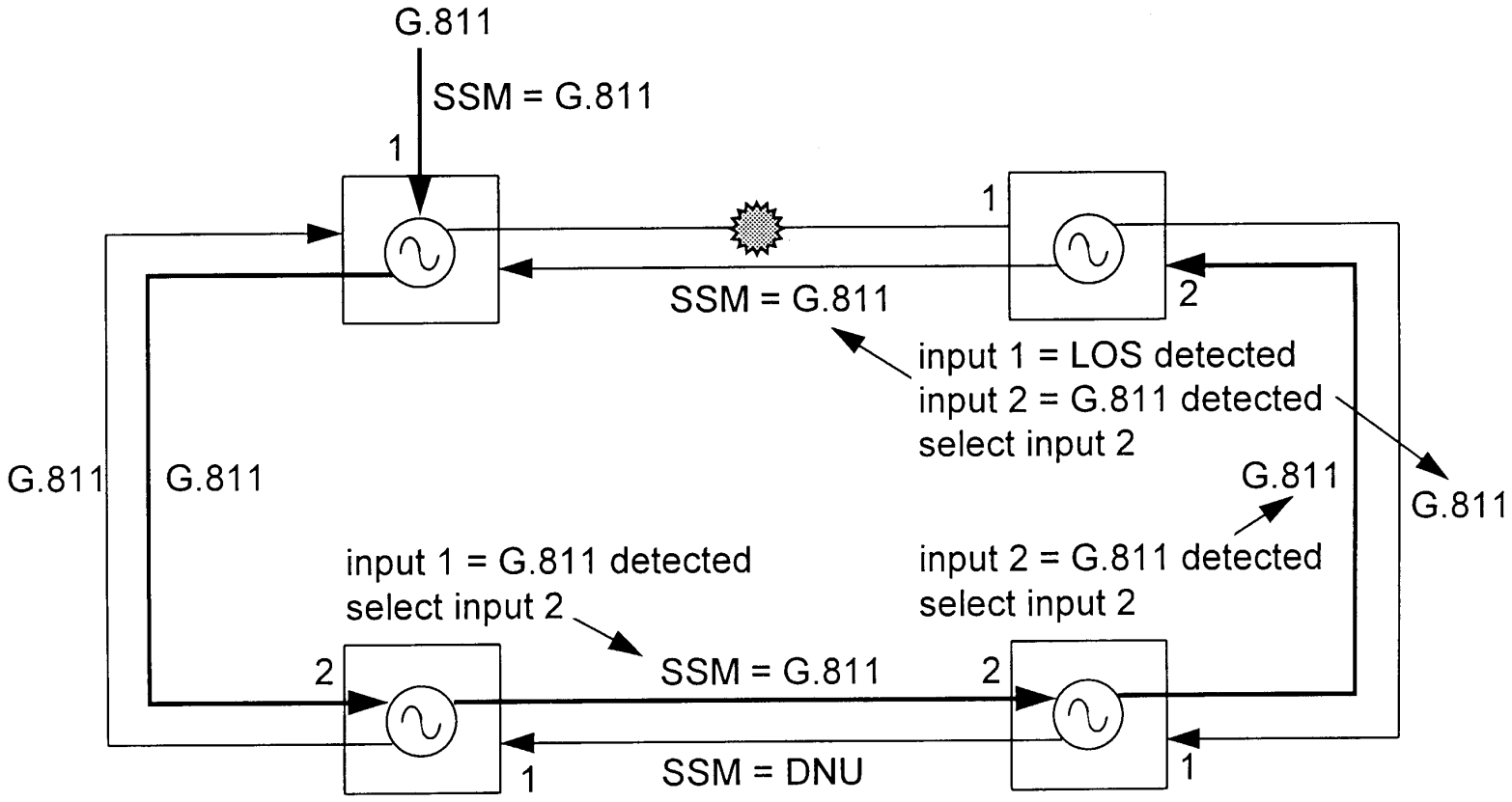
Ring Section Fail 3



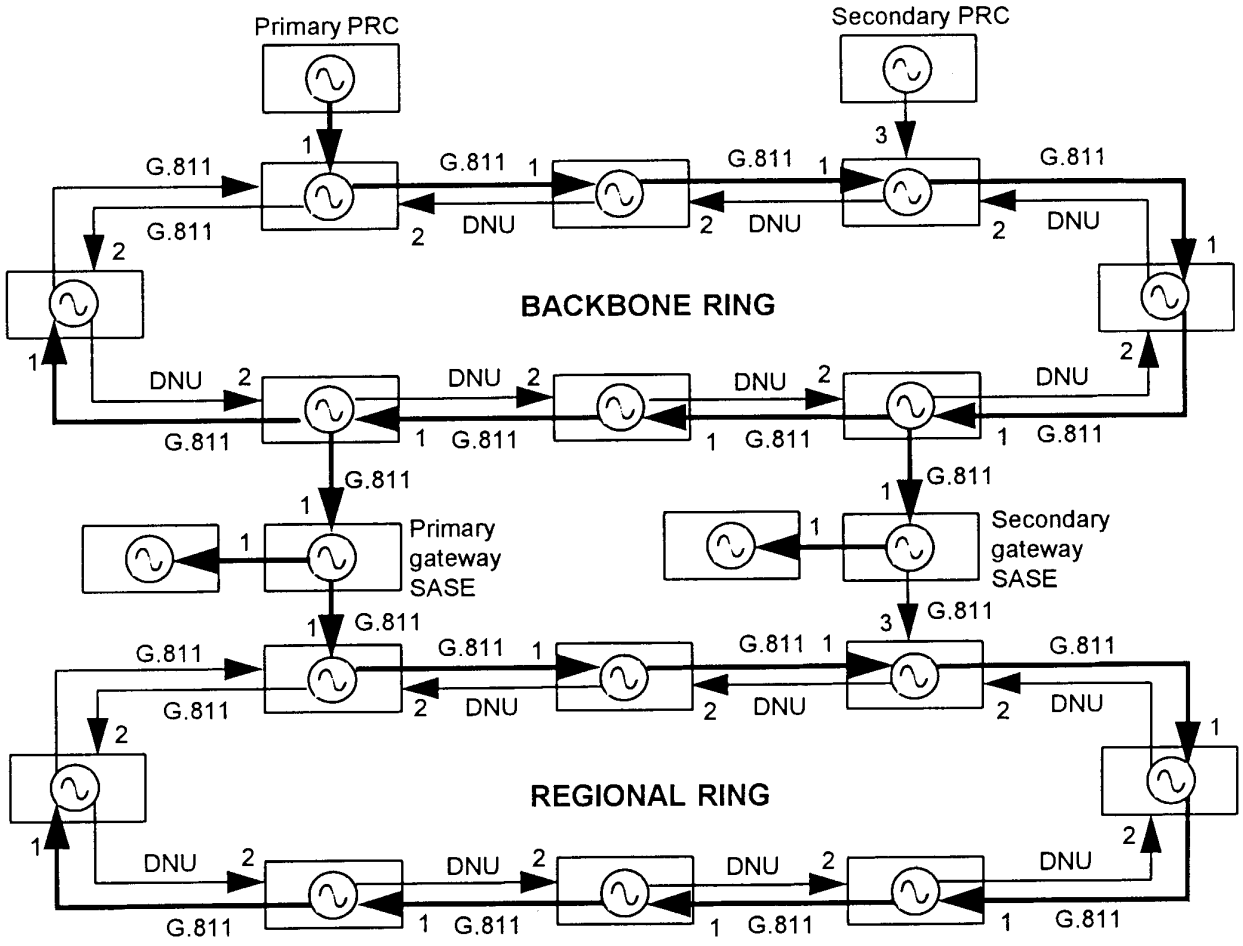
Ring Section Fail 4



Ring Section Fail 5

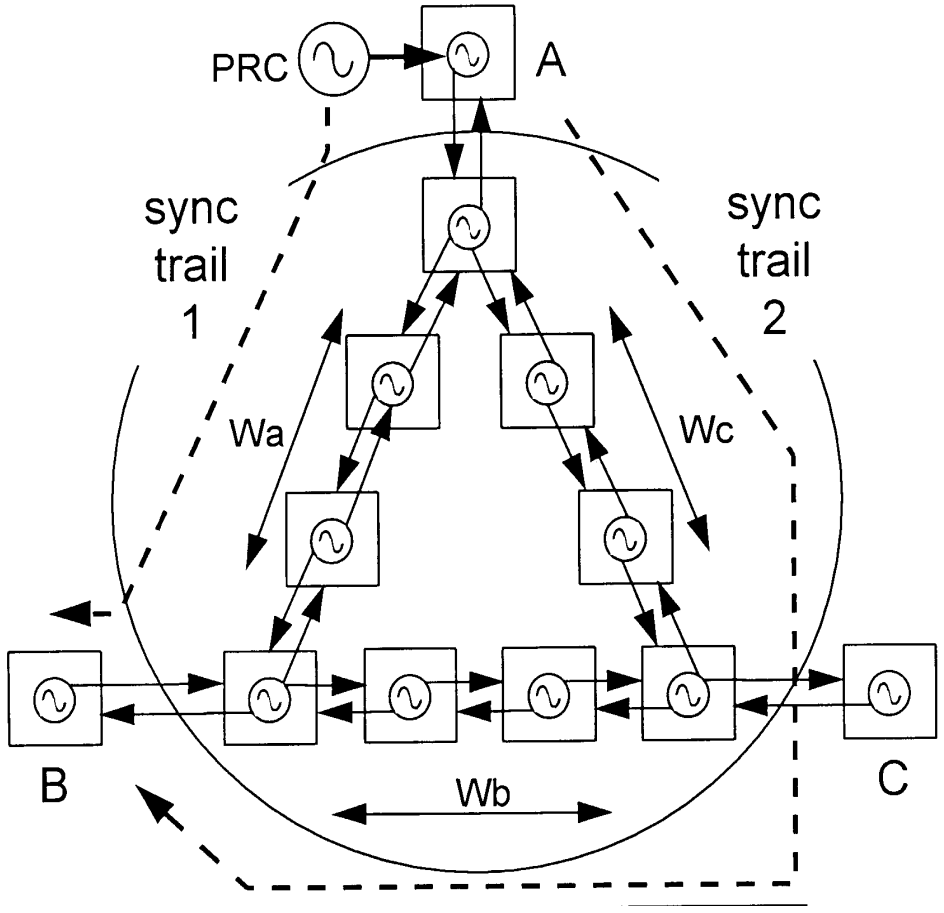


☞ 계층적 RING 서브-네트웍 동기



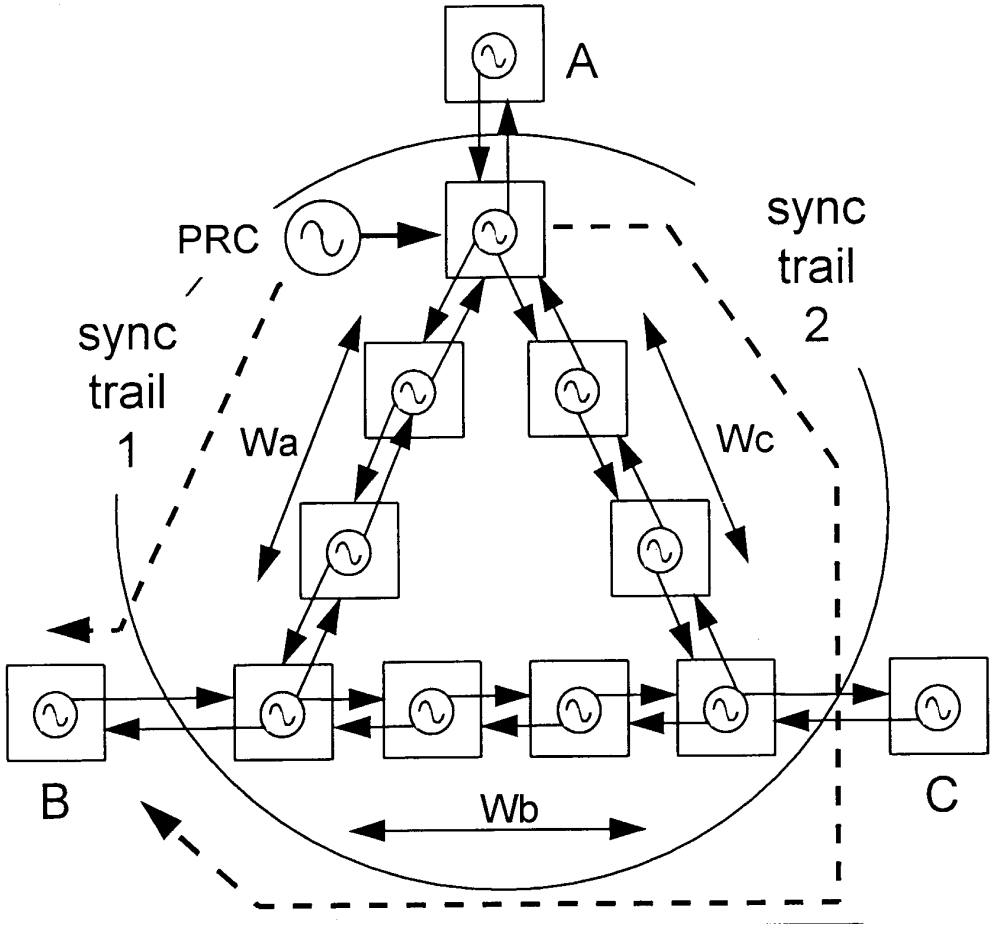
Private Network Synchronization

☞ 순수한 PDH 라인을 임대한 사설 망동기



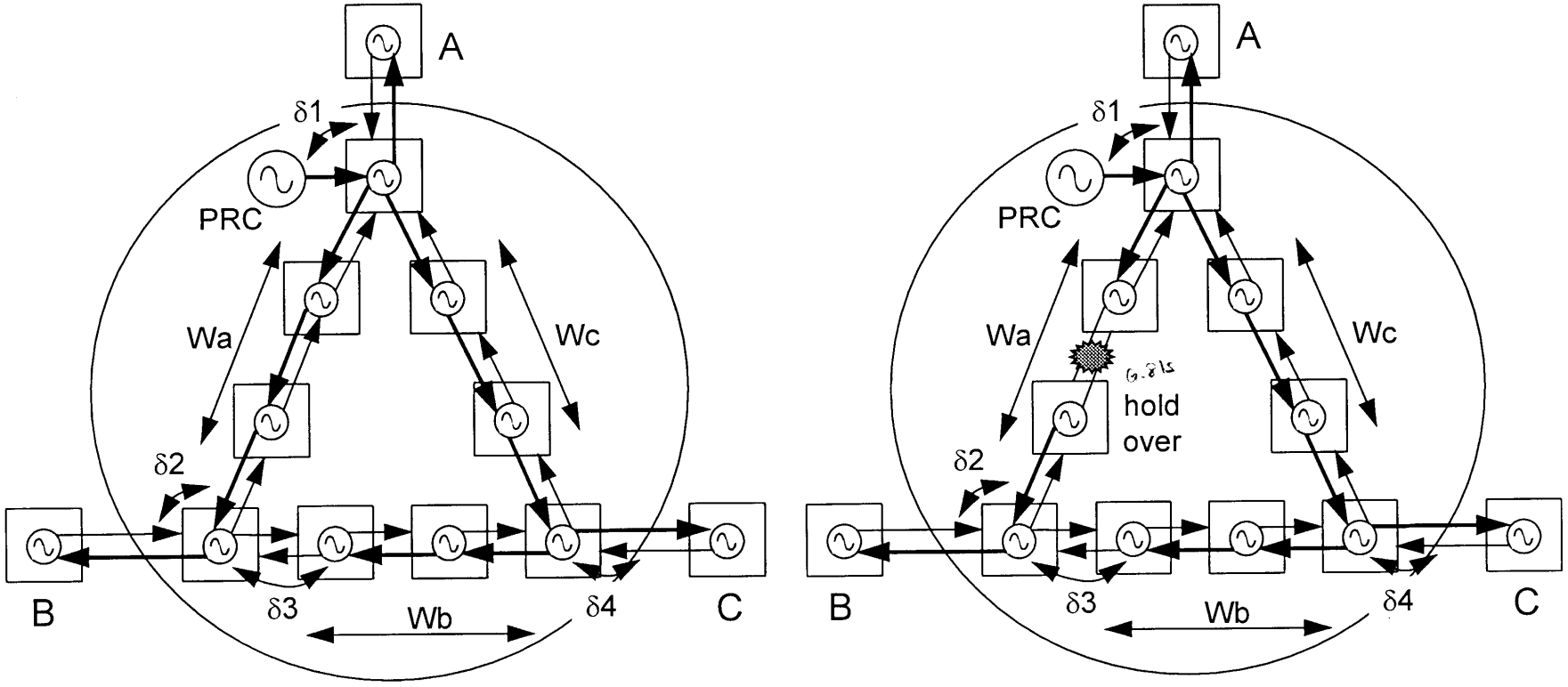
- 사설 망 PRC로부터오는 동기 신호가 임차된 2Mbps 라인을 사용하여 공공 PDH망에 전송된다.
- 원더가 Sync. Trail을 따라 2Mbps타이밍 신호에 첨부된다.
- 각 사설 망 노드는 2개의 동기를 수신한다.(Active/Standby)
- 이 두 개의 동기 신호는 상호 보호운용을 위하여 각기 다른 경로를 통하여 전송된다.
- Wa + Wb + Wc의 값은 18μs안에 있어야 한다.(G.823)

☞ 공공 PDH 네트웍에 의해서 동기된 사설망

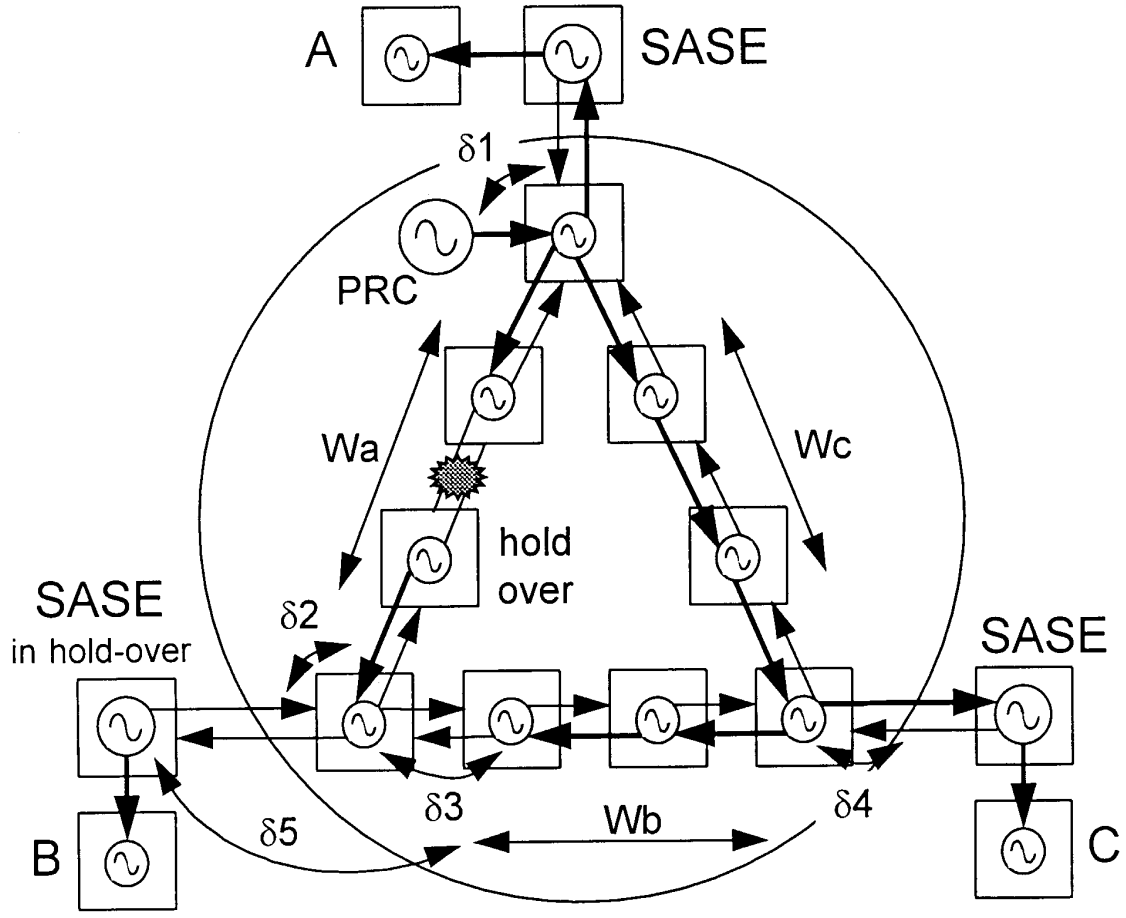


- 사설망 노드는 공공 네트웍으로부터 타이밍 신호를 얻는다.
- 사설망은 공공 네트웍에 동기되고, 공공 네트웍의 연장(확장)과 같다.
- 원더가 Sync. Trail을 따라 2Mbps타이밍 신호에 첨부된다.
- 대개 사설망 운용자와 공공망 운용자 사이에 동기신호에 대한 계약이나 동의 사항이 없는 경우가 많다.
  - Active와 Standby 신호의 동기 선로간 분리된 루트를 갖고 있지 않는 경우도 생기게 된다.
  - PDH 공공 망이 SDH와 함께 운용되는 경우 Wa + Wb + Wc의 값은 18μs보다 큰 경우가 발생하기도 한다.
  - 타이밍 신호가 경고 없이 G.811을 추적할 수 없는 경우가 있다.(유지보수, 장치나 섹션의 장애시)
- 따라서 사설 망 운용자는 항상 이에 대한 위험을 갖고 있다.

☞ 공공 SDH에 의한 사설망 동기

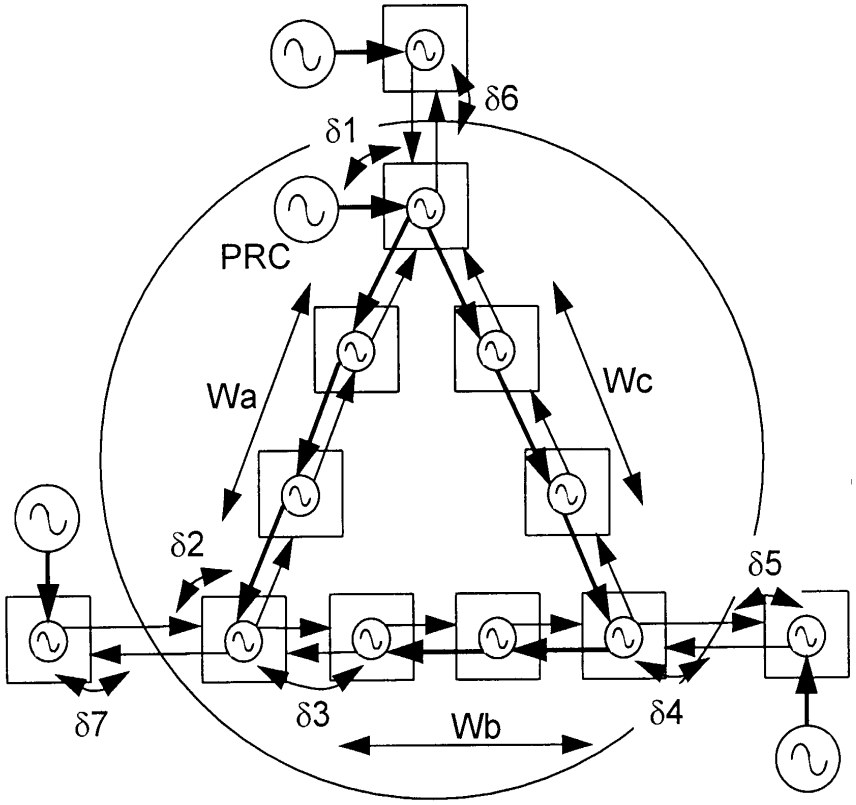


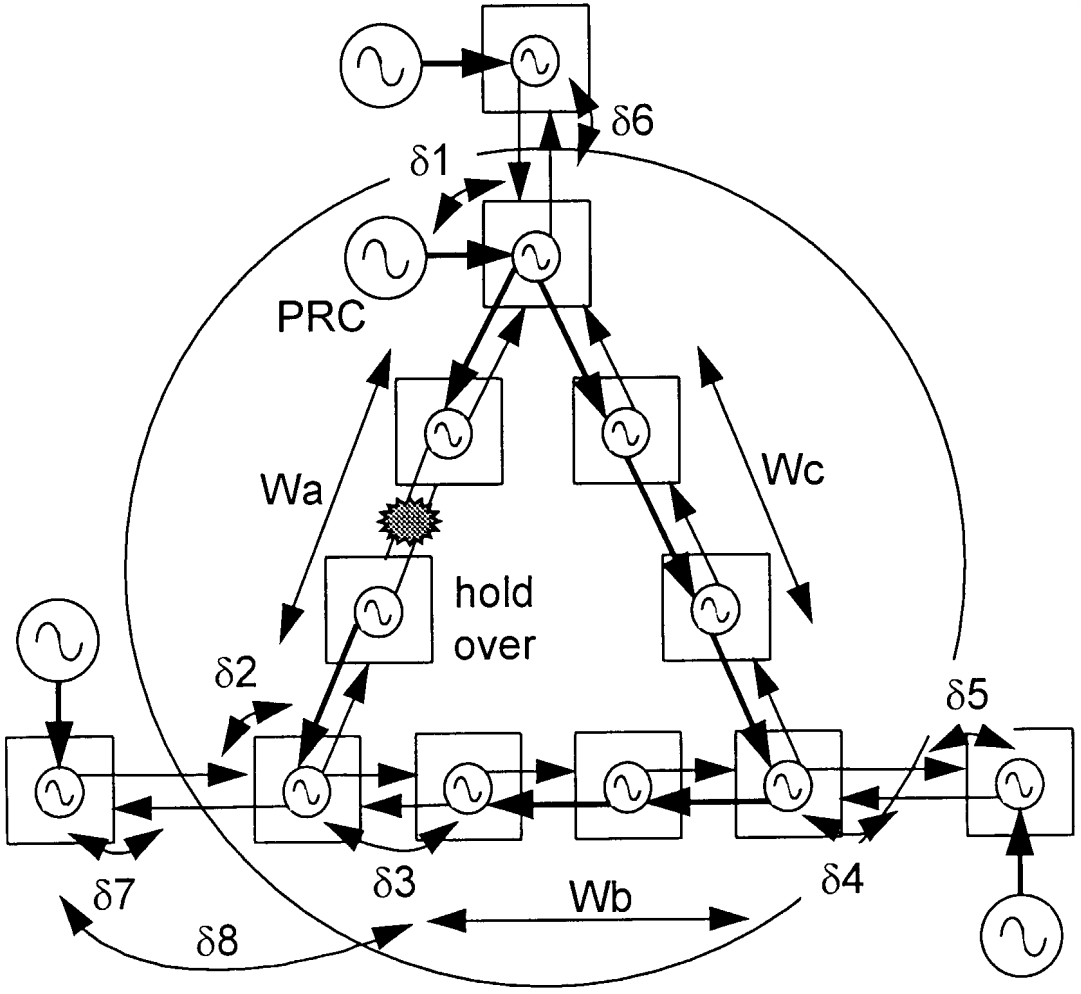
- δ3은 매우 크게 증가하고 포인터 조정이 종종 발생하게 된다.
- B와 C사이의 트래픽이 영향을 받고, 가입자들이 불평하게 된다.
- 사설망 운용자는 공공망에서의 장애가 있음을 알지 못한다.
- 사설망 운용자는 그 문제를 추적하는데 어느 정도의 시간을 허비하게 된다.
- 그러나 사설망 운용자는 이전에 동기에 관한 동의 사항이 없었다면 이에 대한 보상을 위한 서비스를 얻을 수가 없다.


A
SASE
δ1
PRC
Wa
Wc
hold
over
SASE
in hold-over
δ2
SASE
δ3
Wb
δ4
δ5
B
C

- SASE는 입력이 G.812의 품질로 저하되면 이를 검출하여 홀드오버로 동작하게 된다.
- δ2와 δ3은 매우 크게 증가되고 가끔 포인터 조정이 있게 된다.
- 그러나 δ3에 의한 포인터의 조정은 δ2에 의한 포인트의 조정과 반대된다.
- 그러므로 동등한 포인터의 조정이 $\delta 5 = 10^{-8} + Wb + Wc$(SASE = G.812L)에 의해 발생한다.
- B와 C사이의 트래픽은 공공 네트웍에 발생한 장애에 대하여 크게 영향 받지 않는다.

☞ Distributed 마스터 클럭에 의한 사설망 동기



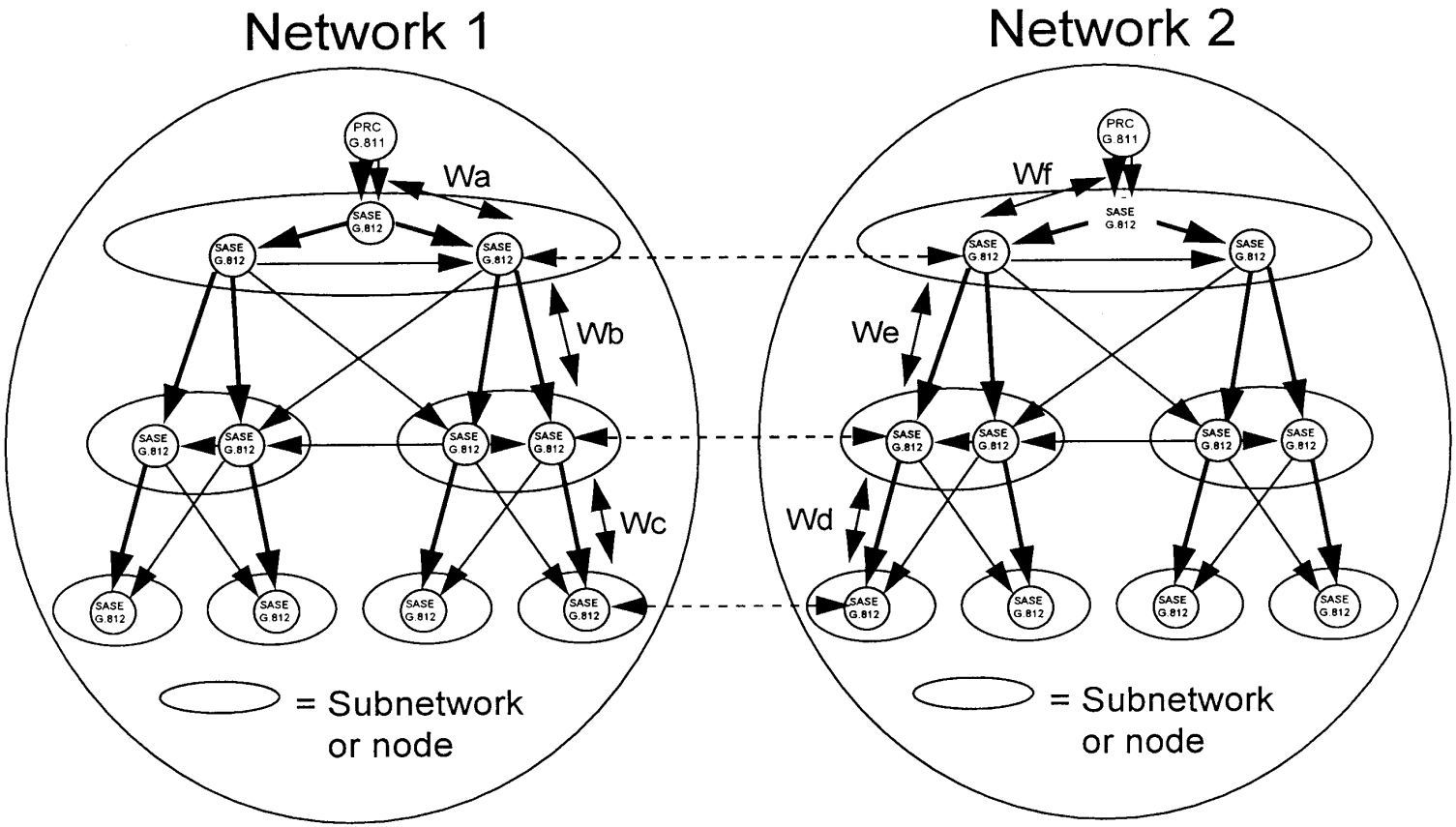

δ6
δ1
PRC
Wa
Wc
hold
over
δ2
δ5
δ7
δ3
Wb
δ4
δ8

- δ2와 δ3은 매우 크게 증가되고 종종 포인터 조정이 있다.
- δ7은 매우 크게 증가되며, 역시 종종 포인터의 조정이 있게 된다.
- 그러나 δ3에 의한 포인터의 조정은 δ2에 의한 포인트의 조정과 반대된다.
- 그러므로 동등한 포인터의 조정이 $\delta 8 = 2 \times 10^{-11} + Wb + Wc$에 의해 발생한다.
- B와 C사이의 트래픽은 공공 네트웍에 발생한 장애에 대하여 크게 영향받지 않는다.

☞ 요약

- 사설망은 순수한 PDH 전송 망에 동기되어질 수 있다.
- 사설망은 순수한 SDH망이나, PDH/SDH 혼합 망에 만족스럽게 동기되지 못한다.
- 사설망은 SDH 망에 의해서 만족스럽게 동기되지 않는다.
- 사설망은 모든 노드에 SASE를 배치하여 동기 장애의 효과를 최소화 할 수 있다.
- 모든 노드에 Distributed 마스터 클럭의 배치가 가장 좋은 해결책이된다.

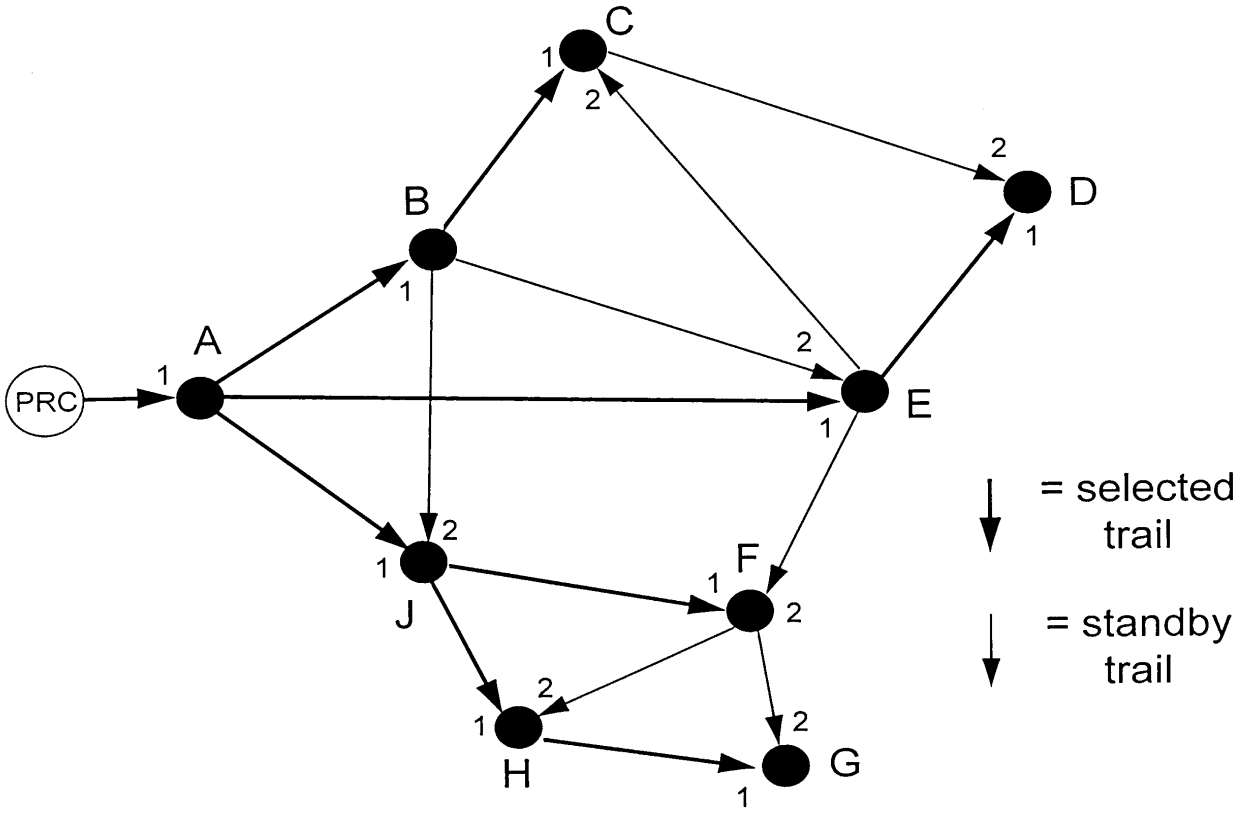
☞ 사업자간의 망동기


Network 1
Network 2
PRC G.811
SASE G.812
Wa
Wb
Wc
Wd
We
Wf
= Subnetwork or node
= Subnetwork or node

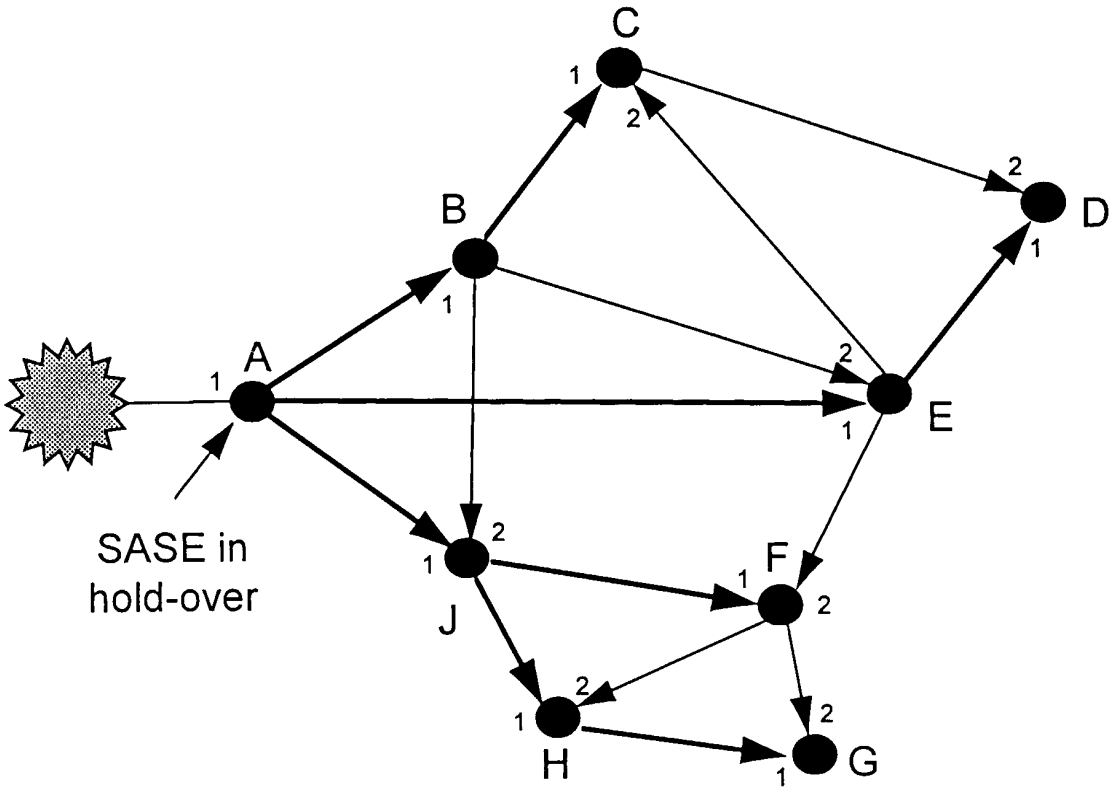
- 각각의 운용망은 자기소유의 PRC에 동기되어진다.
- 상호간의 트래픽 신호는 National, Regional 그리고 Local 계층에서 교환되어진다.
- 각 레벨에서의 상관 원더는 ITU-T G.823을 만족해야 한다.
  - Wa + Wb + Wc + Wd + We + Wf < 18μs
- 두 운용자는 상호연결 인터페이스 규격에 동의해야만 한다.
- 한 운용자의 네트웍/노드는 다른 운용자의 네트웍에 동기된다. 그러나 외부 동기 입력의 품질이 보장되어야 한다.

Meshed Network Synchronization

☞ 동기망 구성 예

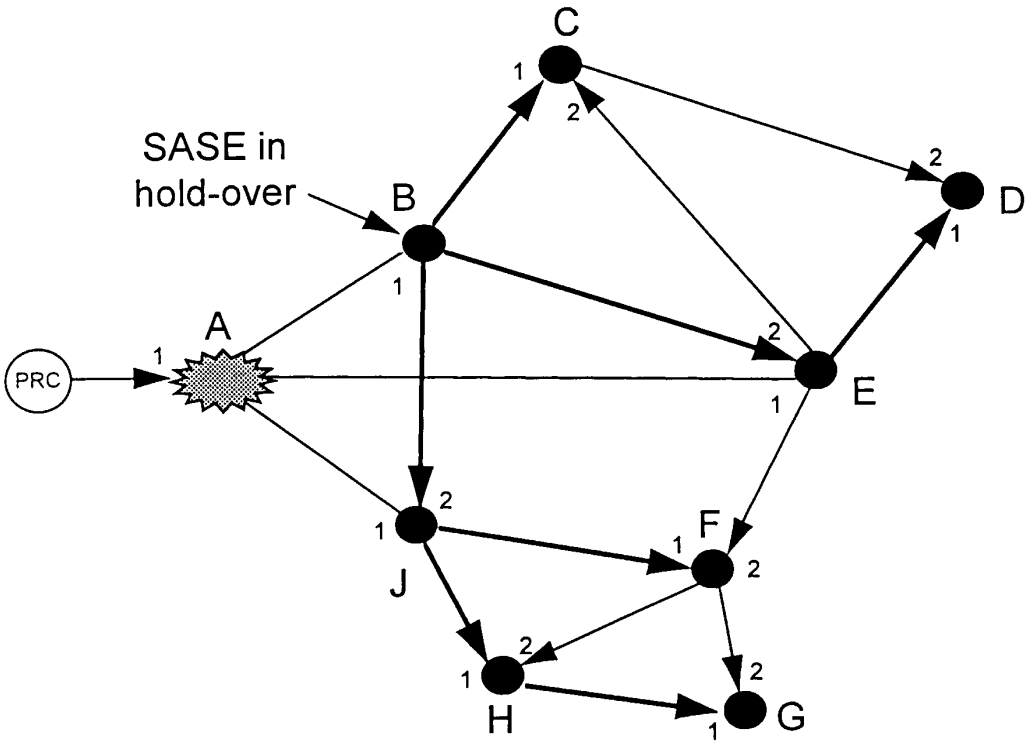


☞ PRC 장애시



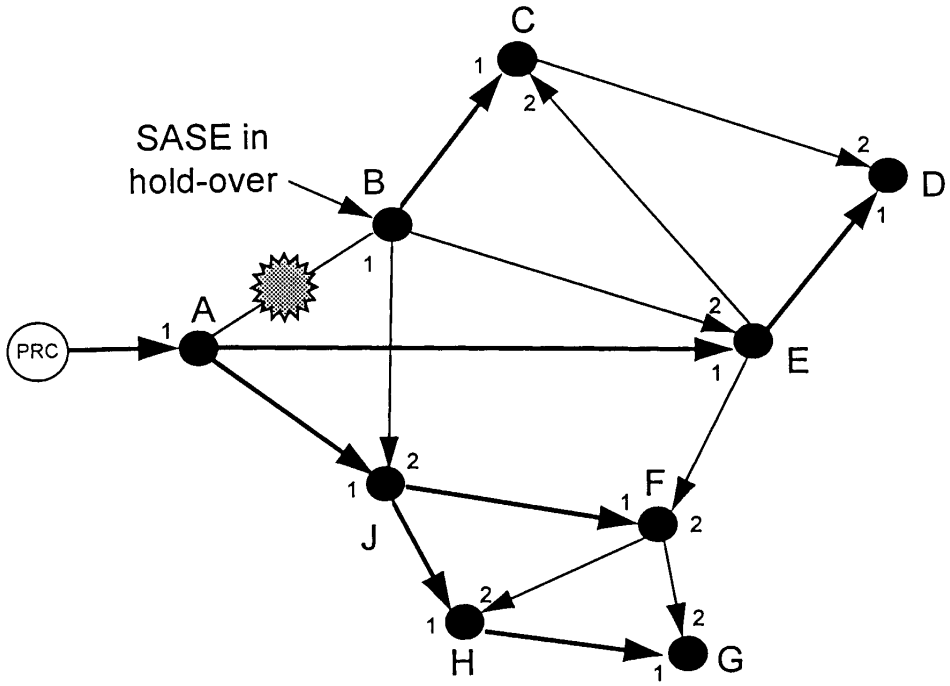
♧ 이 구성도는 PRC의 장애시 보호되지 않는다.

☞ 노드 A 장애시



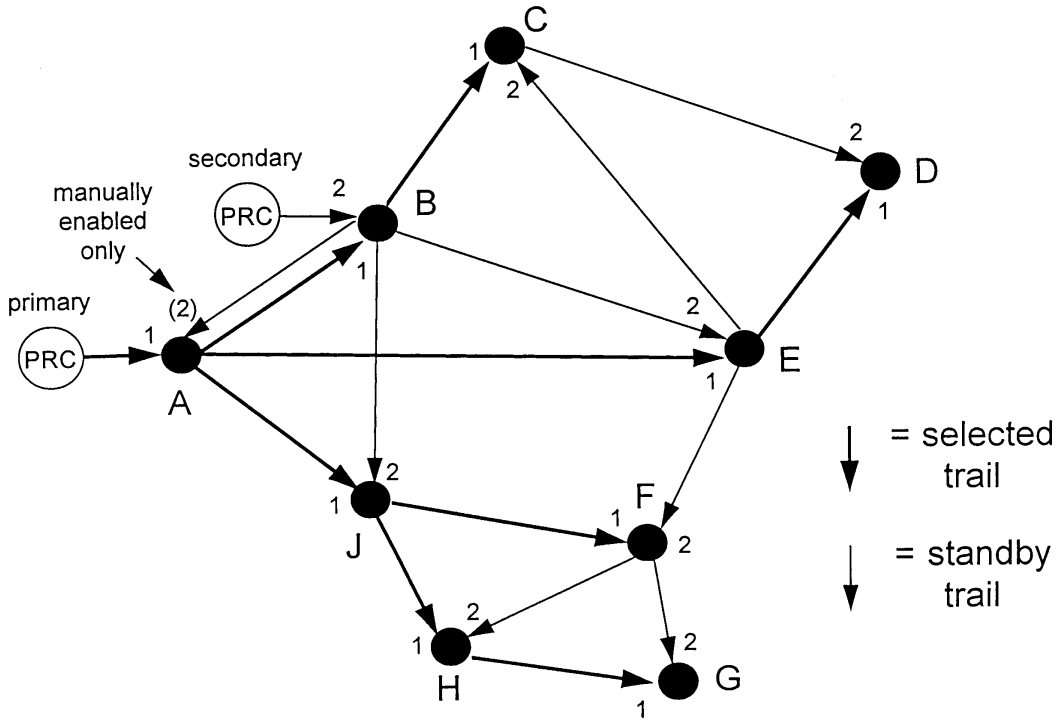
♧ 이 구성도는 노드 A 장애시 보호되지 않는다.

☞ 선로 장애시



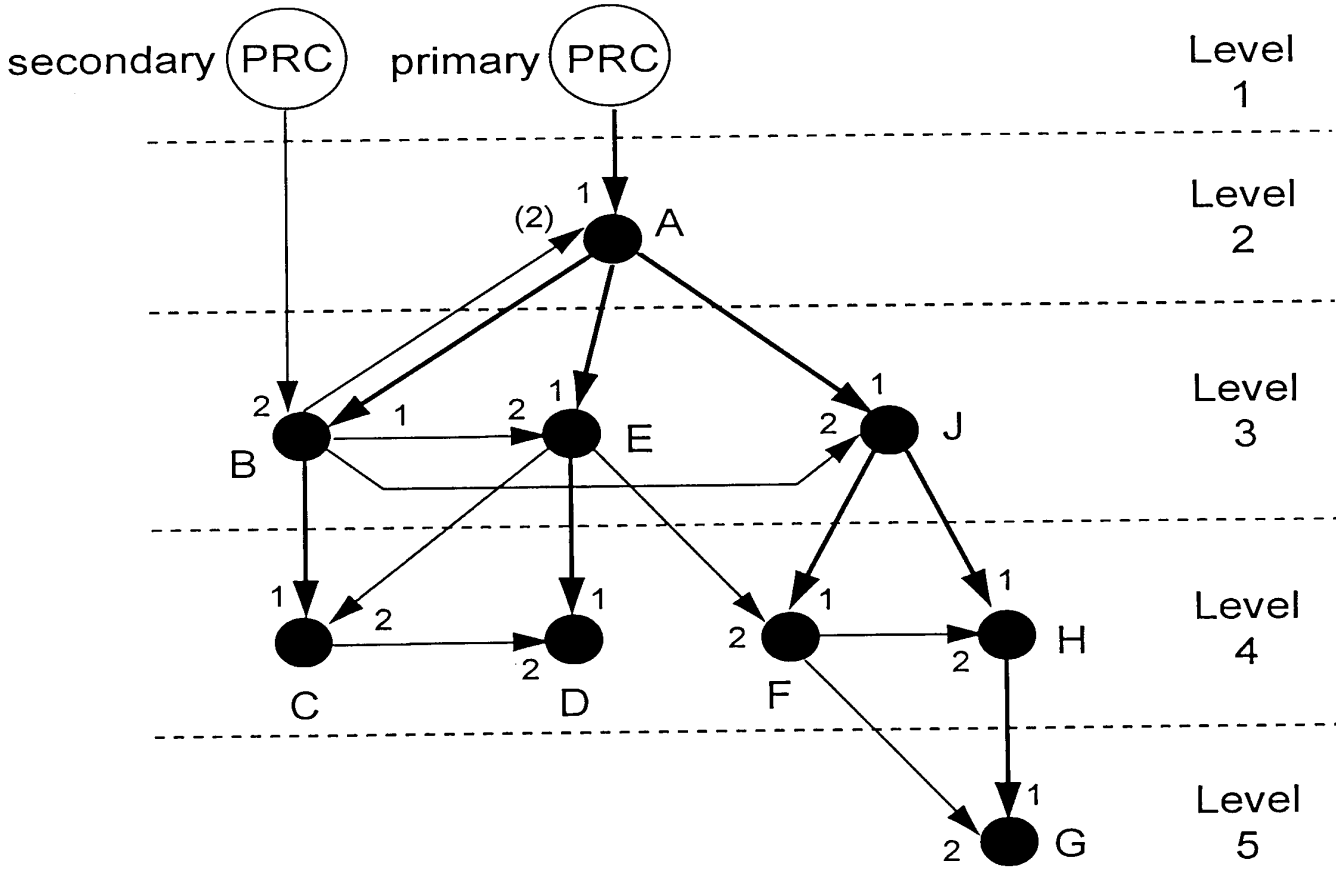
♧ 이 구성도는 노드 A와 B사이의 선로 장애시 보호되지 않는다.

☞ 동기망의 개선



- 네트웍은 전송 선로의 장애에 대하여 자율적인 회복이 가능하다.
- 네트웍은 각 노드의 장애에 대하여 자율적 회복이 가능하다.
- 네트웍은 PRC 장애에 대하여 보호되어 진다.

☞ 동기계층의 구성


secondary PRC
primary PRC
Level 1
Level 2
Level 3
Level 4
Level 5
A
B
C
D
E
F
G
H
J
(2)