

Lecture Twelve

Signal Coordination for Arterials and Networks

Progression: Why Needed لماذا نحتاج التدفق المتوالي أو المتعاقب

- Where signals are close enough together عندما تكون التقاطعات ذات الإشارة الضوئية متقاربة
- Vehicles arrive in platoons وصول المركبات على شكل وفود
- It is necessary to coordinate their times so that vehicles may move efficiently through a set of signals من الضروري تنسيق زمن الإشارة الضوئية الذي يؤدي الى تحسين تشغيل التدفق المروري للمركبات على طول مجموعة من الإشارات الضوئية المتتالية أو المتعاقبة

Signal Spacing and Progression تنسيق الإشارة الضوئية وتوالي التدفق

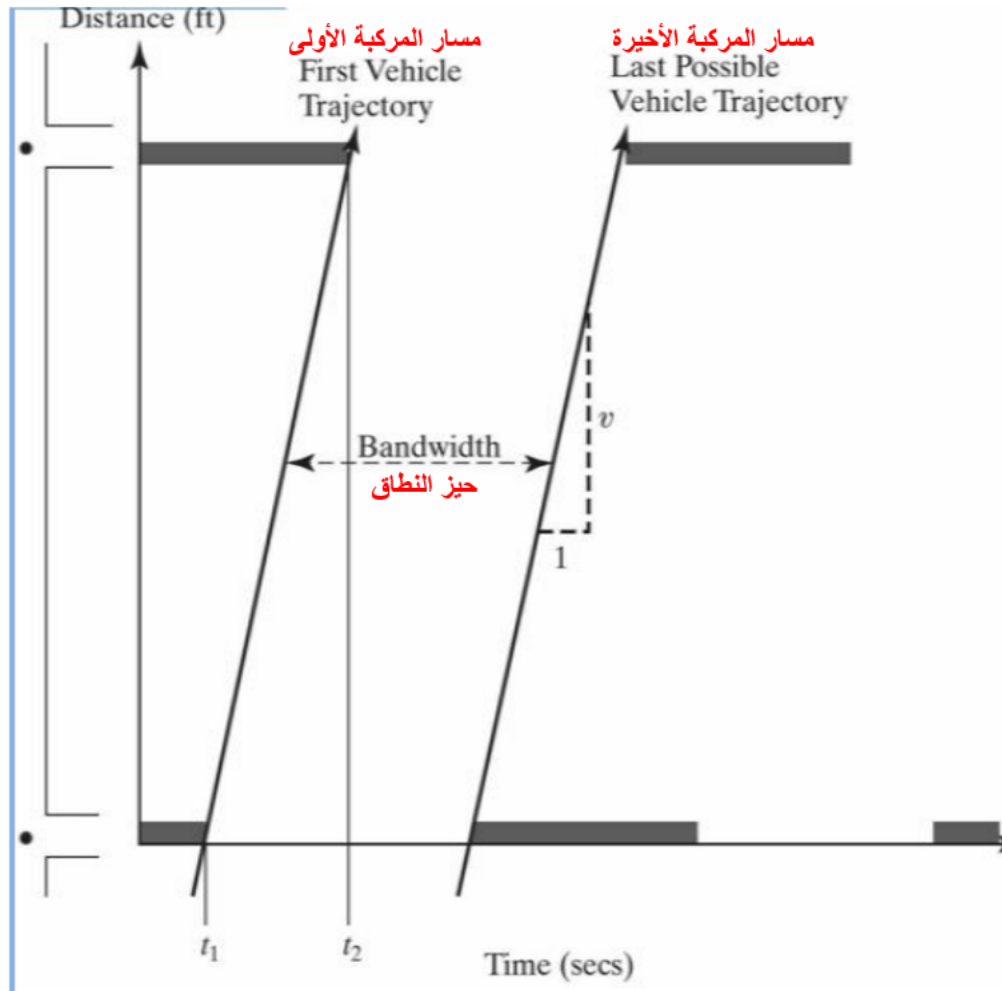
- In some cases signals are so closely spaced that they should be considered as one signal في بعض الأحيان تكون الإشارات الضوئية متقاربة لدرجة ممكن إعتبارها إشارة واحدة
- In other cases, signals are so far apart that they may be considered as isolated في حالات أخرى، الإشارات الضوئية تكون متباعدة لدرجة تعتبر معزولة
- Common practice is to coordinate signals less than a mile apart on major streets من الناحية العملية، يجب تنسيق الإشارة الضوئية عندما تكون المسافة أقل من ميل للشوارع الرئيسية.

Basic Requirement المتطلبات الرئيسية أو الأساسية

- All intersections in system are to have the same cycle length or multiple of minimum cycle length يجب أن يكون طول الدورة في كل التقاطعات الضوئية المنسقة متساوية في الطول
 - Long enough to provide sufficient capacity at the busiest intersection يجب أن يكون طول الدورة كافي لتوفير السعة في التقاطعات ذات الكثافة العالية
- System cycle length is determined through a series of steps يتم حساب طول الدورة للنظام خلال عدة خطوات
 - determine the minimum (optimum) cycle length at each intersection as if they are isolated signals حساب الحد الأدنى (المثالي) لطول الدورة في كل تقاطع كما وإنه تقاطع معزول

Time Space Diagram المخطط الزماني المكاني

- Path a vehicle takes as time passes مسار المركبة يستغرق زمن للمرور
- $t=t_1$ o First signal turns green الإشارة الأولى التي تتحول الى أخضر
- $t=t_2$ o Vehicle reaches the second signal زمن وصول المركبة للإشارة الثانية
- **Offset**: Difference between green initiation times ($t_2 - t_1$) وقت الإزاحة: الفرق بين بداية الإشارة الخضراء لللتقاطعات المتوالية = الزمن (٢) - الزمن (١)



Offset وقت الإزاحة

Ideal offset is defined as the time needed for the first vehicle of the platoon just arrives at the downstream signal when it's green

يعرف وقت الإزاحة المثالي هو الزمن المطلوب للمركبة الأولى في وفود المركبات للوصول الى التقاطع في المصب عندما تكون الإشارة له خضراء

$$t_{ideal} = \frac{L}{S} \quad [2]$$

t_{ideal} : Ideal offset, sec وقت الإزاحة المثالي بوحدات ثانية

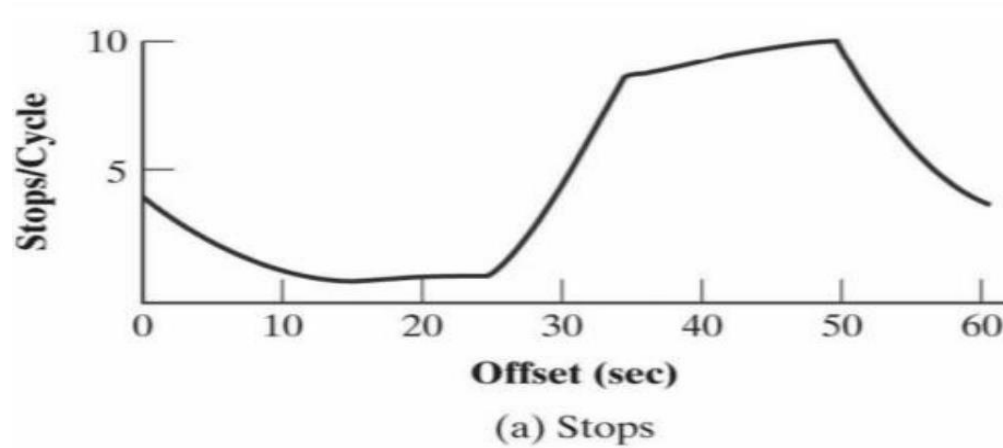
L: Distance between signalized intersections, ft المسافة بين التقاطعات ذات الإشارة الضوئية بوحدات القدم

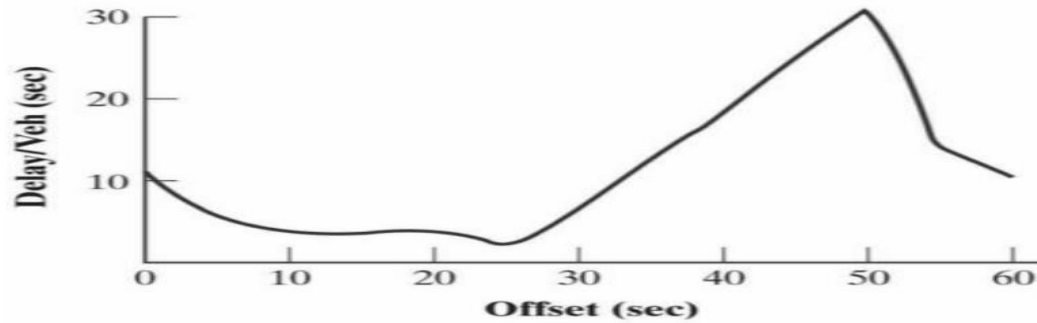
S: Vehicle speed, ft/sec سرعة المركبة بوحدات قدم/ثانية

Offset is a positive number between zero and cycle length وقت الإزاحة هو رقم موجب بين الصفر وطول الدورة

Offset is critical وقت الإزاحة الحرج

- Ideal offset 25 sec وقت الإزاحة المثالي ٢٥ ثانية
- See the effect of poor offset الشكل يوضح تأثير عدم كفاءة وقت الإزاحة
- An offset of (25+10=35 sec) وقت الإزاحة (٣٥=١٠+٢٥ ثانية)
 - Causes more harm than
 - an offset of (25-10=15 sec) يسبب تأثير سلبي أكثر من وقت الإزاحة (٢٥-١٠ ثانية)





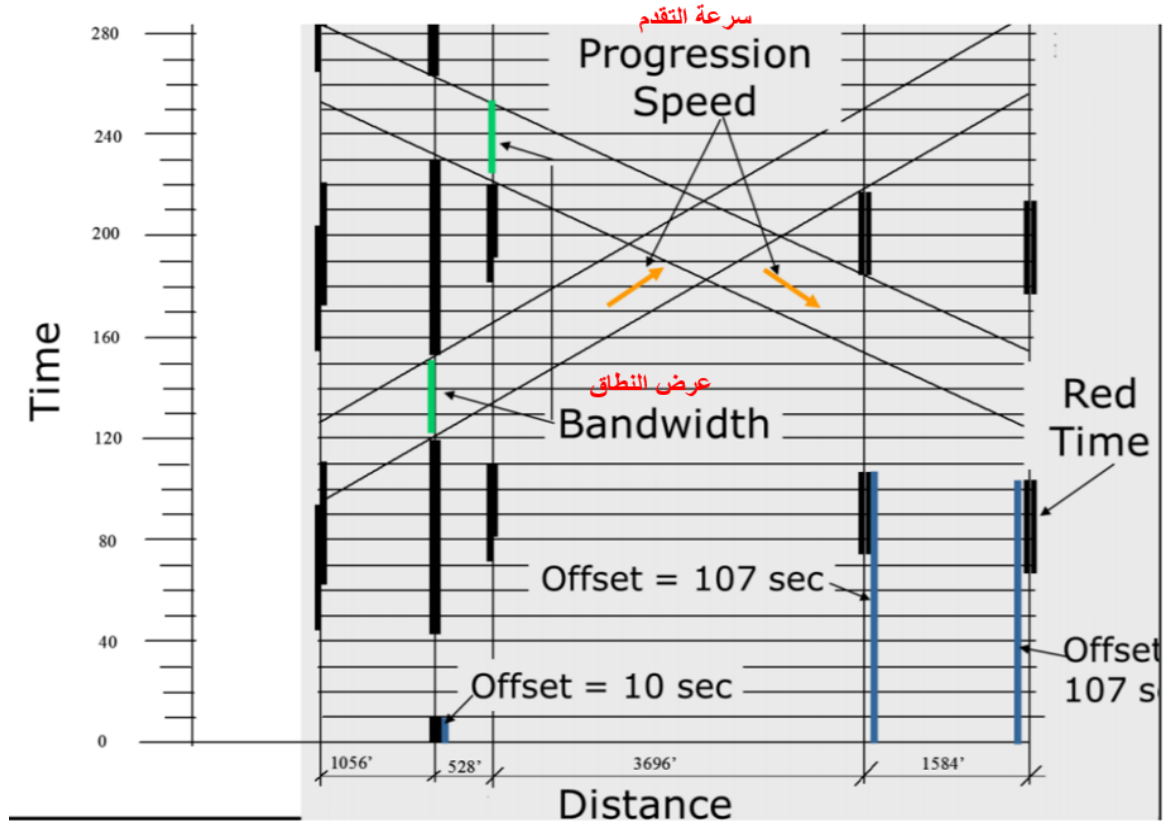
(b) Delay

600 ft block
600 vph in two lanes
all through traffic
free speed 24 mph
50-50 split
60 sec. cycle length

Bandwidth عرض النطاق

- Defined as the amount of green time that can be used by a continuously moving platoon of vehicles through a series of intersections تعرف عرض النطاق هو كمية زمن الأخضر الذي يستخدم من قبل وفود المركبات المستمرة في الحركة خلال التقاطعات المتوالية
- In the example, previously,
 - The green time at both intersections are same
 - The ideal offset is illustrated
 - There are only two intersections

في المثال السابق:
الزمن الأخضر في كلا التقاطعين متساوي
تم تلخيص وقت الإزاحة
هناك تقاطعين



Signal Progression of One-Way St. إحسب وقت الإزاحة للتقاطعات المتوالية وحسب المعلومات التالية:

Assumptions:

1. Desired platoon speed: 60ft/sec; سرعة الوفود المرغوبة: ٦٠ قدم/ساعة
2. Cycle length = 60sec طول الدورة ٦٠ ثانية
3. Effective green time = 30 sec الأخضر الفعال ٣٠ ثانية

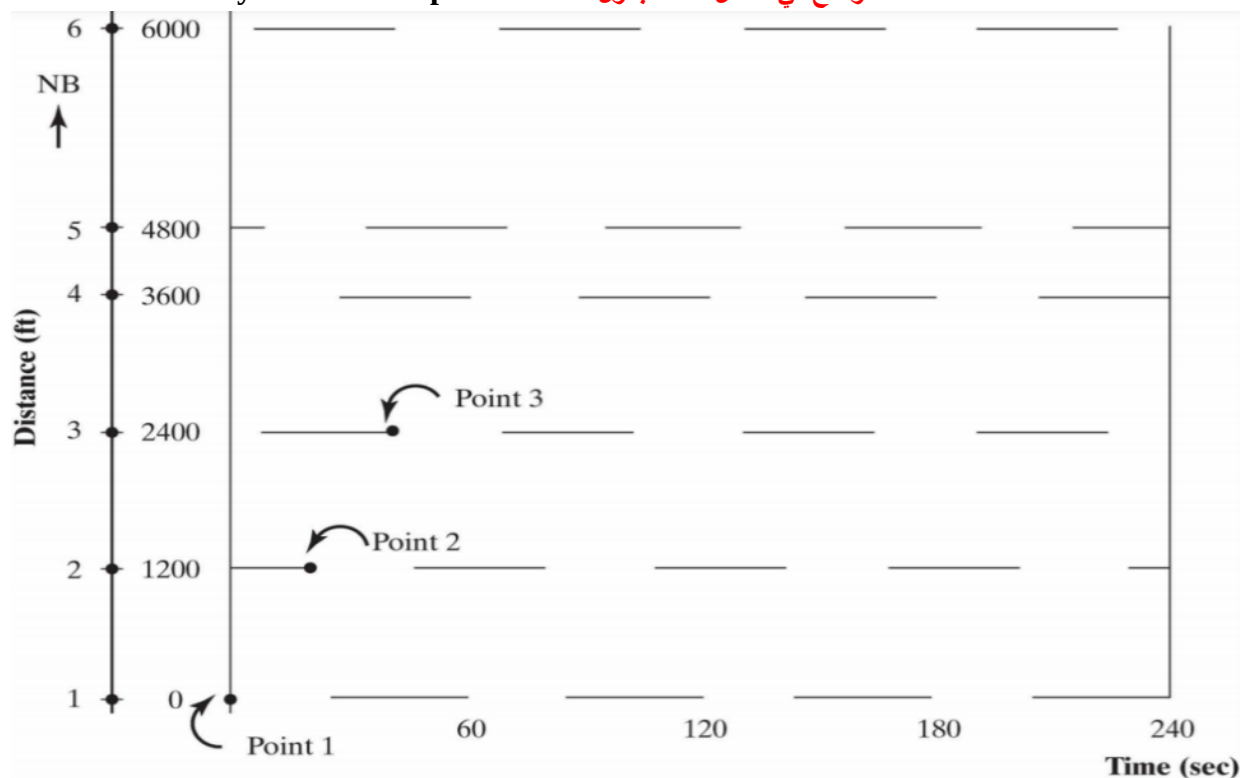


Table 1: The ideal offset results. جدول ١ يوضح نتائج وقت الإزاحة المثالي

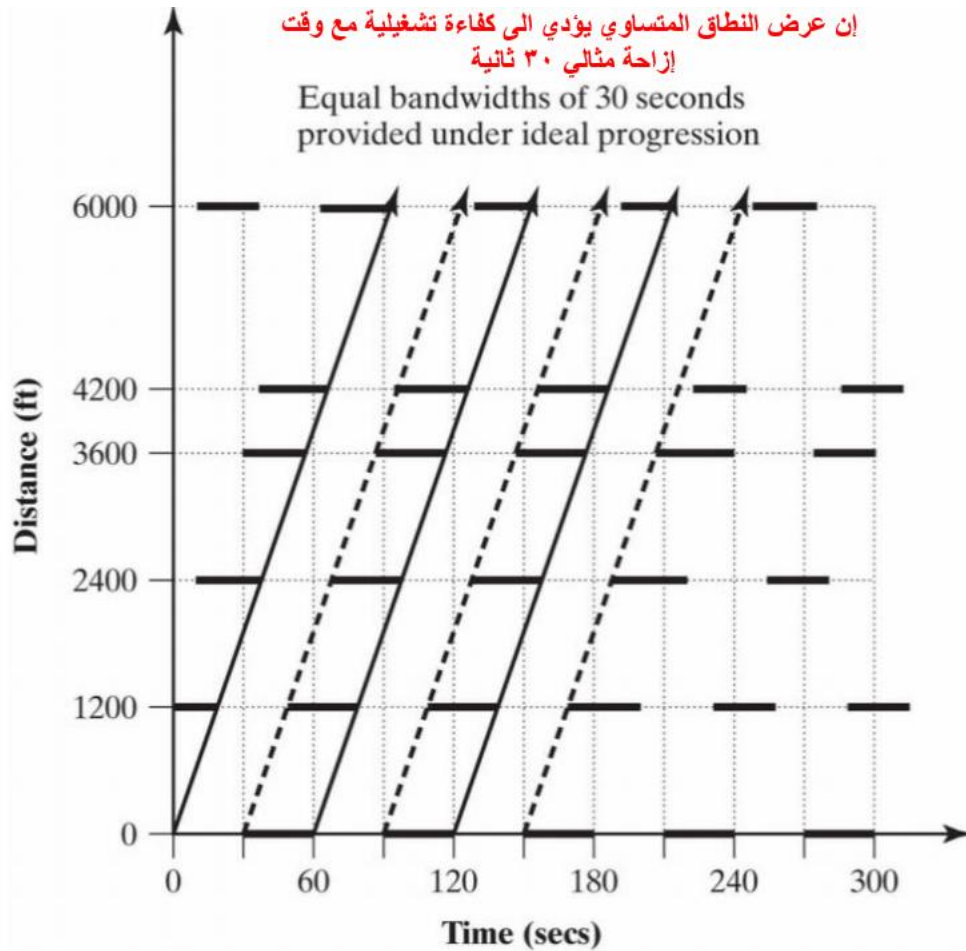
Signal	Relative to Signal	Ideal Offset
6	5	$1,800/60 = 30 \text{ s}$
5	4	$600/60 = 10 \text{ s}$
4	3	$1,200/60 = 20 \text{ s}$
3	2	$1,200/60 = 20 \text{ s}$
2	1	$1,200/60 = 20 \text{ s}$

تصميم الإشارة الضوئية للشوارع باتجاه واحد
موضح في الشكل أدناه لجدول ١

TSD for One-way Street Example



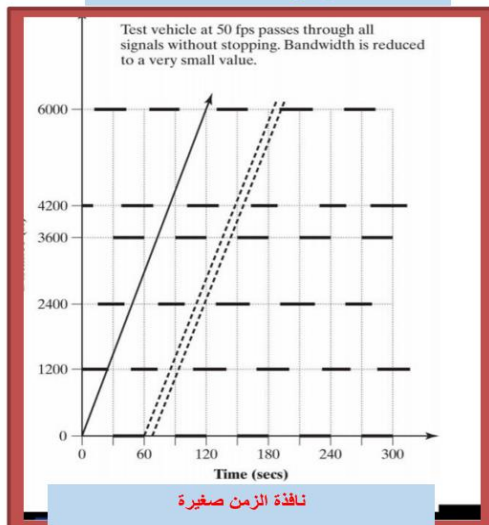
Bandwidth



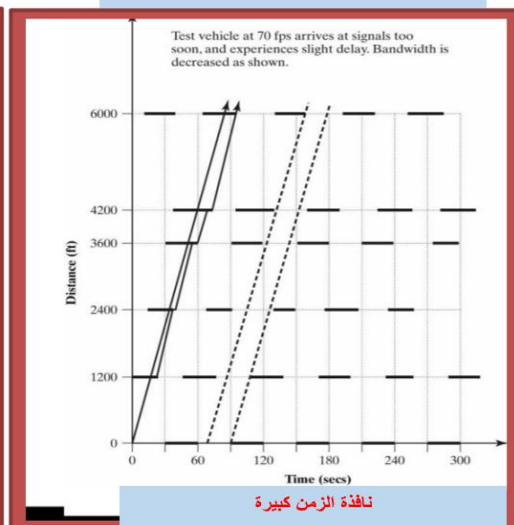
Potential Problems (Vehicle Speed)

المشاكل المحتملة بسبب سرعة المركبة

مركبة الاختبار بسرعة ٥٠ قدم/ساعة تمر في إشارات التقاطعات بدون توقف. يقل عرض النطاق إلى قيمة صغيرة جدا



مركبة الاختبار بسرعة ٧٠ قدم/ساعة تصل إلى إشارات التقاطعات بسرعة وبدون توقف مما يؤدي إلى انخفاض عرض النطاق إلى قيمة صغيرة جدا



Bandwidth Capacity سعة عرض النطاق

Defined as the number of vehicles that can pass through the system without stopping in one hour
سعة عرض النطاق : هو عدد المركبات التي يمكنها المرور خلال النظام بدون توقف خلال ساعة

In the previous example: كما موضح في المثال

- Consider a saturation headway of 2.0 sec/veh
إفرض التقادم الزمني المشبع ٢ ثانية/مركبة
- Vehicles can pass per cycle: $17/2 = 8.5$ veh/cycle
إن مرور المركبات خلال الدورة $= 2/17 = 8.5$ مركبة/دورة
- Thus NB direction can handle $[8.5 \text{ (veh/cycle)}] * [1/60 \text{ cycle/sec}] * [3600 \text{ sec/hr}] = 510 \text{ veh/hr}$
إن مقترب الشمال-الجنوب يتعامل مع تدفق للمركبات (٨.٥ * ٣٦٠٠ * ١/٦٠ = ٥١٠ مركبة/ساعة)

If the per lane demand volume is less than 510 vphpl and if the flow is well organized the system will operate well in the NB direction (even though better timing plans may be obtained):

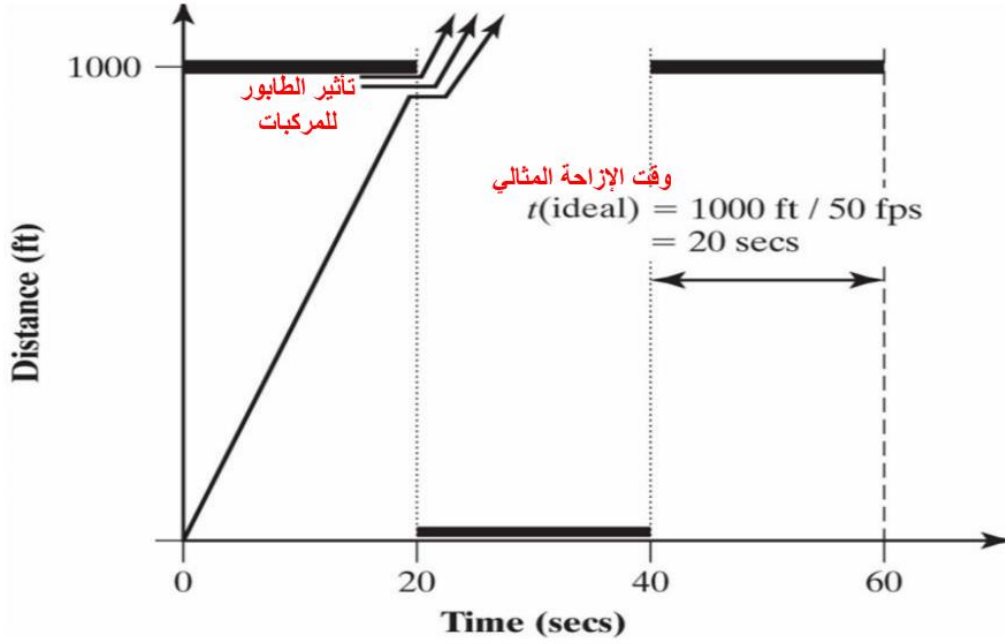
إذا كان الطلب للممر الواحد أقل من ٥١٠ مركبة/ساعة/ممر وتوفر كفاءة تنسيق التدفق المروري سوف يكون التشغيل المروري بصورة جيدة في ذلك المقترب (ويمكن حساب خطة التوقيت كما تلاحظ).

$$EEF_{BW} = \left(\frac{3600 * BW * NL}{C_{BW} * h} \right) \quad [2]$$

- C_{BW} : Bandwidth capacity سعة عرض النطاق
- BW: Bandwidth, sec عرض النطاق بوحدات الثانية
- C: Cycle length, sec طول الدورة بوحدات الثانية
- NL: Number of directional through lanes عدد الممرات للحركة الأمامية
- h: Saturation headway, sec التقادم الزمني المشبع بوحدات ثانية

Note: The above equation does not contain any factors to account for lane utilization and queuing.
ملاحظة: إن المعادلة ١ لا تحتوي معاملات لحساب تأثير استخدام الممر والطاير

Effect of Queued Vehicles تأثير طول الطابور للمركبات



$$t_{adj} = \frac{L}{S} - (Qh + l_1) \quad [3]$$

- t_{adj} Adjusted ideal offset, sec وقت الإزاحة المعدل، ثانية
- L: Distance between signals, ft المسافة بين الإشارات الضوئية للتقاطعات ، قدم
- S: Speed, ft/sec السرعة، قدم/ثانية
- Q: Number of queued vehicles per lane, veh عدد المركبات الواقفة في الطابور لكل ممر، مركبة
- h: Discharge headway of queued vehicles, sec/veh التقادم الزمني لتفريغ طابور المركبات، مركبة/ثانية
- l_1 : Start-up lost time, sec زمن الضائع الأولي، ثانية

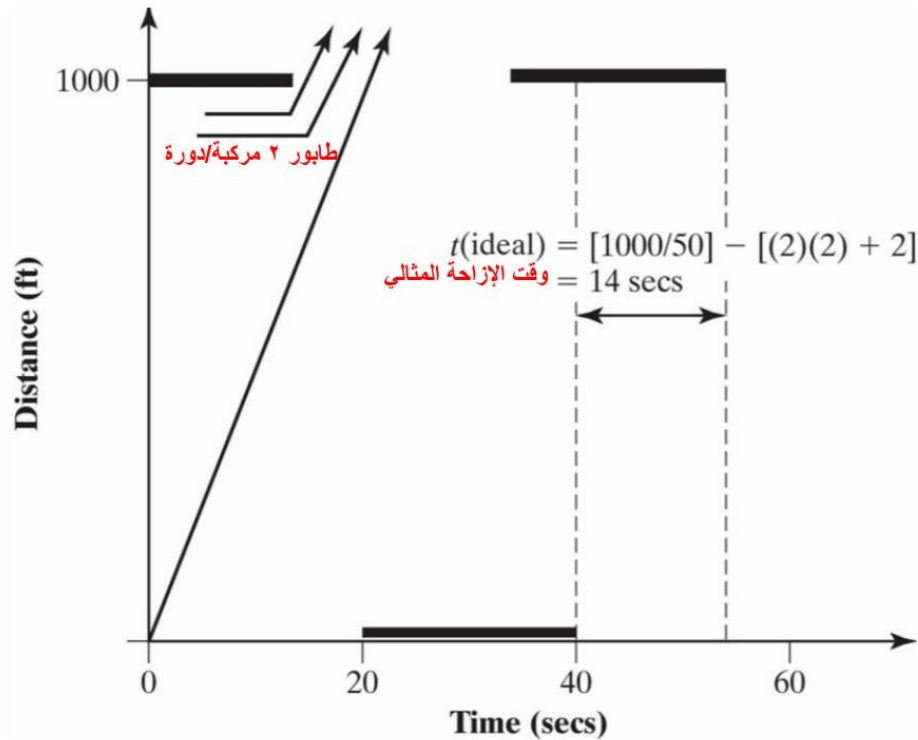
Note: The start-up lost time is only accounted for the first downstream intersection.

– If the preceding intersections have queues, then they are automatically cleared (because of the platoon)

ملاحظة: ان زمن الضائع الأولي يحسب فقط للتقاطع الأول في منبع تدفق المركبات وإذا كان التقاطع السابق يعاني من طابور للمركبات، فانهم سوف يتم تصريفهم تباعاً مع حركة الوفود للمركبات

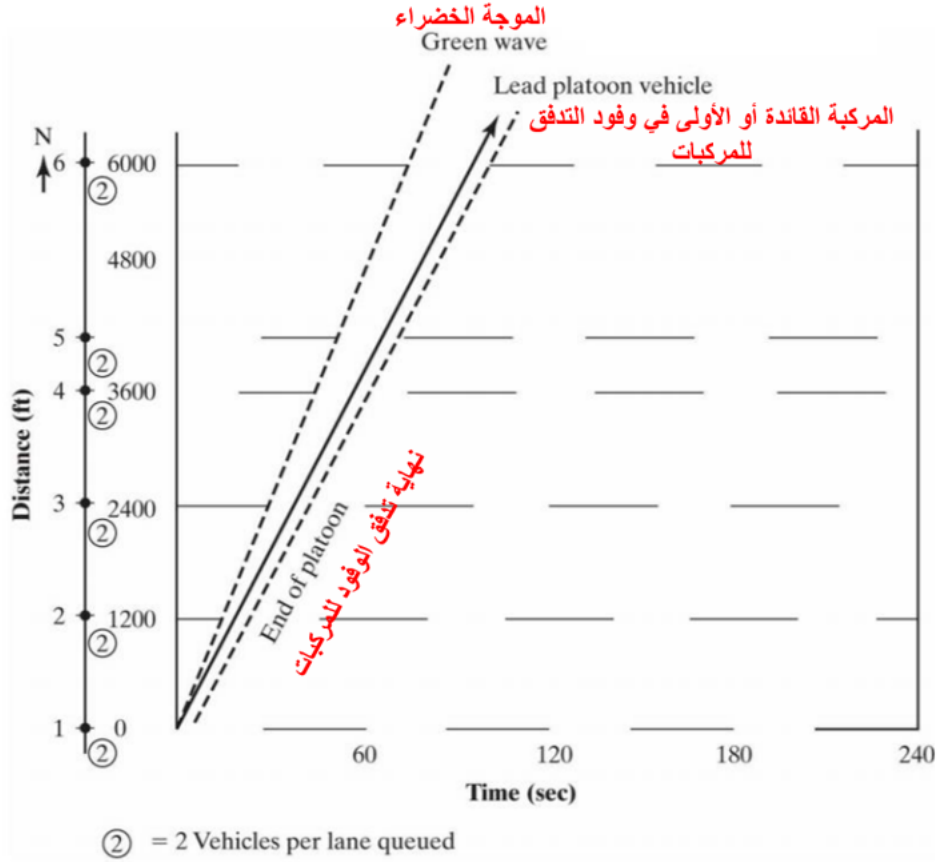
Calculate offset if إحسب وقت الإزاحة للأتي:

- ❖ 2 queue veh/cycle **طابور ٢ مركبة/دورة**
- ❖ Saturation headway 2sec **التقادم الزمني المشبع ٢ ثانية**
- ❖ Lost time, 2 sec **الوقت الضائع ٢ ثانية**



Link	Link Offset (s)	Speed of Progression (ft/s)
Signal 1 → 2	$(1,200/60) - (4 + 2) = 14$	$1,200/14 = 85.7$
Signal 2 → 3	$(1,200/60) - (4) = 16$	$1,200/16 = 75$
Signal 3 → 4	$(1,200/60) - (4) = 16$	$1,200/16 = 75$
Signal 4 → 5	$(600/60) - (4) = 6$	$600/6 = 100$
Signal 5 → 6	$(1,800/60) - (4) = 26$	$1,800/26 = 69.2$

Total Offset = 78 sec



H.W

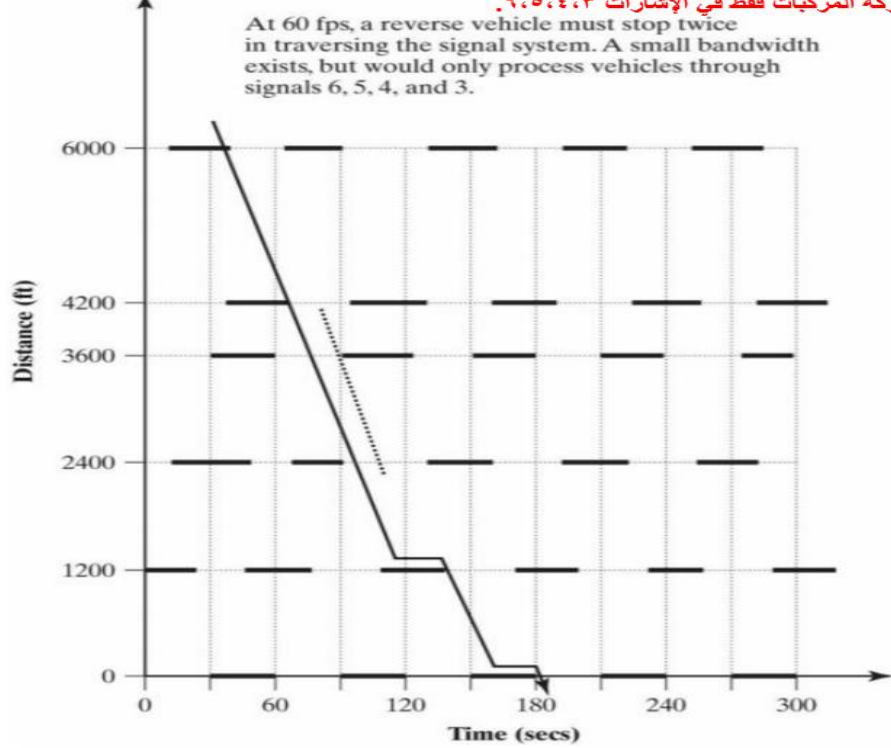
Two signals are spaced in 1000 ft. The desired progression speed is 40mph, the cycle length is 60 sec, what is the ideal offset between two intersections?

واجب بيتي: إشارتين ضوئيتين المسافة بينهما ١٠٠٠ قدم. إن السرعة المرغوبة للتقدم هي ٤٠ ميل/ساعة، طول الدورة ٦٠ ثانية، ماهو وقت الإزاحة المثالي بين هاتين الإشارتين؟

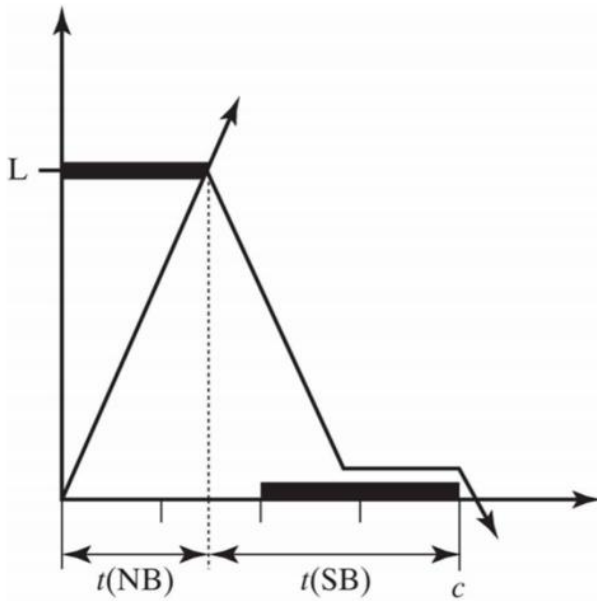
Signal Progression on Two-way Street توالي وتعاقب الإشارة الضوئية في الشوارع بإتجاهين

- If NB offset applied to SB إذا كان وقت الإزاحة للمقرب الشمالي يطبق للمقرب الجنوبي
- Vehicles need to stop twice إضطراب المركبات للوقوف مرتين
- Lesser bandwidth أقل عرض للنطاق
- About 40 sec of delay/veh تقريبا ٤٠ ثانية تأخير لكل مركبة
- There is no bandwidth لايوجد هناك عرض نطاق

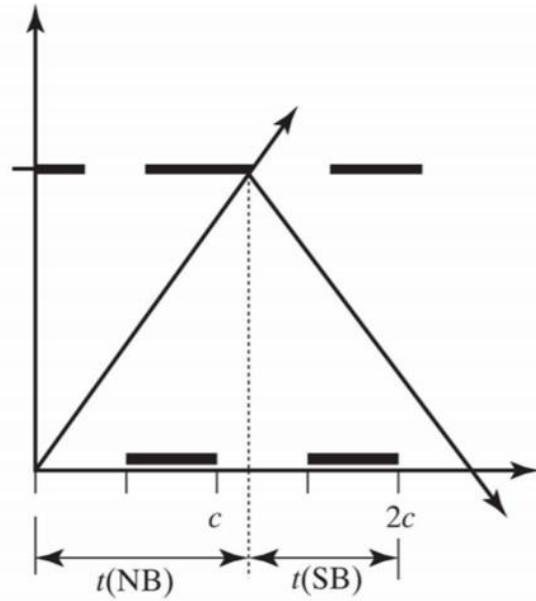
في سرعة ٦٠ قدم/ثانية المركبة في الإتجاه المعاكس تضطر للوقوف مرتين في الإشارات الضوئية للتقاطعات المتعاقبة. عرض النطاق الصغير ويسمح لحركة المركبات فقط في الإشارات ٦، ٥، ٤، ٣.



وقت الإزاحة في شارع ذو إتجاهيين Offsets in Two-way Street

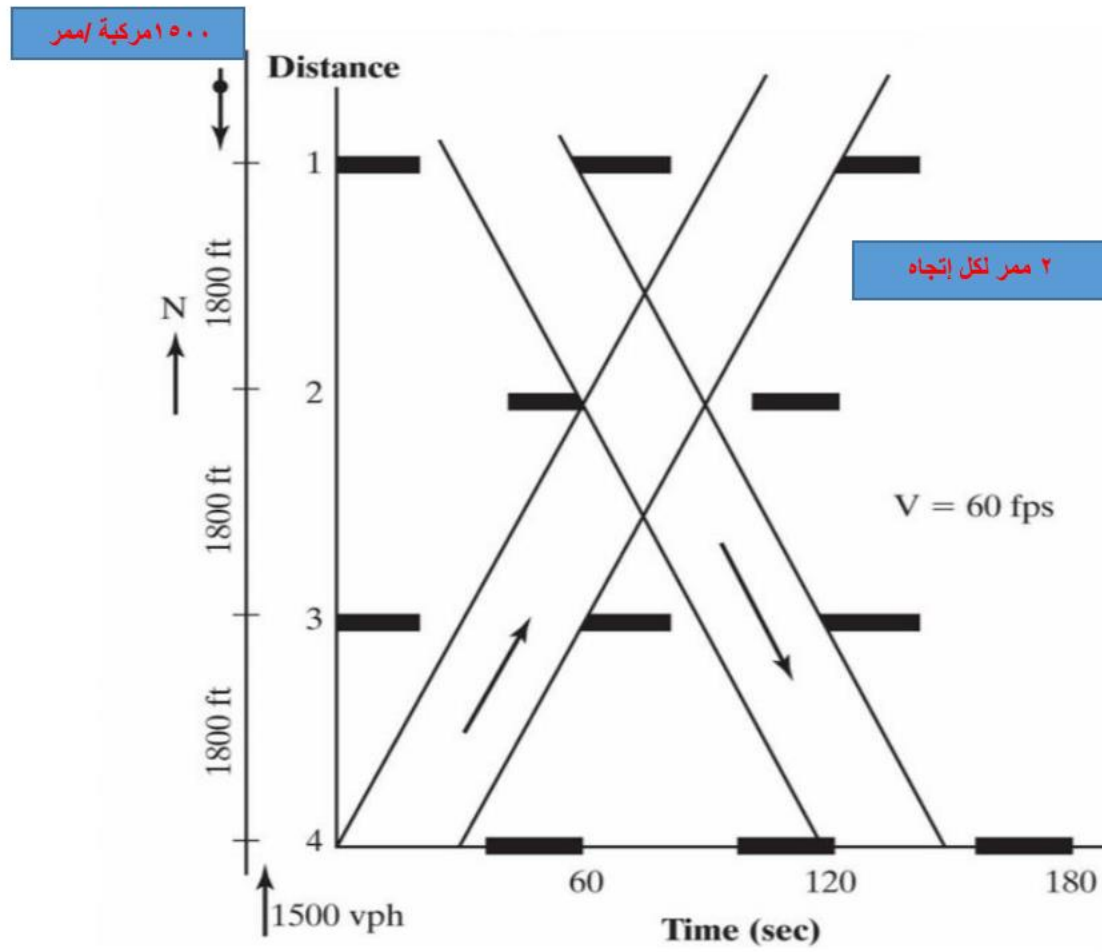


وقت الإزاحة المضاف الى دورة واحدة

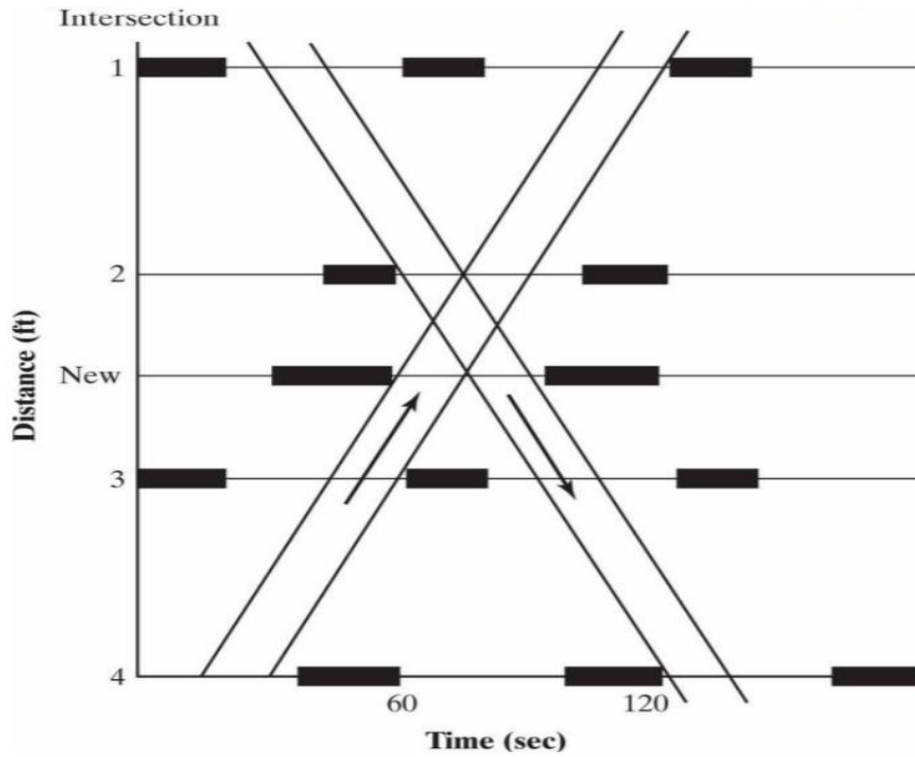


وقت الإزاحة المضاف الى دورتين

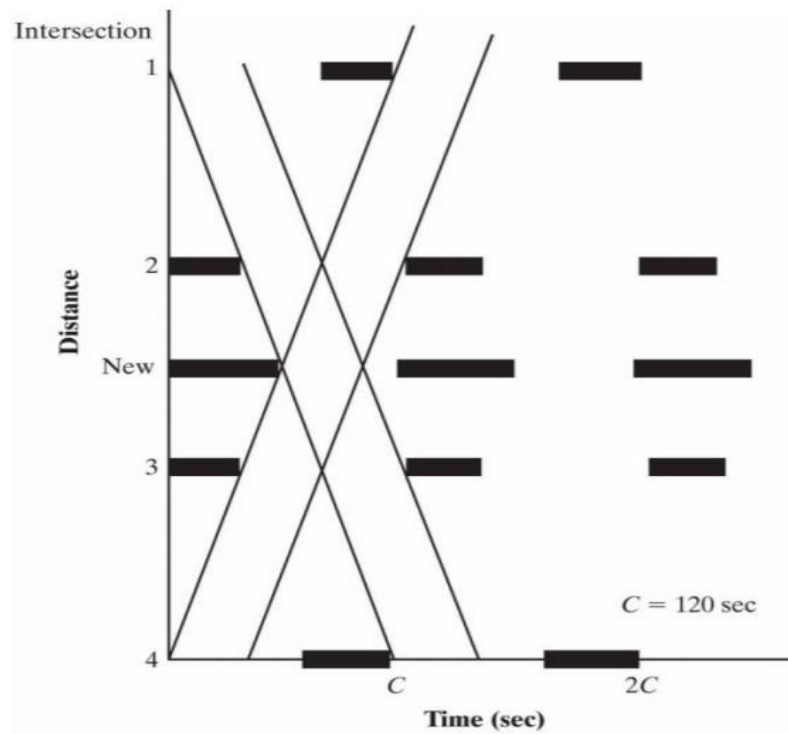
Two-way Street with 4 –Signals شارع ذو إتجاهيين مع أربعة إشارات ضوئية



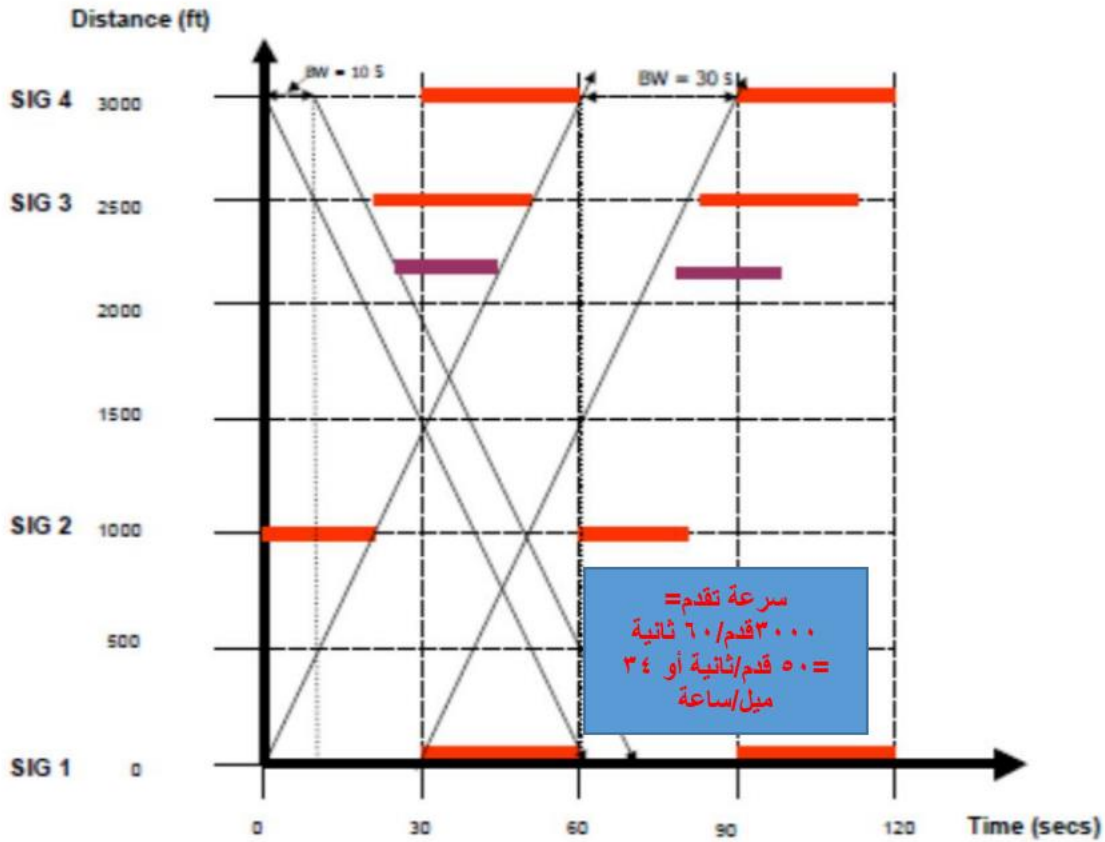
Adding a Fifth Signal إضافة إشارة خامسة



Adding a Signal with Diff. Cycle Length إضافة إشارة مع طول دورة مختلف



Example



Common Types of Progression أنواع شائعة لتوالي الإشارات

- The alternate progression **توالي الإشارة البديل**
- The double alternate progression **توالي الإشارة البديل المزدوج**
- The simultaneous progression **توالي الإشارة المتزامن**

For certain uniform block lengths, and all intersections with a 50-50 split of effective green time, the cycle length can be selected such that:

لأطوال الشوارع المنتظمة، والتقاطعات ٥٠-٥٠ طور الأخضر الفعال، يتم حساب طول الدورة كالتالي:

$$\frac{C}{2} = \frac{L}{S}$$

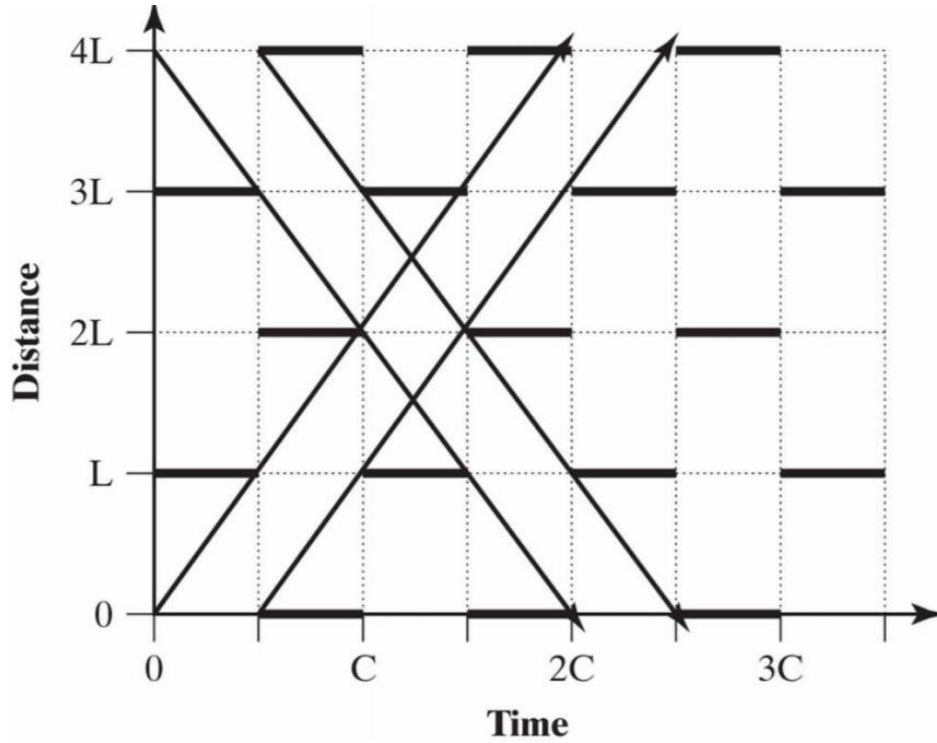
[4]

Bandwidth Capacity سعة عرض النطاق

$$C_{BW} = \frac{3600 * BW * NL}{C * h}$$

$$= \frac{3600 * BW * 0.5C * L}{C * 2}$$

$$= 900NL$$



Illustrative Combination of Alternate Progression ملخص توضيحي للتوالي البديل

Cycle Length (s)	Platoon Speed (fps)	Matching Block Length (ft)
60	45	1,350
60	75	2,250
90	45	2,025
90	75	3,375

Double Alternate Progression توالي البديل المزدوج

For certain non-uniform block lengths, a 50-50 split of effective green time is not possible, but then it is feasible to select the following cycle length:

لأطوال الشوارع غير المنتظمة، والتقاطعات ٥٠-٥٠،
طور الأخضر الفعال، يتم حساب طول الدورة كالتالي:

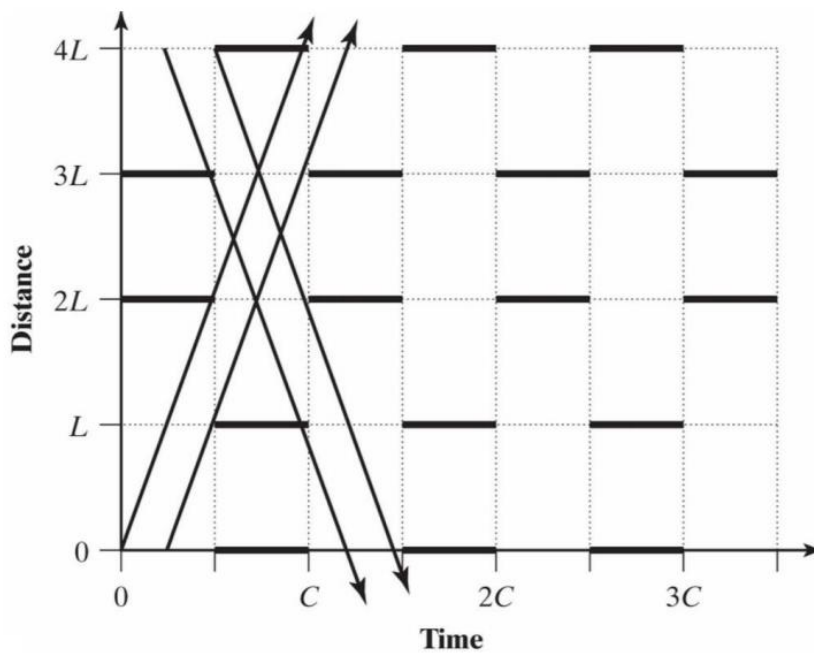
$$\frac{C}{4} = \frac{L}{S}$$

Bandwidth Capacity

$$C_{BW} = \frac{3600 * BW * NL}{C * h}$$

$$= \frac{3600 * BW * 0.25 C * L}{C * 2}$$

$$= 450 NL$$



Illustrative Combination of Double Alternate Progression ملخص توضيحي للتوالي البديل المزدوج

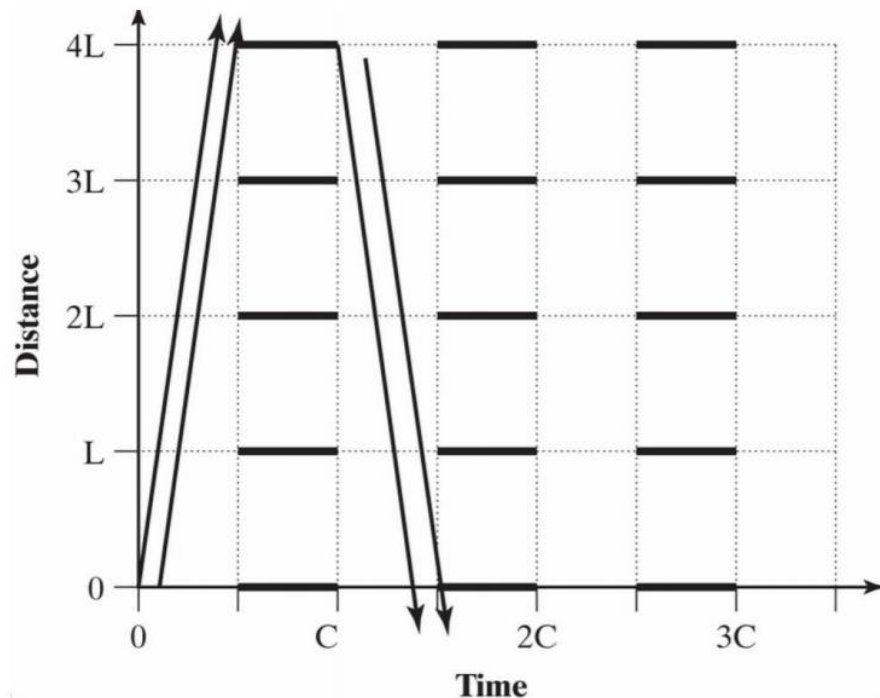
Cycle Length (s)	Platoon Speed (fps)	Matching Block Length (ft)
60	45	675
60	75	1,125
90	45	1,012
90	75	1,688

Simultaneous Progression التوالي المتزامن

For very closely spaced signals, or for higher vehicle speeds, it may be best possible to have all the signals turn green at the same time (called a simultaneous system)



للإشارات المتقاربة جداً، ولسرعات عالية نوعاً ما للمركبات يكون من الأفضل جعل كافة الإشارات تتحول إلى الأخضر بنفس الوقت (وتسمى نظام التزامن)



- The efficiency of a simultaneous system depends on the number of signals involved.

إن كفاءة النظام المتزامن تعتمد على عدد الإشارات المتضمنة

$$EFF\% = \left[\frac{1}{2} - \frac{(N-1)*L}{S*C} \right] * 100 \quad [6]$$

H.W: For four signals with L=400 ft, C=80 sec, S=45 ft/sec

- What is EFF%?

- Similarly when L = 200 ft, EFF%?

واجب بيتي: أربعة إشارات لتقاطعات ، الطول ٤٠٠ قدم ، طول الدورة ٨٠ ثانية ، إحصاء الكفاءة للتشغيل؟ وأيضا إحصاء الكفاءة للتشغيل عندما يكون الطول ٢٠٠ قدم؟

- ❖ Simultaneous signals are advantageous only under special circumstances

الإشارات المتزامنة لها فوائد تحت تأثير ظروف خاصة:

- Block lengths are very short "المسافة بين الإشارات تكون قصيرة جدا"
- Relatively higher speed "السرعة تكون عالية نسبيا"
- Near CBD "بالقرب من منطقة مركزية تجارية"

- ❖ Disadvantages: المساوئ:

- May result in breakdown and spillback

قد يسبب فشل تشغيلي وتشكيل طوابير ترتد الى الخلف أو عكس اتجاه التدفق المروري

- Because queue inevitably exists downstream

بسبب الطابور للمركبات موجود حتما في إتجاه المنبع للتدفق المروري

- Cuts platoons off "يسبب قطع لحركة الوفود للمركبات"

Speed versus Congestion السرعة مقابل الزحام

✚ Speed of progression سرعة التقدم

- Often selected to be the free-flow speed of traffic **يتم إختيارها لتكون السرعة الحرة**
- Some engineers use it as the speed limit. **يتم إختيارها لتكون السرعة القصوى**
- The speed that might be observed when volumes are light and the signals are continuously green on that route **السرعة التي يتم ملاحظتها عندما تكون الحجوم خفيفة والإشارات لها ضوء أخضر مستمر**

✚ As traffic becomes heavy (peak periods) **عندما تصبح حركة المرور مزدحمة في ساعة الذروة**

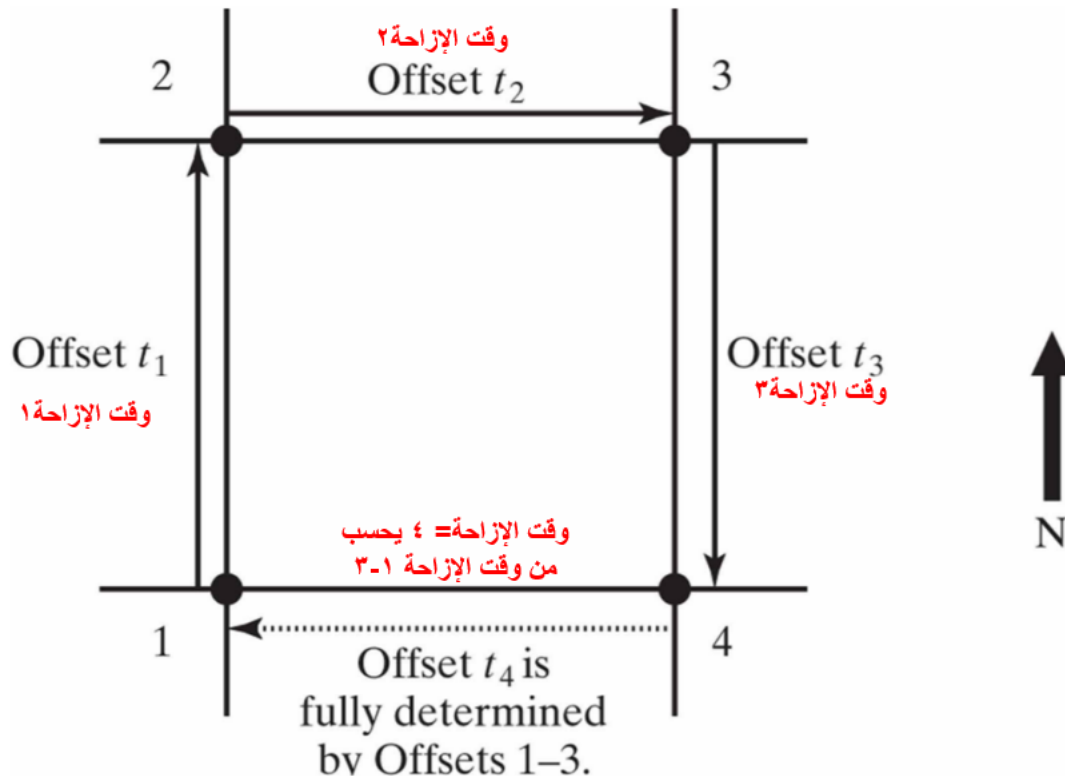
- Traffic speeds tend to drop because of congestion **السرعة المرورية تميل الى الإنخفاض بسبب الزحام المروري**
- Traffic starting up on a green signal may be stopped by a queue not yet into motion at the next signal downstream **قد يتم إيقاف حركة المرور للمركبات التي تبدأ عند إشارة خضراء بسبب طابور المركبات الذي لم يبدأ بعد بالحركة عند الإشارة التالية في إتجاه التدفق المروري**

Other considerations

- ❖ Traffic Turning into a System **حركات الإنعطاف في النظام**
- ❖ Adjustments at End Intersections **التعديلات في نهاية التقاطعات**
- ❖ Adjustments for Left-Turn Phases **التعديلات لحركة الإنعطاف نحو اليسار**
- ❖ Offsets for Maximum Bandwidths **تأثير وقت الإزاحة الأقصى لعرض النطاق**
- ❖ Offsets for Minimum Stops and Delay **تأثير وقت الإزاحة الأدنى على التوقفات والتأخير**

Network Level Coordination

تنسيق الإشارة الضوئية لشبكات الطرق



Optimization for Two or More Arterials

- When optimizing using Synchro's 'Network Cycle Length', many times it gives 'Mixed Cycle Length' (and not multiple of minimum cycle length)

عندما يتم عمل التحسين بإستخدام برنامج الساينكرو (طول الدورة للشبكة) عدة مرات، يعطي طول دورة مختلفة (وليس مضاعفات الحد الأدنى لطول الدورة)

- When you use mixed cycle length, the progression cannot be achieved.

عند إستخدام طول دورة مختلف، لا يمكن تحقيق التوالي والتقدم للمرور.

- In such a situation, you have to analyze the arterials independently.

في مثل هذه الحالات، يجب تحليل الشوارع الشريانية بشكل منفصل.

- When the arterials are separately (independently) analyzed, progression on both arterials can be achieved.

عندما يتم تحليل الشوارع الشريانية بشكل منفصل، إن التقدم لكلاهما يتم تحقيقه.

- However, the offset for both arterials shall be adjusted to get the desired progression.

على كل حال، وقت الإزاحة لكل الشوارع الشريانية يجب تعديله للحصول على التقدم المرغوب

- ✚ Usually, the offset of one of the arterials is fixed (due to jurisdictional boundary, or other reasons) and the offset for the o other arterial is adjusted accordingly.



إن وقت الإزاحة للشوارع الشريانية يكون عادة ثابت (بسبب المحددات القانونية أو غيرها من الأسباب) ووقت الإزاحة للشوارع الشريانية الأخرى يتم تعديله تباعاً".