

## 빠른 계단임펄스입력에 의한 임펄스형성선의 과도과정에 대한 연구

리영명, 정원철

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학자, 기술자들은 자기 땅에 발을 붙이고 눈은 세계를 보는 혁신적인 안목을 가지고 두뇌전, 실력전을 벌려 최첨단채신기술과 수단들을 더 많이 연구개발하여야 합니다.》

임펄스형성선을 설계하는데서 임펄스형성선을 구성하는 스위치의 절환전압을 정확히 설정하는것이 중요하며 이를 위하여 계단임펄스에 의한 형성선의 과도과정을 정확히 밝혀야 한다.

지난 기간 초광대역임펄스의 형성과 초광대역전파탐지를 비롯한 초광대역기술의 응용에 대한 많은 연구[1-3]가 진행되었지만 계단임펄스에 의한 형성선의 과도과정에 대한 문제를 밝히지 못하였다.

균일하고 손실이 없으며 분산이 없는 이상적인 전송선에서 모든 파는 그 주파수에 관계없이 선을 따라 같은 속도로 전파된다. 이것은 임펄스의 여러가지 주파수성분이 선을 따라 같은 속도로 전파될것이며 따라서 그것들은 같은 시간에 부하끝에 도달하여 그것들이 서로 더해질 때 입구단에서의 파형과 같은 파형을 가질것이라는것을 의미한다.

그러나 일반적으로 균일하고 손실이 없으며 분산이 없는 이상적인 전송선으로 이루어진 임펄스형성선의 경우에도 입구는 정확히 정합되기 힘들며 출구는 스위치가 닫기기 전까지 개방되어있기때문에 다중 반사파들이 생기는것으로 하여 임펄스가 입력될 때 형성선의 입구와 출구에서 파형은 상당히 복잡한 모양을 가지게 되며 이 과도과정을 정확히 밝혀야 임펄스형성선을 제대로 설계할수 있다.

스위치가 닫기기 전까지 임펄스형성선의 초기충전을 입력임펄스들의 오름시간에 따라 빠른 계단임펄스입력에 의한 충전과 느린 계단임펄스입력에 의한 충전의 두가지 경우로 나누어볼수 있다.

본문에서는 빠른 계단임펄스입력에 의한 임펄스형성선의 과도과정을 연구한다.

오름시간이 형성선에서 신호의 왕복시간보다 훨씬 짧은 계단임펄스신호를 빠른 계단임펄스신호라고 하며 이것은 이상적인 계단임펄스신호에 근사시켜 연구하면 편리하다.

그림 1에 계단임펄스입력이 작용하는 이상전송선을 제시하였다.

전송선이 량끝에서 정합되어있다면 즉  $R_{\text{원}}=Z_0$ ,  $R_{\text{부}}=Z_0$  이라면 량끝에서의 반사는 일어나지 않을것이며 이때 입력파형은 그것이 령오름시간의 계단함수이든 령아닌 오름시간을 가진 계단함수이든 그리고 좁은 임펄스이든 넓은 임펄스이든 그 초기형태를 유지하게 된다.

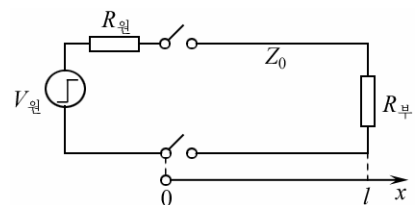


그림 1. 이상전송선

그러나 전송선이 량끝에서 정합되지 못하였을 때 즉  $R_{\text{원}} \neq Z_0$ ,  $R_{\text{부}} \neq Z_0$  일 때 선의 두 끝사이에서 다중반사가 생길것이며 출구과형은 심히 이지러질수 있다.

입구단( $x=0$ )으로부터 부하단( $x=l$ )까지 파가 전파되는데 걸리는 시간은

$$T_0 = l(LC)^{1/2} \quad (1)$$

이다.

한편 입출구에서의 전압반사결수는 다음과 같다.

$$\Gamma_{\text{부}} = (R_{\text{부}} - Z_0)/(R_{\text{부}} + Z_0) \quad (2)$$

$$\Gamma_{\text{입}} = (R_{\text{원}} - Z_0)/(R_{\text{원}} + Z_0) \quad (3)$$

이제 그림 1에서  $t=0$  인 순간에 스위치가 닫기며 입력전압은 령오름시간의 계단임플스로 된다고 하자. 이때 입력전압은  $t=0$  에 대하여 입구( $x=0$ )에서

$$V_{\text{초입}} = V_{\text{원}} Z_0 / (R_{\text{원}} + Z_0) \quad (4)$$

로 되는데 이것이 부하단( $x=l$ )을 향하여 전송되며  $t=T_0$  에서 부하에 닿을 때 첫번째 부하반사가 생기며 반사파의 크기는  $\Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}}$  이다.

이 반사파는 원천쪽으로 전파되며  $t=2T_0$  일 때 크기가  $\Gamma_{\text{입}}(\Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}})$  인 첫번째 입구반사가 생기며 이것은 반대로 부하를 향하여 전파되며 부하에서 다시 반사된다. 이 과정은 반사파가 최종적으로 령에 다가갈 때까지 계속된다. 부하와 입구에서의 반사파의 발생시간과 진폭을 표에 제시하였다.

표. 반사파의 발생시간과 진폭

발생순서	부하에서의 반사시간	진 폭	입구에서의 반사시간	진 폭
1	$T_0$	$\Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}}$	$2T_0$	$\Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}}$
2	$3T_0$	$\Gamma_{\text{부}} (\Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}} V_{\text{초입}})$	$4T_0$	$\Gamma_{\text{입}} (\Gamma_{\text{입}} \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}})$
3	$5T_0$	$\Gamma_{\text{부}} (\Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^2 V_{\text{초입}})$	$6T_0$	$\Gamma_{\text{입}} (\Gamma_{\text{입}}^2 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}})$
4	$7T_0$	$\Gamma_{\text{부}} (\Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^3 V_{\text{초입}})$	$8T_0$	$\Gamma_{\text{입}} (\Gamma_{\text{입}}^3 \Gamma_{\text{부}}^4 V_{\text{초입}})$

여기로부터 입구와 출구에서 전체 전압에 대한 일반식을 얻을수 있다.

$$V_{\text{입}} = V_{\text{초입}} \left\{ 1 + \sum_{m=1}^k [\Gamma_{\text{부}}^m \Gamma_{\text{입}}^{m-1} + \Gamma_{\text{부}}^m \Gamma_{\text{입}}^m] \right\} \quad (5)$$

$$V_{\text{부}} = V_{\text{초입}} \left\{ 1 + \sum_{p=1}^n \Gamma_{\text{부}}^p \Gamma_{\text{입}}^{p-1} + \sum_{p=1}^{n-1} \Gamma_{\text{부}}^p \Gamma_{\text{입}}^p \right\} \quad (6)$$

우의 두 식에서 첫번째 합렬기호안의 항은 부하에서의 반사를 표시하며 두번째 합렬기호안의 항은 입구에서 생기는 반사를 표시한다.

식 (5), (6)에서 매개의 합렬들은 감소등비수렬이며 충분히 긴 시간후에 입구와 출구에서의 전체 전압은

$$V = V_{\text{원}} \cdot R_{\text{부}} / (R_{\text{부}} + R_{\text{원}}) \quad (7)$$

로 된다.

류사한 방법으로 전류에 대하여 대응하는 식을 얻을수 있으며 이때 반사결수의 부호만 반대로 해주고  $V_{\text{초입}}$  을  $I_{\text{초입}} = V_{\text{원}} / (R_{\text{원}} + Z_0)$  으로 바꾸어주면 된다.

이 식들에 의하여 그림 1에 제시된 이상전송선의 입구 및 출구에 나타나는 전체 전압을 얻을수 있다.

우리가 관심하는것은 임펄스형성선을 구성하고있는 방전구스위치가 닫기기 전의 상태이므로 출구가 개방된 즉  $R_{부} = \infty$  상태로 가정할수 있다.

이때 입구에 대하여 세가지 경우를 가정할수 있다. 즉

$$R_{원} = Z_0, R_{원} \geq Z_0, R_{원} \leq Z_0.$$

이 세 경우에 대하여 입구 및 출구에서의 파형은 그림 2와 같다.

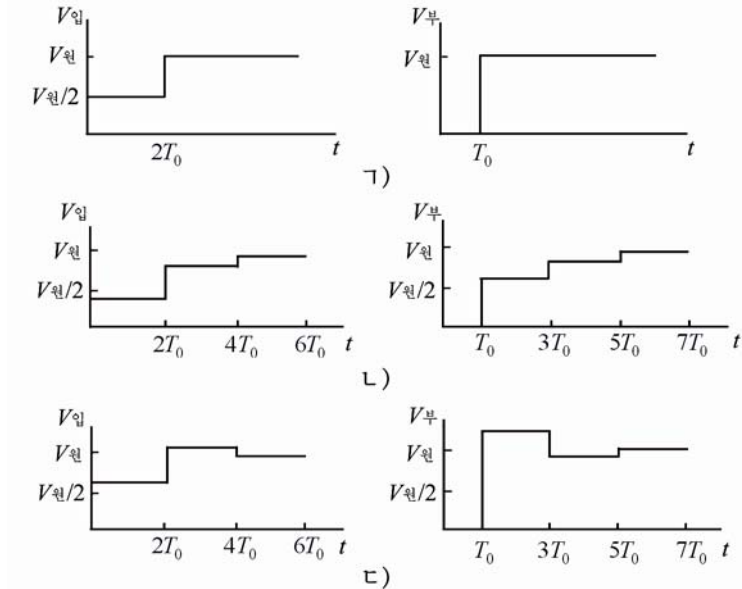


그림 2. 출구가 개방된 경우 이상전송선의 계단함수응답

ㄱ)  $R_{원} = Z_0$ ,  $R_{부} = \infty$  인 경우, ㄴ)  $R_{원} \geq Z_0$ ,  $R_{부} = \infty$  인 경우, ㄷ)  $R_{원} \leq Z_0$ ,  $R_{부} = \infty$  인 경우

이 결과로부터 다음과 같은 사실을 알수 있다.

선의 입출구단에서 전체 전압의 파형은 일치하지 않으며  $T_0$ 만한 시간지연이 있다. 그러나 충분히 긴 시간후에는 전체 선에 따르는 전압이 안정값  $V_{원}$ 에로 다가간다.

그리고 입구가 정합되거나 원천저항이 전송선의 특성저항보다 작을 때 출력전압은 첫순간에 최대가 되지만 원천저항이 전송선의 특성저항보다 클 때에는 출력전압이 점차적으로 커지면서 일정한 시간지연후에야 최대값  $V_{원}$ 에 도달하는데 원천저항이 클수록 출력전압이 커지는 시간은 더 떠진다.

따라서 형성선을 설계할 때 방전스위치의 절환전압을  $V_{원}$ 에 가깝게 설정하여야 최대전압을 얻을수 있다. 그리고 가능한껏 입구를 정합시키거나 원천저항이 형성선의 특성저항보다 작아지도록 하여야 반복주파수를 증가시킬수 있다.

## 맺 는 말

빠른 계단임펄스입력에 의한 임펄스형성선의 초기과도과정을 이론적으로 연구하여 임펄스형성선설계에서 제기되는 문제들을 밝혔다.

## 참 고 문 헌

- [1] I. Ya. Immoreev; Journal of Communications Technology and Electronics, **54**, 1, 1, 2009.
- [2] Laurent Pecastaing et al.; IEEE Transactions on Plasma Science, **34**, 5, 1822, 2006.
- [3] 曹绍云 等; 强激光与粒子束, **6**, 1046, 2006.

주체105(2016)년 3월 5일 원고접수

**On the Transient Process of Pulse Forming Line by Fast Step Pulse**

*Ri Yong Myong, Jong Won Chol*

We studied theoretically the early charging process of pulse forming line by fast step pulse input voltage and discussed the problem in pulse forming line design.

Key words: pulse forming line, transient process